

Conception de systèmes de cultures agro-écologiques par la gestion des bioagresseurs et l'utilisation de résidus organiques (DIVECOSYS)



PROJET 2019-2024



Conception de systèmes de cultures agro-écologiques par la gestion des bioagresseurs et l'utilisation de résidus organiques (DIVECOSYS)

PROJET 2019-2024

Version élargie aux nouveaux membres et actualisée en juin 2019

Fernandes P., Silvie P., Amadji G., Belmin R., Bocar Bal A., Brévault T., Chailleux A., Clouvel P., Dannon E., Diallo M.D., Diarra K., Diatta P., Djigal D., Faye E., Feder F., Legros S., Lopez Llandres A., Médoc JM., Mensah A., Niang Y., Parrot L., Simon S., Soti V., Téréta I., De Bon H, Maiga D., Sanon A., Koné D., Akantetou P, Babin R., 2019. Conception de systèmes de cultures agro-écologiques par la gestion agroécologique des bioagresseurs et l'utilisation de résidus organiques (Divecosys) – projet scientifique actualisé et élargi aux nouveaux membres 2019-2024, 30 p.

Légende des photos (de gauche à droite et de haut en bas) :

- Paysage rural dans le bassin arachidier au Sénégal (E. Faye)
- Chenille de la légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda*, sur feuille de maïs (T. Brévault)
- Choucador à ventre roux (*Lamprotornis pulcher*) à la recherche de chenilles de la mineuse de l'épi de mil (T. Brévault)
- Filets anti-insectes sur cultures maraichères au Bénin
- Utilisation de drone Mavic pro pour cartographier l'occupation des sols pour quantifier les services écosystémiques.
- Tas de compost en cours de maturation
- Nid de fourmis *Oecophylla* sur manguier
- Nématode phytoparasite piégé par un champignon tellurique
- Racines mycorhizées

- Contexte et enjeux autour de l'agriculture en Afrique de l'Ouest

Contexte macroéconomique et politique

Un secteur économique prioritaire

L'agriculture est le premier secteur économique des pays d'Afrique de l'Ouest (Tab.1) où des pourcentages encore élevés de population vivent et travaillent en milieu rural. Même si le processus d'urbanisation est déjà engagé, les prévisions annoncent en Afrique sub-saharienne un doublement de la population en zone urbaine au cours des 25 prochaines années (Banque Mondiale, 2017), ce qui se traduit déjà aujourd'hui en milieu rural par des tensions sur la main d'œuvre agricole et les terres.

Tableau 1 : Contribution du secteur agricole des pays membres du dP en part du PIB et des actifs

Pays	Niveau de contribution du secteur agricole (%)	
	PIB	Actifs
Bénin	32 %	70 %
Mali	33 %	79 %
Sénégal	17.5 %	69 %
Burkina Faso	35,3 %	82 %
Côte d'Ivoire	22.3 %	46 %
Togo	39 %	70 %

D'après Ministère Français de l'Agriculture et de l'Alimentation, Fiches pays, 2017 (<http://agriculture.gouv.fr/les-politiques-agricoles-travers-le-monde>)

Malgré cette position dominante du secteur agricole, les pays d'Afrique sub-saharienne sont régulièrement confrontés à une insécurité alimentaire chronique, bien que les politiques nationales visent à atteindre des objectifs d'autosuffisance pour certaines filières clés (ex au Sénégal/Programme PRACAS : sucre, riz, oignon, pomme de terre ; Bénin : le Programme d'Action du Gouvernement /PAG a retenu des filières à haute valeur ajoutée : ananas , anacarde , produits maraîchers, de même que certaines cultures vivrières comme le maïs, le manioc, l'igname, le riz et le niébé ; Togo : Programme PNIASAN a retenu des filières à haute valeur ajoutée : le maïs, le riz, le manioc, le soja, l'anacarde, le sésame, la volaille, le poisson). En Côte d'Ivoire après le (programme National d'Investissement Agricole I (PNIA I), le PNIA II s'avère plus dynamique et orienté vers la transformation structurelle et la modernisation du secteur agricole

L'agriculture reste donc le premier secteur support du développement économique des pays (Tab. 1), notamment via des filières dominantes (tomate, haricot vert, mangue au Sénégal ; coton et cultures maraîchères au Bénin, cacao, anacarde, coton, café en Côte d'Ivoire) ou les filières d'exportation (coton au Mali, coton, café, cacao et mangue au Togo). Par ailleurs, si l'agriculture familiale est dominante en nombre d'exploitations, l'*agribusiness* est perçu par les décideurs politiques comme un élément moteur majeur du développement de la performance des exploitations agricoles (effet d'entraînement / « tache d'huile ») par l'injection de capitaux, la structuration des filières et l'ouverture vers les marchés internationaux.

Un secteur attendu pour l'emploi des jeunes

Les pays d'Afrique sub-saharienne se démarquent par une très forte population de jeunes. Au Sénégal par exemple, 50% de la population a moins de 25 ans. Cette jeune génération est par ailleurs soumise à un taux de chômage très élevé (le double de celui des adultes), même parmi ceux ayant atteint un haut niveau de formation académique. L'exode des jeunes ruraux vers les capitales en quête d'opportunités d'emploi se traduit par un afflux en zone urbaine, afflux difficile à gérer pour les élus territoriaux et générant des mouvements sociaux ; cet exode conduit également à une désertion des zones rurales, entraînant ainsi des problèmes de raréfaction de la main d'œuvre agricole. S'ajoute à cela une différenciation forte du taux d'alphabétisation entre zones rurales et urbaines. Ces

composantes constituent pour les pouvoirs publics des ferments d'instabilité sociale, de vagues migratoires, parallèlement à une fuite des cerveaux en quête d'opportunités professionnelles attractives. Dans ce contexte, la modernisation du secteur agricole est attendue par les pouvoirs publics afin d'offrir, notamment aux jeunes mais aussi aux femmes (*gender issue*), des opportunités de formation et de création d'activités économiques directement dans le secteur de la production agricole ou dans les activités connexes. Ce volontarisme se matérialise notamment par l'ouverture de multiples établissements d'enseignement agricole supérieur notamment au Sénégal : universités privées et publiques (Ussein - Université du Sine Saloum El-Hâdj Ibrahima NIASS ; Université Amadou Mahtar MBOU de Diamniadio), écoles d'ingénieurs agronomes et de techniciens supérieurs agricoles, institut supérieur d'agriculture et d'entrepreneuriat (ISAE) à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD). Au Bénin, des écoles supérieures d'enseignement agricole sont créées tant dans le secteur public que privé au nord, au centre et au sud. En effet, en plus de l'ancienne Université d'Abomey-Calavi, de nouvelles se sont créées à savoir la Faculté d'Agronomie de Parakou, l'Université Nationale d'Agriculture de Porto-Novo, sans oublier les universités privées. Au Burkina se sont développées l'Université Nazi Boni à l'Ouest du pays, l'UFR Sciences de la Vie et de la Terre à l'Université Joseph KI-ZERBO et plusieurs universités privées. Au Togo, on note l'Ecole Supérieure d'Agronomie et le Centre Régional d'Excellence pour la Science Aviaire (CERSA) pour l'Université de Lomé, l'Institut Supérieur pour les Métiers de l'Agriculture (ISMA) pour l'Université de Kara, l'Institut National de Formation Agricole (INFA) de Tové à Kpalimé, l'Institut de Formation pour l'Agro-développement (IFAD) aquaculture à Elavagnon opérationnel et IFAD Barkoissi en cours de montage, l'Institut de formation agricole (IFA) de Niamtougou, etc. En Côte d'Ivoire, en plus de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'INP-HB ; les Universités à vocation agricoles sont ouvertes comme l'Université Péleforo Gon Coulibaly de Korhogo à vocation agro-pastorale, l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa à vocation Agro-pastorale et un Centre d'Excellence Africain sur le Changement Climatique, la Biodiversité et l'Agriculture Durable (WASCAL/CEA-CCBAD) à l'Université Félix Houphouët-Boigny.

Au Bénin, depuis 1990, le pays a consolidé son processus démocratique et s'est engagé dans d'importantes réformes macroéconomiques qui ont abouti à des performances économiques soutenues avec un taux de croissance annuel moyen de 3,91 % sur la période 2006-2012, de 5,6% en 2013 et de 5,7% en 2014. Par contre, les incidences de la croissance économique sur la réduction de la pauvreté ont été limitées à cause de la croissance démographique élevée (2,73%), de la vulnérabilité de l'économie béninoise aux chocs externes et climatiques, et de sa dépendance d'une agriculture essentiellement pluviale et traditionnelle caractérisée par une faible taille des exploitations. Plus du tiers de la population (36,2%) vivent sous le seuil de la pauvreté et près de la moitié (47,3%) avec moins de 1,25 USD par jour en 2011. L'insertion des jeunes femmes et hommes dans l'économie et le marché du travail, en particulier en milieu rural, est une priorité absolue du Gouvernement. Les jeunes et adultes de 15 à 35 ans représentent environ 60,3% de la population nationale de 10 millions d'habitants. L'exode rural des jeunes augmente d'année en année face à un déficit chronique d'emplois en milieu rural (secteur primaire) et à un secteur secondaire (agro-industrie) quasi inexistant. Le Gouvernement a pris plusieurs initiatives d'insertion pour les jeunes, dont la mise en place des centres de formation des jeunes professionnels pour le secteur agricole. Mais, l'insertion effective de ces jeunes dans la conduite des activités agricoles ne s'est pas réellement matérialisée suite à l'insuffisance de financement.

Contextes agro-écologiques

Les écorégions explorées par les chercheurs membres du dP DIVECOSYS (cf. Figure 1) balayent une large gamme d'environnements, de conditions climatiques (notamment des isohyètes compris entre 200 et 2000 mm par an), de gammes de sols, de systèmes de cultures et d'éléments du paysage (Tab.2).

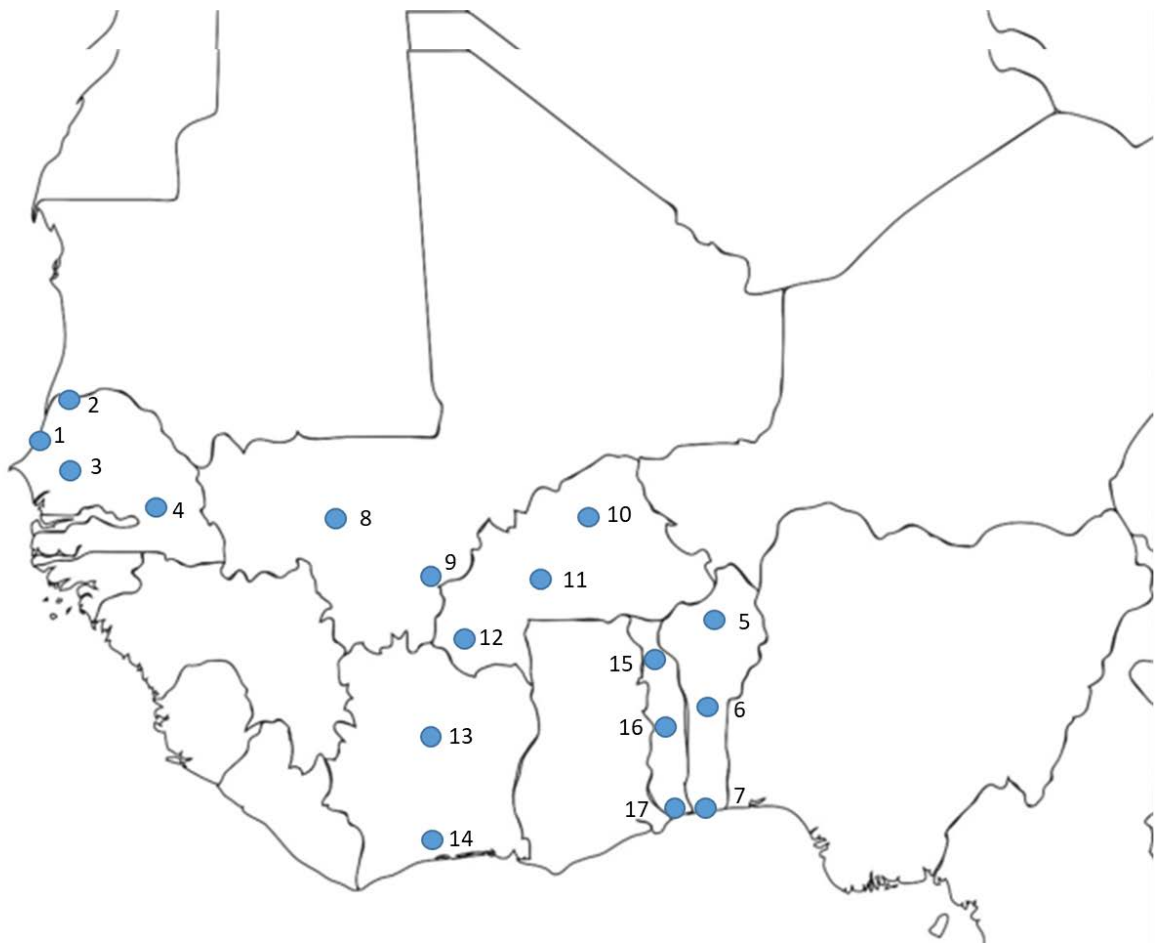


Figure 1 : localisation des écorégions explorées par les membres du dP

Tableau 2 : Contextes agro-écologiques explorés

Pays	Ecorégion	Biome (couverture résiduelle %)	Paysage	Système de Production
Sénégal	Niayes (1)	Savane arbustive (20-90)	Juin-nov.: mosaïque de cultures pluviales Déc.-juin : patchs de cultures irriguées et pérennes	Agropastoralisme, maraîchage, vergers (mangue, citrus, anacarde)
	Delta du fleuve Sénégal (2)	Steppe arbustive	Patchs de périmètres irrigués	Agropastoralisme, riz, sorgho de décrue, maraîchage
	Bassin arachidier (3)	Savane arborée (0-20)	Mosaïque de cultures sous parc arboré	Agropastoralisme, céréales sèches, légumineuses
	Sénégal oriental (4)	Forêt dégradée	Mosaïque de cultures	Coton, maïs, céréales sèches, légumineuses, agropastoralisme
Bénin	Nord (5)	Savane arborée (30-40)	Mosaïque de cultures sous parc arboré, vergers. Savanes et forêts sèches	Coton, céréales et légumineuses Mangues et anacardes
	Centre (6)	Savane arborée (20-40)	Patch zones humides, vergers. Savanes et forêts	Tubercules, céréales, légumineuses, riz et maraîchage de bas-fonds, mangues et anacardes
	Sud et littoral (7)	Savane arborée (10) et forêt côtière (50)	Savane et forêt- galerie. Patchs de périmètres irrigués, vergers	Agrumes et mangues Maraîchage Maïs
Mali	Plateau Mandingue (8)	Savane herbacée (0-20)	Mosaïque de cultures	Céréales, légumineuses vergers, maraîchage
	Plateau Koutiala (9)	Savane arborée (0-20)	Mosaïque de cultures sous parc arboré	Coton, céréales, légumineuses Riz, maraîchage Vergers
Burkina Faso	Zone sahélienne (10)	Steppes arborées et arbustives	Steppes arborées, steppes arbustives et cultures	Céréales, légumineuses, agropastoralisme
	Zone soudano-sahélienne (11)	Savanes arbustive et herbacée	Mosaïque de cultures Patchs de zones humides et périmètres irrigués	Céréales, légumineuses, coton, cultures maraîchères, riziculture irriguée
	Zone soudanienne (12)	Forêt Claire et savanes arborées Savanes arbustives	Cultures dans les savanes arborées ; périmètres irrigués Quelques réserves forestières et zones humides	Coton, vergers, céréales, riziculture irriguée, légumineuses, sésame Cultures maraîchères
Côte d'Ivoire	Nord (13)	Savane arborée	Vergers extensifs. Savanes et forêts	Mangue, anacarde, coton, céréales, légumineuses, mil, maïs, maraîchage, manioc, igname
	Sud (14)	Forêt dense sèche Forêt dense semi décidue	Mosaïque de cultures Savanes et forêts Forêts classes	Bananier, cacao, café, hévéa, palmier, maraîchage, ananas, manioc, igname
Togo	Savanes (15)	Savane arborée (30-40)	Mosaïque de cultures sous parc arboré, vergers. Savanes et forêts sèches	Coton, céréales et légumineuses, Maraîchage Mangues, anacardes, karité et néré
	Kara, Centrale et Plateaux (16)	Savane arborée (20-40)	Patch zones humides, vergers. Savanes et forêts	Tubercules, céréales, coton, café, cacao, légumineuses, riz et maraîchage de bas-fonds Mangues et anacardes
	Maritime (17)	Savane arborée (10) et forêt côtière (50)	Savane et forêt- galerie. Patchs de périmètres irrigués, vergers	Agrumes et mangues Maraîchage maïs, ananas

Contexte technico-économique

Des rendements qui stagnent, des contraintes qui s'additionnent

Entre 1982 et 2007, la production globale de céréales et de légumineuses a été respectivement multipliée par 3 et 2,4 en Afrique sub-saharienne, où la population a plus que doublé durant la même période (Van Ittersum *et al.* 2016). Cette hausse de la production provient essentiellement de l'expansion des surfaces cultivées, sans augmentation des rendements.

Par ailleurs, les pertes mondiales de récolte dues aux bioagresseurs ont été estimées en 2006 de l'ordre de 26-29% pour le soja, le blé et le coton, tandis qu'elles atteignent respectivement 31%, 37% et 40% pour le maïs, le riz et la pommes de terre (Oerke 2006).

Dans les pays ouest africains, les pertes dues aux bioagresseurs lors de la production et du stockage des denrées agricoles restent anormalement élevées, du fait notamment de l'absence ou de la faible efficacité des mesures de protection phytosanitaire des cultures. Ainsi les bioagresseurs provoquent des pertes approchant 60 à 70% de la production horticole par exemple (Nwilene *et al.* 2008). De plus, la pression des bioagresseurs sur les récoltes et les rendements des cultures sera impactée par les changements globaux en cours (Chakraborty & Newton 2011, Wheeler & von Braun 2013, Challinor *et al.* 2014).

Pour répondre à l'augmentation de la demande, il faudrait que les surfaces cultivées soient multipliées par 2 à 3 d'ici 2050 (Sakschewskia *et al.* 2014) ou adopter des itinéraires techniques innovants. Une telle expansion est difficilement envisageable dans la plupart des pays d'Afrique, en raison de la disponibilité en ressources foncière et hydrique, et de l'impact négatif qu'aurait cette expansion sur les espaces naturels dont la biodiversité doit être conservée.

La recherche s'inscrit donc dans le double enjeu de sécurité alimentaire des populations tant rurales qu'urbaines, et de préservation de leur environnement. Dans ce contexte multi-contraint, il apparaît nécessaire d'accroître les recherches permettant *in fine* une intensification écologique des systèmes de production (Griffon, 2013) (i) maximisant l'utilisation des ressources naturelles locales (biologiques et organiques existantes) tout en (ii) réduisant les pertes de rendement causées par les bioagresseurs au champ et en post-récolte.

Des sols agricoles qui se dégradent...

L'augmentation de la capacité de charge des terres due à la pression démographique a entraîné dans certaines régions la disparition progressive des jachères qui, antérieurement, contribuaient à la restauration de la fertilité des sols et à la préservation de leur capital productif. Les surfaces et les durées de jachères se sont vues réduites jusqu'à leur quasi totale disparition dans certaines zones agro-écologiques (ex nord du Bassin Arachidier au Sénégal, sud et centre du Bénin). Cette réduction des jachères a entraîné une perte progressive des taux de matière organique des sols (d'autant plus cruciale et sensible en zones sableuses, sahéliennes) qui s'est traduite par des baisses de rendements, alors qu'en même temps croissaient les populations et leurs besoins alimentaires (Van Ittersum *et al.* 2016). Les producteurs ont accru les superficies cultivées au détriment des jachères et des espaces naturels, permettant une augmentation de la production totale mais induisant une érosion globale de la biodiversité dans le paysage et une baisse de la capacité des sols à se régénérer. Enfin, les producteurs ont intensifié leurs pratiques en faisant des **apports déraisonnés** d'engrais chimiques et/ou de **produits résiduels organiques** (PRO) (Encadré 1). De telles pratiques induisent une contamination des sols (transfert de nitrates vers les ressources en eau, salinisation, contamination par les éléments traces métalliques (ETM) et/ou des polluants organiques apportés par certains PRO).

Encadré 1. Définition des PRO

Les **produits résiduels organiques (PRO)** font référence à toutes les matières résiduelles organiques pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traitées. Ils peuvent être d'origine agricole, tels que les bouses de vache, les fientes de volailles, les fumiers, etc. ou d'origine urbaine tels que les boues de station d'épuration, la fraction organique des déchets ménagers. Ils peuvent être d'origine industrielle, tels que les déchets d'abattoir, la vinasse de canne à sucre. Les produits résiduels organiques incluent également les produits issus de la transformation ou du mélange de ces déchets, tels que les composts, ou les digestats de méthanisation.

Des paysages en évolution qui favorisent une pression croissante des bioagresseurs

La modification des paysages résultant de l'activité agricole et de l'expansion urbaine, de la fragmentation, voire de la disparition, des habitats non cultivés, contribue à l'érosion de la biodiversité fonctionnelle (Cadotte *et al.* 2011). L'érosion de la biodiversité végétale et la perte de fonction de régulation qui souvent l'accompagne, qu'elle soit liée à l'utilisation de pesticides ou à la fragmentation des habitats naturels, accroissent la sensibilité des écosystèmes cultivés aux **bioagresseurs**¹ (Encadré 2), et aux invasions biologiques par les espèces exotiques envahissantes² (elles-mêmes exacerbées dans un contexte d'échanges internationaux et de changements globaux : dérégulation climatique, échanges commerciaux, augmentation des déplacements humains...) (Bommarco *et al.* 2013, DeClerck 2016). La 'spécialisation' agricole de certaines régions sur des filières spécifiques réduit la biodiversité et développe ainsi un milieu favorable aux bioagresseurs de ces cultures, ce qui augmente leur impact sur les rendements.

Encadré 2 : Définition du terme bioagresseur dans ce texte

Les **bioagresseurs** regroupent tous les organismes nuisibles aux cultures agissant dans le compartiment du sol (bioagresseurs telluriques) tout autant que dans les parties aériennes des plantes. Ils relèvent de taxons très divers du groupe des Invertébrés comme (i) les Arthropodes (insectes et arachnides), (ii) des Vertébrés comme les rongeurs, les oiseaux, les chauves-souris, (iii) des microorganismes provoquant des maladies comme les phytoplasmes, les virus, les bactéries et les champignons, les nématodes et comprend enfin (iv) d'autres plantes appelées adventices. Dans l'absolu, un parasitoïde, comme un prédateur d'insecte, sont également des bioagresseurs. Dans ce texte toutefois, la mention de 'bioagresseur' se réfère à un organisme antagoniste du développement d'une plante (ravageurs, maladies, parasites).

Un usage hétérogène des intrants selon les filières de production familiale

En Afrique de l'Ouest, l'usage des intrants chimiques importés (engrais, pesticides) reste limité en

¹ Dans l'absolu, un parasitoïde, comme un prédateur d'insecte, sont également des bioagresseurs. Dans ce texte toutefois, la mention de 'bioagresseur' se réfère à un organisme antagoniste du développement d'une plante (ravageurs, maladies, parasites).

² Espèces introduites par l'Homme et proliférant dans leur nouveau milieu. Elles peuvent nuire à la diversité biologique, la santé humaine, l'économie ou l'esthétique (DAISIE 2009).

agriculture familiale, notamment sur les cultures vivrières, en comparaison à l'usage qui en est fait dans les pays du Nord. Ces intrants chimiques sont préférentiellement alloués à certaines productions de rente (en particulier la culture du cotonnier et le maraîchage) dont l'importance économique et sociale est souvent déterminante pour les populations locales, tant rurales qu'urbaines. Pour ces filières à haute valeur ajoutée (cultures maraîchères) et les filières d'exportation (coton), la spécialisation de bassins de production conduisent notamment à la mise en œuvre de pratiques de production conventionnelles intensives, source d'épandages fréquents de pesticides chimiques de synthèse et d'engrais importés (Tab.3). L'emploi de ces intrants présente divers risques du fait du manque de formation ou d'informations des producteurs et de la présence d'un encadrement technique dont la maille opérationnelle s'est élargie avec le temps. À l'inverse, pour une large part, céréales et légumineuses vivrières, cultivées en saison des pluies, sont cultivées sans recours aux intrants chimiques de synthèse voire sans aucun intrant, même organique. Le niébé reste toutefois une culture fortement attaquée par les insectes donc souvent traitée avec des pesticides de synthèse.

Par ailleurs, en lien avec le manque de main d'œuvre rurale consécutif à la migration vers les centres urbains, la demande en produits herbicides augmente. C'est essentiellement le cas sur le riz surtout dans les zones irriguées.

Tableau 3 : intensité des pratiques à risques (usage de pesticides de synthèse, d'engrais chimiques et/ou de PRO contaminés) par filière et pays (échelle de: - pas ou peu à +++ très forte)

	Marché local						Marché d'export
	Bénin	Mali	Sénégal	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Togo	
Cultures maraîchères	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Arboriculture fruitière	++	++	+	++	+	+	+++
Coton	+++	++		+++	+++	+++	+++
Céréales sèches (Mil-Sorgho)	-	-	-	-	-	-	-
Cacao					+++		+++
Légumineuses (niébé)	+	+	+	+	+	+	-

Des problèmes liés à l'usage des intrants

Au-delà de l'efficacité agronomique discutable de ces pratiques, l'usage déraisonné des produits résiduels organiques (PRO) peut entraîner une pollution du milieu (ressources en eau souterraine ou de surface, sols, produits de récolte) par des contaminants apportés tels les nitrates en excès, les éléments traces métalliques (ETM) et les contaminants traces organiques (CTO).

L'utilisation peu ou pas raisonnée des engrais minéraux et des pesticides de synthèse, avec peu d'attention sur les conditions écologiques et les besoins des cultures conduit aux phénomènes de pollution de l'environnement et parfois à la détérioration de la qualité nutritionnelle des produits végétaux. De plus, les épandages non fractionnés d'engrais minéraux, comme d'autres intrants de synthèse, suivis d'irrigations ou de pluies abondantes et/ou quotidiennes peuvent induire un lessivage (et un ruissellement ?) des éléments nutritifs pouvant contaminer les cours d'eau et les nappes souterraines.

Dans le cas de l'Afrique, le recours fréquent aux insecticides et fongicides de synthèse a montré certains effets négatifs comme :

- (i) Le développement de résistances multiples aux insecticides (y compris biopesticides) chez certains insectes (e.g. la mouche blanche, *Bemisia tabaci*, et la teigne du chou, *Plutella xylostella*), et aux fongicide (*Mycosphaerella fijiensis* en culture bananière),
- (ii) L'élargissement de la niche écologique de certains insectes ravageurs à d'autres espèces cultivées, présentes dans le paysage, mais jusqu'alors non prises en compte dans la dynamique des populations (e.g. la noctuelle *Helicoverpa armigera*), ou l'occupation d'une niche écologique libérée (e.g. mirides dans le cas de l'emploi des cotonniers génétiquement modifiés). Notons aussi la présence de *Xanthomonas axonopodis* pv *anacardii*) responsable de la bactériose sur le manguier.
- (iii) Un effet délétère sur la biodiversité fonctionnelle, avec pour conséquence une altération des services de régulation écologique des populations de bioagresseurs et ce malgré quelques progrès techniques tels les traitements chimiques raisonnés sur seuil en culture cotonnière ou l'utilisation de bio-insecticides à base de *Bacillus thuringiensis* ou encore les lâchers d'auxiliaires en cultures maraîchères dans le cadre de la lutte biologique,
- (iv) Des risques pour la santé humaine (résistance des moustiques).

À la question de la gestion locale de bioagresseurs connus s'ajoute ces dernières années celle de la gestion, à l'échelle continentale voire planétaire, de certaines espèces exotiques envahissantes. L'augmentation de la circulation des personnes et des denrées, la fragmentation ou la destruction des habitats naturels, la dérégulation climatique, favorisent les entrées d'espèces exotiques et parfois leur établissement puis leur dissémination dans de nouveaux territoires. Les exemples récemment déclarés sont la mouche des fruits, *Bactrocera dorsalis* (ex *B. invadens*), en Afrique de l'Ouest, ou plus récemment la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* au Sénégal) et, à partir de 2016, la noctuelle polyphage *Spodoptera frugiperda*, rencontrée préférentiellement sur le maïs à ce jour dans toute l'Afrique subsaharienne et signalée jusqu'en Chine en 2019. Enfin, certaines méthodes, *a priori* non polluantes, de **biocontrôle** contre les bioagresseurs (Encadré 3), sont susceptibles de perturber le fonctionnement des écosystèmes, avec, par exemple, des effets non-intentionnels sur les espèces indigènes ou les processus biologiques.

Encadré 3. Le biocontrôle

Le terme de biocontrôle est la traduction française du terme anglais de biocontrol, contraction de biological control.

En se basant sur les documents issus de la recherche française (revues Phytoma N°672, 2014 et N°692, 2016, et Focus N°8 : L'utilisation du biocontrôle en protection intégrée des cultures / Novembre 2014, disponible dans le site de EcoPhytoPIC), le biocontrôle est défini comme « l'ensemble des méthodes de protection des végétaux par l'utilisation de mécanismes naturels. Seules ou associées à d'autres moyens de protection des plantes, ces techniques sont fondées sur les mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle repose sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leurs éradications. Le biocontrôle s'intègre donc dans une approche globale de protection intégrée ». Selon cette approche, quatre (4) « produits » de biocontrôle sont recensés et employés: les macroorganismes, les microorganismes, les médiateurs chimiques et les substances naturelles, ces dernières pouvant être d'origine animale, végétale ou microbienne.

Dans un ouvrage paru en avril 2017⁴ l'Académie d'Agriculture de France retient ces 4 catégories mais y ajoute les substances élictrices, la lutte autocide (insectes mâles stériles entrant en compétition avec les mâles naturels) et l'amélioration variétale.

3

³ Biocontrôle en protection des cultures. Périmètre, succès, freins, espoirs. Ouvrage coordonné par Jean-Louis Bernard, 2017. Ed. l'Harmattan, 206 p.

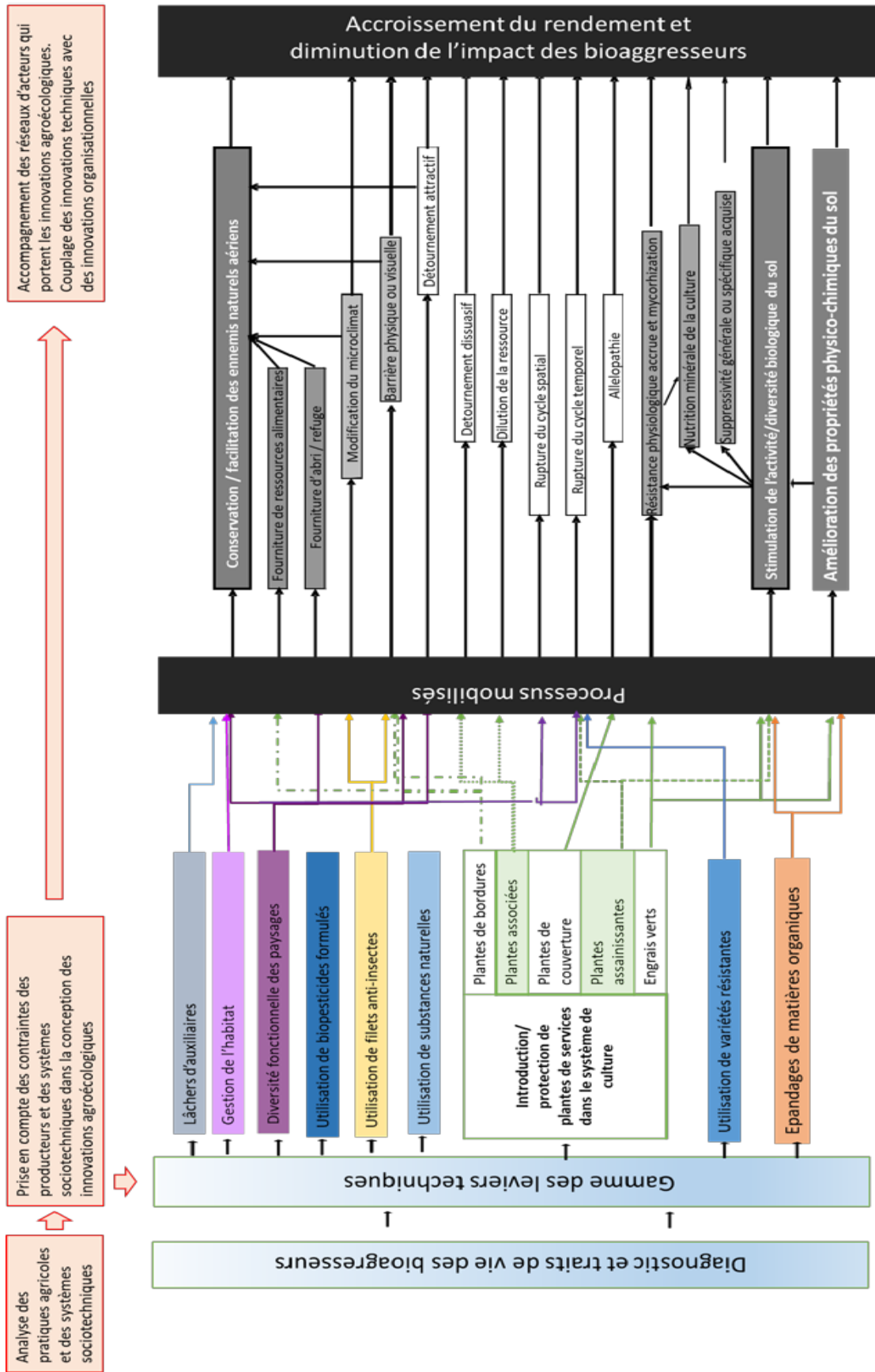
Enjeux, Objectif et cadre conceptuel

Enjeux et Objectif

La sécurité alimentaire (la sûreté sanitaire des aliments en quantités suffisantes) est un enjeu important pour les populations. La diminution des pertes agricoles liées aux bioagresseurs, tant aériens que telluriques, la réduction de l'utilisation des intrants de synthèse et une amélioration de la fertilité constituent les objectifs à atteindre. Pour cela les travaux de recherche développés au sein du dP DIVECOSYS devront concevoir des systèmes de cultures agro-écologiques et proposer des pratiques efficaces et adoptables.

La démarche consistera à s'appuyer sur (i) une mobilisation accrue des services de régulation écologique des bioagresseurs, (ii) l'utilisation de produits de biocontrôle et (iii) l'optimisation du recyclage des ressources organiques existantes à des fins de préservation voire restauration du capital sol (Fig.2) en substitution aux pratiques existantes non durables.

Au travers des différents projets qui structurent déjà ses travaux ou qui seront proposés, le dP DIVECOSYS devra **mettre au point et diffuser des pratiques agricoles innovantes** contribuant à l'émergence de systèmes de cultures résilients dans un contexte de changements globaux. Ces pratiques devront prendre en compte les contraintes spécifiques aux différentes cultures et écorégions, afin de permettre l'accroissement de la production par unité de surface tout en réduisant les impacts environnementaux liés aux usages inadéquats d'intrants chimiques et à la déforestation.



Inspiré de Major pathways for reducing the impact of pests & diseases via the introduction of plant species diversity in agroecosystems from Ramadass, Fernandes, Avellino and Habib, 2012 with courtesy of Agronomy for Sustainable Development, open access

Figure 2 : les leviers techniques et processus mobilisables

Pratiques agricoles et mobilisation des services de régulation

Les pratiques agricoles affectent la fertilité des sols et l'abondance des bioagresseurs en agissant sur le milieu (e.g. le champ cultivé, le verger). Ces pratiques sont chimiques (e.g. traitements insecticides, nématicides, fongicides), biotechniques (e.g. pièges à phéromones, cultures de méristèmes pour assainir les plantes virosées), biologiques (e.g. lâchers de parasitoïdes, utilisation de microorganismes antagonistes, apports de produits résiduels organiques de qualités chimiques et biochimiques différentes), mécaniques (e.g. filets anti-insectes) ou culturales (travail du sol, thérapie, insertion de plantes-barrières, organisation paysagère). Les pratiques agricoles peuvent également affecter l'abondance d'une population de bioagresseurs en agissant sur le paysage (e.g. agencement spatiotemporel des cultures, arbres, haies, plantes de services), considéré comme une mosaïque d'habitats. Il s'agit alors d'aboutir à une régulation de ces bioagresseurs sur les espaces concernés (e.g. la plantation, le champ dans son environnement proche, le bassin de production), par la modification de la quantité et de la qualité des ressources pour les bioagresseurs (régulation *bottom-up*), ou par une mobilisation accrue des populations d'ennemis naturels (régulation *top down*) (Chaplin-Kramer *et al.* 2011, Veres *et al.* 2013).

Les principaux leviers d'action portent sur les pratiques culturales et la gestion de la biodiversité, naturelle ou introduite, à la fois dans la parcelle et ses abords immédiats mais aussi à l'échelle du territoire (Fig.2). Les travaux de recherche menés dans le dP DIVECOSYS porteront donc sur l'étude des mécanismes, processus et communautés impactés par la mise en œuvre de pratiques aux échelles adaptées. La mobilisation des services de régulation écologique des bioagresseurs, qui est au centre du dP DIVECOSYS, constitue une voie encore originale et peu explorée en Afrique de l'Ouest pour inventer des modèles « d'intensification écologique » de la production agricole permettant d'accroître la productivité des systèmes agricoles (produire plus) et de diminuer la dépendance des producteurs vis-à-vis des intrants de synthèse et les impacts sur l'environnement (produire mieux).

La prise en compte des méthodes de gestion de la fertilité des sols et de leurs effets dans les relations entre la plante, les bioagresseurs et les organismes utiles constitue un front de recherche nouveau dans cette seconde phase de développement du dP DIVECOSYS. Elle est essentielle compte tenu de l'objectif collectif de contribuer à la conception de systèmes de cultures résilients reposant sur une approche agroécologique.

Fertilité des sols, nutrition de la plante et interactions sol-plante-organismes

Les apports de produits résiduels organiques (PRO), agricoles comme urbains, conduisent très majoritairement à observer globalement des effets positifs sur le sol et la plante via l'amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol. Il convient néanmoins d'approfondir la connaissance des relations entre la qualité de ces produits résiduels organiques et les interactions avec les communautés microbiennes du sol, les bioagresseurs telluriques et la plante afin de mieux comprendre les mécanismes et leviers d'action. Les modalités de nutrition de la plante et sa physiologie déterminent non seulement les conditions de sa croissance mais également son appétence et son attractivité pour les bioagresseurs. Vis-à-vis de ces derniers, les interactions entre les compartiments « sol » et « milieu aérien » méritent donc d'être davantage analysées dans le cadre du projet scientifique renouvelé. En effet, la nature et la qualité des fertilisants, chimiques et surtout organiques, sont susceptibles de modifier les équilibres écologiques (notamment microbiens) du sol et son fonctionnement biologique, et par là l'intensité de la relation de ces microorganismes avec la plante. Une illustration est l'inhibition ou la stimulation de symbioses racinaires en fonction des concentrations en éléments minéraux dans le sol (ex la présence d'azote minéral dans le sol inhibe la nodulation), en influant sur la nutrition hydrique et/ou minérale de la plante. Or, ces symbioses peuvent réduire l'effet des bioagresseurs telluriques par des processus en cours d'identification tels que la compétition pour

la ressource ou l'amélioration de la résistance physiologique de la plante.

Au sein des écosystèmes étudiés par les membres du dP, certaines cultures font l'objet de pratiques de surfertilisation. On observe en effet, notamment chez les producteurs maraîchers, des combinaisons de fertilisations chimique et organique qui s'additionnent sans tenir compte des apports respectifs de l'une et de l'autre source. De telles pratiques, généralement mises en œuvre dans une logique de « sécurisation du rendement » par le producteur, en sus de générer des problèmes de pollutions environnementales et des baisses de rentabilité, induisent également des risques accrus de pression des bioagresseurs. En effet, la nature chimique et biochimique des apports peut modifier:

- (i) **l'état nutritionnel de la culture** et créer des déséquilibres physiologiques favorables à l'expression de maladies et/ou des phytotoxicités,
- (ii) **la nature biochimique de la sève** de la plante et la rendre plus ou moins attractive pour les insectes piqueurs-suceurs,
- (iii) **l'épaisseur des parois cellulaires** de la plante et de fait sa résistance face aux bioagresseurs,
- (iv) favorablement ou défavorablement, **les équilibres microbiens du sol** (ex 1: aider la plante à réduire les effets délétères de certains parasites telluriques mais peuvent également inhiber les microorganismes symbiotiques tels les mycorhizes qui jouent un rôle sur la nutrition hydrique et minérale de la plante; ex 2 : stimuler des communautés antagonistes utiles tels les actinomycètes).

Les interactions entre les composantes bioagresseurs d'une part et la fertilité des sols d'autre part, doivent être considérées conjointement dans un objectif de mise au point de pratiques culturales ou de systèmes de cultures intégrés. Ces derniers résulteront nécessairement d'un compromis global entre les services écosystémiques rendus et les effets non-intentionnels des pratiques. Mais au-delà de leur efficacité agro-environnementale, les critères d'adoption et de rentabilité devront également être pris en compte afin d'assurer le succès des démarches de diffusion, qu'elles soient portées par les organisations de producteurs ou les organisations non gouvernementales.

Principaux modèles plantes/bioagresseurs

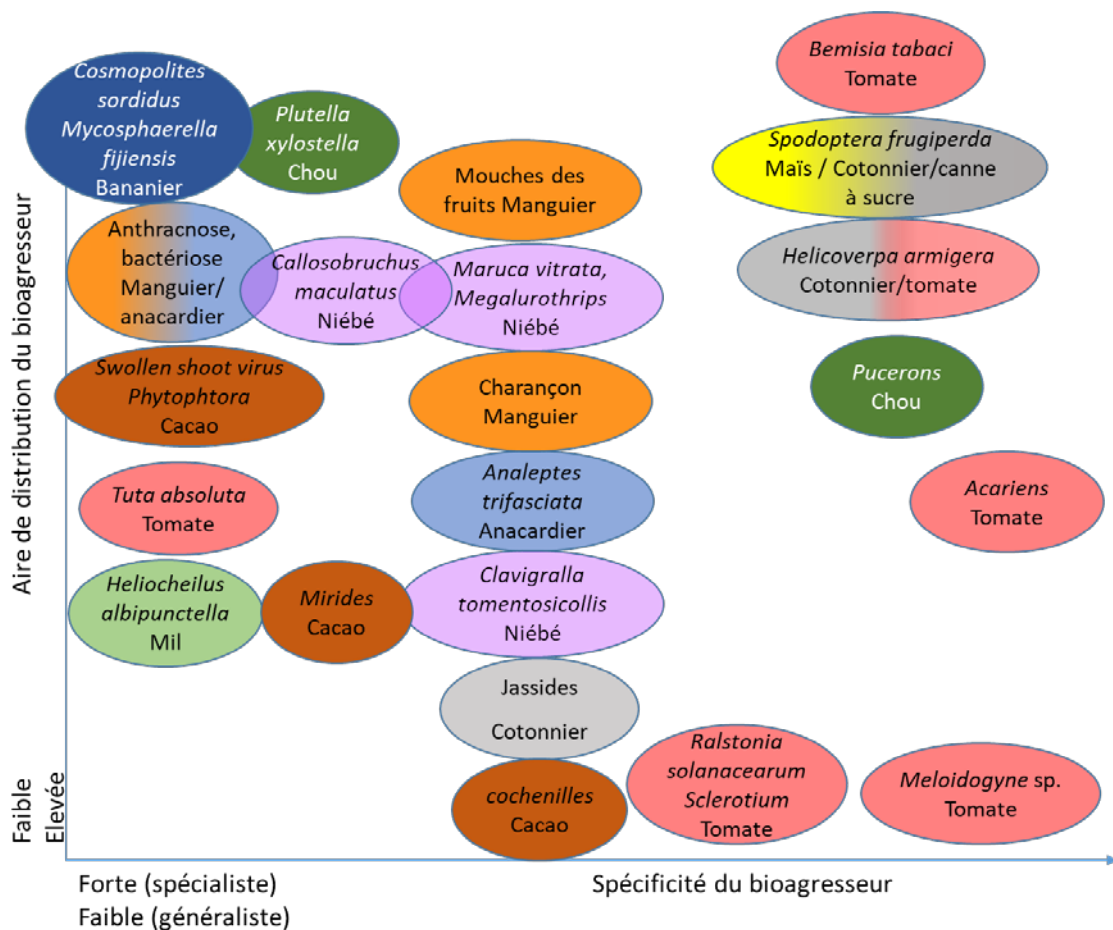
Les partenaires locaux du développement (groupements de producteurs, centres régionaux ou communaux de promotion agricole, sociétés cotonnières, etc.) participent activement à la formulation des questions de recherche et à la diffusion des innovations.

Le tableau 4 présente les principaux modèles bioagresseurs/plantes, ainsi que les nouvelles espèces exotiques envahissantes, étudiés au sein du dP DIVECOSYS en fonction des écorégions explorées ainsi que les principaux traits de vie déjà identifiés de ces bioagresseurs. Il est par ailleurs possible de positionner ces modèles (Fig. 1) selon, d'une part, leur capacité de dispersion et d'autre part, leur degré de spécificité par rapport au nombre d'organismes affectés (bio agresseur fortement inféodé à une espèce ou à spectre d'hôtes très large, polyphagie) car ces deux critères constituent des points essentiels permettant de choisir les processus et échelles de travail adaptés à ces bioagresseurs.

Tableau 4 : Modèles biologiques explorés par pays et régions

Pays	Ecorégion	Modèle biologique	Traits de vie connus
------	-----------	-------------------	----------------------

Sénégal	Niayes (1)	Teigne du chou Mouches des fruits Noctuelle de la tomate Nématodes à galles Mineuse de la tomate Légionnaire d'automne	oligophagie, résistance polyphagie, invasion polyphagie migration large polyphagie oligophagie, invasion
	Delta du fleuve Sénégal (2)	Foreur des tiges Punaises du sorgho Noctuelle de la tomate Mineuse de la tomate Flétrissement bactérien de la tomate Légionnaire d'automne	diapause diversité persistance dans le sol polyphagie, invasion
	Bassin arachidier (3)	Bruche de l'arachide Légionnaire d'automne Mineuse des épis du mil	racas d'hôtes stratégie ponte au champ monophagie diapause
Bénin	Nord (5)	Chenilles de la capsule Mouches des fruits Cochenilles Punaises, fourmis Foreurs des fruitiers	polyphagie mobilité polyphagie compétition vection mobilité diversité
	Centre (6)	Pucerons, thrips Punaises du niébé Foreurs de tiges Mauvaises herbes Mouches des fruits Cochenilles Punaises, fourmis Foreurs	oligophagie mobilité polyphagie compétition vection diversité
	Sud et littoral (7)	Mouches des fruits Tordeuses, fourmis Charançon du noyau Mouches blanches Nématodes	polyphagie mobilité diversité fécondité vection
Mali	Plateau Mandingue (8)	Foreurs de tige Mouches de fruits Virose du gombo	oligophagie et monophagie polyphagie
	Plateau Koutiala (9)	Chenilles Foreurs de tige Mouches des fruits Mauvaises herbes	polyphagie diversité
Burkina Faso	Zone sahélienne (10)	Mineuse de l'épi de mil	Inféodée au mil en saison hivernale et diapause en saison sèche
	Zone soudano- sahélienne (11)	Acariens des cultures maraîchères Agents bactériens et champignons pathogènes de l'arachide Bruches de l'arachide et du niébé Punaises, thrips sur niébé	Sévissent en saison sèche Fréquence des maladies Fréquence et importance des attaques
	Zone soudanienne (12)	Mineuse de la tomate Complexe d'insectes sur le cotonnier (chenilles, mouches blanches, punaises) Mouches des fruits et cochenilles Pyrale du sésame Insectes du niébé (Maruca, thrips, punaises)	Diversité et importance économique Fréquence et importance des attaques Impact important sur les rendements
Côte d'Ivoire	Nord (13)	Anthraxnose du manguier, de l'anacardier Mouche des fruits	Spores asexuées (conidies) polyphagie mobilité
	Forêts guinéennes orientales (sud) (14)	Cochenilles vectrices de la maladie du Cocoa Swollen Shoot Virus Mirides du cacaoyer Cercosporiose noire du bananier Nématodes du bananier	polyphagie, dispersion, Hémibiotrophie, spores sexuées (ascospores) et asexuées (conidies) Large polyphagie
Togo	Savanes (15)	Chenilles de la capsule Mouches des fruits Cochenilles Punaises, fourmis	polyphagie mobilité polyphagie compétition vection mobilité diversité
	Kara, Centrale et Plateaux (16)	Pucerons, thrips Punaises du niébé Foreurs de tiges Mauvaises herbes Mouches des fruits	oligophagie mobilité polyphagie compétition vection diversité
	Maritime (17)	Mouches des fruits Tordeuses, fourmis Charançon du noyau Mouches blanches Nématodes	polyphagie mobilité diversité fécondité vection



Inspiré de Ratnadass et al 2008
Oméga3, doc de projet

Figure 3 : Les principaux modèles biologiques étudiés

Les travaux actuels des chercheurs impliqués dans le dispositif portent sur les productions vivrières de céréales (mil, sorgho, maïs et riz) et de légumineuses (arachide, niébé), sur l'arboriculture fruitière (mangue, agrumes, anacarde), et sur le maraîchage (tomate, chou, gombo, légumes feuilles). Le dispositif considère également les cultures d'exportation (coton, horticulture et cacao) qui, non seulement contribuent au revenu des populations rurales, mais font l'objet d'une pression forte de bioagresseurs entraînant des pratiques conventionnelles intensives compte tenu des enjeux économiques sur ces cultures.

Les orientations scientifiques choisies par modèle « plante-bioagresseurs »

Chaque culture fait face à des contraintes et des bioagresseurs différents (Fig.1), qui ne pourront pas être abordés via les mêmes approches/processus, ni mobiliser les mêmes leviers techniques (Fig.2). Les traits de vie des bioagresseurs concernés, lorsqu'ils ont déjà été déterminés, impliquent également des échelles de travail différentes (du microcosme au paysage en passant par le champ cultivé). C'est la raison pour laquelle les orientations scientifiques, qui reposent sur la mobilisation des processus présentés, sont ci-après présentées via une entrée filière/culture.

Cultures maraîchères

Considérant les problèmes simultanés de forte pression de bioagresseurs, aériens comme telluriques, et de surfertilisation, les travaux sur la filière maraîchère se focaliseront sur :

- (i) **la gestion des bioagresseurs telluriques** (*Meloidogyne* spp., *Ralstonia solanacearum*, *Sclerotium rolfsii*.....) **et aériens** (*Tuta absoluta*, *Helicoverpa armigera*, *Plutella xylostella*, acariens phytophages.....) qui sont actuellement les freins majeurs à la productivité des fermes maraîchères et les principaux facteurs conduisant à l'utilisation de pesticides ;
- (ii) **l'optimisation des pratiques de fertilisation** afin d'en réduire les impacts agronomiques (surfertilisation, baisses de rendements, compromission de la qualité des produits, effets non-intentionnels sur les cultures et les organismes utiles), économiques (rentabilités plus faibles) et environnementaux (pollution des ressources en eau, des sols et des produits).

En ce qui concerne le volet portant sur la régulation des bioagresseurs telluriques des plantes maraîchères (pour lesquels les apports de matière organique ne sont pas un levier suffisant pour les réguler de façon satisfaisante), à savoir les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) et la bactérie responsable du flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*), nous approfondirons de façon complémentaire les processus de régulation via le levier '**plantes de services**' susceptible de mobiliser comme processus (Ratnadass *et al.* 2012) :

- (i) **la rupture du cycle temporel infectieux** en utilisant des variétés résistantes (culture et plantes de services, les ressources génétiques du dP IAVAO⁴ seront mobilisées chaque fois que possible via ce volet) ;
- (ii) **l'allélopathie** ;
- (iii) **la suppressivité générale et spécifique du sol** ;
- (iv) **l'effet protecteur** pour la culture via la symbiose mycorhizienne potentiellement stimulée via un choix judicieux et multicritères de plantes de service utilisées en rotation culturale. Sur ce dernier point, les compétences scientifiques des LMI lesol et Lapse sur cette association symbiotique seront sollicitées.

Les recherches sur les bioagresseurs aériens incluent des approches pouvant être combinées en prenant en compte à la fois les régulations *bottom-up* et *top-down* :

- (i) **l'approche « réseaux trophiques »**, faisant appel aux concepts et outils de l'entomologie/acarologie et de l'écologie des communautés. La lutte biologique est plus complexe que l'utilisation d'une simple interaction de prédation. Les couples prédateur-proie sont intégrés dans des réseaux trophiques complexes. Les interactions, directes et indirectes, régulent la dynamique des populations des espèces qui composent le réseau trophique, et donc régulent la dynamique des populations de ravageurs. La prédation est l'interaction la plus évidente, mais la prise en compte globale du réseau trophique permet d'élargir le nombre d'interactions manipulables pour améliorer le contrôle biologique. Par exemple, une grande diversité d'arthropodes au sein d'une parcelle permet d'améliorer le contrôle biologique via une augmentation des populations de prédateurs (Settle *et al.* 1996 ; Huang *et al.* 2011). Une vision large du réseau trophique sera donc prise en compte, de la bactérie jusqu'aux vertébrés en passant par les '**plantes compagnes**' afin d'utiliser tous les leviers possibles permettant d'augmenter la pression exercée par le réseau trophique sur le ravageur. Les chercheurs s'attacheront :
 - a. **à identifier des ennemis naturels prometteurs** ;
 - b. **à décrire les mécanismes/interactions** qui les lient aux autres espèces de l'agrosystème **et à mettre en place des outils** qui permettront de bénéficier à des niveaux intéressants de ce service écosystémique (régulation biologique naturelle).
- (ii) **l'approche push-pull** avec plantes pièges et /ou répulsives, avec un recours éventuel à des

⁴ IAVAO : Innovation et Amélioration Variétale en Afrique de l'Ouest

- extraits de plantes (huiles essentielles, huiles fixes),
(iii) **L'approche de lutte physique** à l'aide de **filets anti-insectes** (Encadré 5).

Encadré 4. Plantes de services

Une plante de service est une espèce introduite dans une parcelle ou un agrosystème pour rendre des services écosystémiques. Les services écosystémiques attendus peuvent être très variés (cf figure 2) : amélioration de la fertilité des sols (ex des engrais verts, fixatrices d'azote, protection des sols contre l'érosion...), gestion des bioagresseurs tant telluriques qu'aériens via différents processus mobilisables, barrières physiques, visuelles ou olfactives, refuges de l'entomofaune auxiliaire, compétition avec les adventices, création d'un microclimat favorable entre autres.

Leur culture ne conduit pas à une production commerciale dans la très grande majorité des cas, mais peut permettre de mobiliser des ressources biologiques utiles.

Encadré 5. Emploi des filets

Dans le cadre du projet BioNetAgro, la conception de systèmes de culture de chou utilisant des filets anti-insectes a permis au Bénin de définir à la fois les meilleures caractéristiques des filets (choix de la maille selon les ravageurs cibles) et leur mode optimal d'utilisation (fréquence d'ouverture). Toutefois, malgré la démonstration de la rentabilité à court terme, l'adoption des filets sur les cultures bute à la fois sur le manque de trésorerie des petits producteurs qui limite toute forme d'investissement mais aussi sur l'absence d'une politique volontariste de réglementation de l'emploi des pesticides. L'objectif est de valider à l'échelle régionale (Afrique de l'Ouest) les résultats de la pratique et d'étudier comment lever les obstacles à son adoption.

Concernant le volet portant sur les pratiques de fertilisation organique, la **fertilisation raisonnée** (Encadré 6) est un élément essentiel de l'approche agro-écologique puisqu'elle consiste en la mise en place d'un équilibre entre les besoins de la culture et les apports du sol, les apports minéraux et organiques prodigués par l'agriculteur. L'objectif est de satisfaire les besoins nutritionnels de la plante en s'assurant que les fournitures totales en un élément ne dépassent pas les besoins de la culture en cet élément, et donc d'éviter la surfertilisation qui pose des problèmes environnementaux et peut dans certains cas faciliter la prolifération des bioagresseurs.

Ainsi, les choix agronomiques doivent tenir compte des aspects (i) de fertilisation *sensu stricto* (augmenter le niveau de la fertilité du sol), (ii) de préservation de l'environnement (maintenir la fertilité du sol à long terme, garder sous contrôle les éventuelles contaminations) et enfin (iii) de l'influence qu'ont ces deux aspects sur la dynamique des bioagresseurs et le rendement final.

Encadré 6. La fertilisation raisonnée

- Le Comifer (Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) indique lors de la 4^e conférence de l'IMPHOS (World Phosphate Institute), en septembre 1992 : « **la fertilisation raisonnée** » est l'ensemble des règles agronomiques et pratiques, organisées suivant une logique cohérente du double point de vue de l'agriculteur (qui agit) et de l'agronome (qui conseille), qui :
 - permettent au chef d'exploitation d'éclairer ses choix en matière d'apport de fertilisants (minéraux et organiques) en vue d'atteindre les objectifs quantitatifs et qualitatifs de production qu'il se fixe dans le cadre du système de culture et de potentialités pédo-climatiques dans lequel il agit
 - tout en conservant, voire améliorant, les caractéristiques écologiques dudit milieu. »

Les recherches s'attacheront de manière parallèle à :

- (i) **Caractériser les PRO** du point de vue de leurs valeurs fertilisantes (N, P et K), de leurs valeurs amendantes (C) et de leur valeurs contaminantes (ETM). Un soin particulier sera apporté à

- identifier les différentes formes chimiques sous lesquelles sont ces composés et leurs disponibilités. De la même manière, cette caractérisation devra déterminer le potentiel de contamination de ces PRO par les ETM ou les CTO en fonction de leur spéciation ;
- (ii) **Comprendre les effets de ces PRO** et de leurs contaminants sur la structure des communautés microbiennes, notamment utiles, et sur la pression exercée par les bioagresseurs, telluriques ou aériens, sur les cultures, tentant ainsi d'établir un lien, lorsqu'il existe, entre mode de nutrition de la culture et attractivité vis-à-vis des bioagresseurs ;
 - (iii) **Comprendre les mécanismes** qui gouvernent la dynamique des composés fertilisants (C, N, P, K) et des composés contaminants (ETM, CTO, ...) dans les sols cultivés qui reçoivent des épandages de PRO. La compréhension de ces mécanismes offrira également des critères indispensables pour orienter les pratiques de gestion des PRO en fonction du système de culture et ainsi éviter des effets non-intentionnels ;
 - (iv) **Comprendre les interactions** entre ces composés fertilisants et contaminants avec les plantes. Il s'agit d'identifier dans quels cas l'épandage de PRO entraînerait une augmentation de rendement (et dans quelle mesure) et si ce rendement peut être maintenu dans la durée sans accumulation de contaminant dans le sol sous des formes qui pourraient être toxiques pour la plante à long terme. Un soin particulier sera apporté à comprendre les mécanismes du sol qui sous-tendent cette augmentation de rendement ou cette toxicité ;
 - (v) **Comprendre la dynamique des PRO** à l'échelle du territoire afin de proposer des scénarii de gestion de PRO qui soient plus efficaces et plus équilibrés en termes de gestion de la ressource disponible car prenant en compte les ressources disponibles dans les écorégions étudiées et proposant ainsi des pratiques de fertilisation organique adaptées aux contextes. Ces travaux feront l'objet d'une articulation avec le dP ASAP⁵.
 - (vi) Comprendre les impacts de l'utilisation des PRO sur les sols en changeant d'échelle de raisonnement : parcelle- exploitation- région afin d'améliorer les prises de décision.

In fine, tirant partie des connaissances issues de ces travaux de caractérisation et de compréhension des processus, des recherches à portée plus opérationnelle permettront de définir des doses optimales pour la fertilisation organique en substitution totale ou partielle à la fertilisation chimique importée, afin d'obtenir le meilleur compromis rendement/dégâts de bioagresseurs/fertilité du sol/coût environnemental.

Coton

Les travaux sur la filière cotonnière développés au sein de DIVECOSYS visent à contribuer à une intensification durable de la culture de coton, en identifiant et développant des techniques de lutte intégrée pour réduire l'utilisation des pesticides. Le premier objectif de ces travaux sera d'identifier les interactions tri-trophiques les plus importantes dans les cultures de coton ainsi que de comprendre leur base mécanistique et documenter leurs conséquences. Le deuxième objectif est de manipuler ces interactions pour fournir des pratiques de lutte intégrée contre les ravageurs qui nous aideront à réduire l'utilisation des pesticides et à accroître les avantages économiques des agriculteurs d'Afrique de l'Ouest. Nous explorerons une combinaison de plusieurs pratiques pour réduire les populations des ravageurs dans les cultures de coton qui nous aideront également à réduire l'utilisation de pesticides :

(i) Écimage des cotonniers

Malgré le faible nombre d'études sur les effets de l'écimage sur la lutte contre les ravageurs, des recherches menées au Mali ont montré que l'écimage manuelle réduit fortement l'infestation des espèces de la chenille de la capsule (Renou et al., 2011) et aussi des piqueurs-suceurs (communication personnelle, Renou) sans montrer des effets négatifs sur

⁵ ASAP : Systèmes agro-sylvo-pastoraux en Afrique de l'Ouest

le rendement de la plante. L'écimage peut permettre de réduire de 60% la quantité d'insecticides par rapport aux pratiques agricoles conventionnelles. Ce résultat suggère que, de manière similaire à ce qui a été rapporté pour les plantes de tomates endommagées par des insectes herbivores (Mescher & De Moraes 2014), les cotonniers peuvent émettre des composés volatils qui préparent les plantes voisines à se défendre d'une attaque imminente. En effet, lorsque les plantes sont endommagées par des insectes, la plante agressée peut présenter une gamme de réponses physiologiques, telles que l'émission de composés volatils (COVs), qui peuvent repousser les herbivores et attirer des ennemis naturels (Turlings, Tumlinson & Lewis 1990). Les mêmes COVs sont également détectés par les plantes voisines qui, après avoir détecté le signal, se préparent à se défendre contre l'attaque. Alors que les conséquences écologiques et les mécanismes sous-jacents à la technique de l'écimage ne sont pas encore bien compris, des travaux récents ont révélé que les plantes écimées émettent certains composés volatils qui ont un effet sur le comportement d'oviposition de la chenille de la capsule *Helicoverpa armigera* (résultats non publiés, Brévault). L'objectif est de poursuivre ces activités de recherche menées par des chercheurs impliqués dans le dP DIVECOSYS sur l'écimage du cotonnier pour étudier les effets de l'écimage sur les insectes de différents niveaux trophiques. Nous utiliserons des expériences de terrain et de laboratoire pour déterminer le potentiel de l'écimage en tant qu'un composant de la lutte intégrée contre les ravageurs au Sénégal et au Mali.

(ii) Végétation naturelle

Les interactions tri-trophiques présentes dans la culture de coton peuvent également être modifiées par la présence de la végétation associée. La végétation native pérenne a été décrite comme un habitat alternatif important pour les ennemis naturels dans les cultures cotonnières en Australie (Williams, Wilson & Vogel 2011). En effet, en Australie environ 42% d'une superficie moyenne de coton est consacrée à la végétation naturelle (source: Australian Grown Cotton Sustainability Report, 2014). La stabilité de la végétation pérenne fournit des ressources complémentaires aux ennemis naturels. Cependant, certains ravageurs du coton peuvent également utiliser la végétation naturelle en tant qu'hôte pour se développer depuis le stade larvaire et aussi pendant le stade adulte (Saeed, Razaq & Hardy 2015). Par conséquent, il est nécessaire d'étudier les interactions tri-trophiques associées à chaque ravageur ciblé non seulement sur la culture, mais aussi sur la végétation environnante associée à la culture. Cela fournira des informations importantes sur les sources de nourriture et de subsistance des organismes nuisibles et des ennemis naturels qui doivent être conservés ou éliminés afin de promouvoir le contrôle des ravageurs.

(iii) Plantes de service, cultures associées, et pratiques culturales

Les cultures associées ou l'*association de culture* est un type de polyculture qui vise à réduire l'attaque des organismes nuisibles en cultivant différentes espèces végétales qui améliorent entre elles leur croissance (Parker *et al.* 2013). Dans les cultures de coton, l'utilisation de luzerne en association avec le coton a montré des réductions de l'attaque des insectes de *Lygus* en Californie (Sevacherian & Stern 1974). Dans ce cas, la plante de luzerne a été utilisée comme culture piège pour attirer l'insecte nuisible loin de la culture cible. Pour être des perturbateurs efficaces de la localisation de l'hôte par les ravageurs, les plantes associées devraient agir par voie visuelle et/ ou chimiquement. Ce type de lutte contre les ravageurs est un contrôle en 'bottom up', mais d'autres plantes de service pourraient également être plantées à proximité de la culture pour améliorer un contrôle 'top-down' en attirant des ennemis naturels des herbivores (Parker *et al.* 2013). Notre objectif est d'identifier des plantes qui pourraient être utilisées dans un système 'push-pull' associé aux cotonniers. Nous explorerons le contrôle 'bottom-up' et 'top-down' des plantes sélectionnées sur les insectes ravageurs en utilisant des expériences de laboratoire et en serre pour après conduire des

expériences sur le terrain.

En plus des pratiques culturales proposées, d'autres pratiques telles que la fertilisation et la date de semis, sont considérées comme des pratiques clés pouvant influencer la dynamique des insectes ravageurs du coton. L'idée finale est de concevoir une stratégie de protection des cotonniers avec les acteurs locaux, qui intègre l'ensemble des services écologiques et les bonnes pratiques culturales.

Mil

Les travaux menés s'intéressent aux effets des pratiques agricoles et du contexte paysager sur les communautés d'arthropodes (ravageurs et ennemis naturels) dans les systèmes de culture à base de céréales, à l'échelle de la parcelle et du paysage (Brévault *et al.* 2015). Le système biologique ciblé est la mineuse de la chandelle de mil, *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae). Les premières études ont permis de montrer que la végétation arborée et de la diversité des éléments du paysage favorisent la régulation naturelle de la mineuse du mil par les populations d'ennemis naturels (Soti *et al.* 2019). Des outils moléculaires de séquençage à haut débit (Next Generation Sequencing) combinés à une identification morphologique ont été utilisés pour construire une librairie de référence de l'entomofaune associée au mil (Sow *et al.* 2018). D'autres facteurs de régulation comme la prédation par des vertébrés (dont oiseaux) expliquent aussi cette régulation naturelle. La mise en évidence de l'importance des arbres sur la régulation naturelle d'un ravageur du mil à l'échelle du paysage, ouvre la voie à des recommandations d'aménagements agroforestiers et d'arbres à introduire dans les systèmes pour favoriser et augmenter le biocontrôle. De nouvelles études sont cependant nécessaires pour caractériser, à une échelle d'analyse plus réduite, le rôle des arbres comme pourvoyeurs de ressources pour les ennemis naturels des ravageurs (refuges, ressources alimentaires, proies alternatives, etc.). La connaissance de la structure des réseaux trophiques associés à la mineuse de la chandelle de mil et à son milieu doit permettre de mieux définir les modalités de pilotage des processus écologiques de régulation de ses populations, dans une perspective d'intensification de la lutte biologique par conservation.

Maïs

Un nouveau front s'ouvre également sur la gestion du ravageur invasif, *Spodoptera frugiperda*. La recherche a un rôle à jouer, en interaction avec les acteurs des filières agricoles et des territoires concernés, pour accompagner la conception de stratégies de gestion agroécologique du ravageur. Au Sénégal et au Mali, l'aménagement des systèmes de cultures se basera sur un diagnostic permettant d'identifier les objectifs fixés par les producteurs qui veulent faire évoluer leur système de production. Des innovations techniques reposant sur l'aménagement des habitats et des pratiques (par exemple l'intégration de bio-solutions dans les programmes de protection) seront discutées et testées avec les producteurs de maïs. Au Burkina Faso, elle a infesté plus de 58 324 ha de culture dont 8 388 ha endommagés à divers degrés principalement sur le maïs et le sorgho (MAAH, 2017). Les études porteront sur la diversité biologique, comportementale, les interactions avec leurs antagonistes locaux ou importés et les plantes hôtes associées pour générer des résultats à mêmes de contrôler naturellement et écologiquement les populations du bioagresseur. L'évaluation du potentiel de régulation naturelle de *S. frugiperda* par les auxiliaires au Sénégal est actuellement en cours avec des résultats prometteurs.

Riz

Jusqu'à présent, mis à part les oiseaux granivores, la contrainte phytosanitaire rapportée sur le riz était les adventices. Elles continuent à poser beaucoup de problèmes environnementaux en riziculture irriguée du fait du recours aux herbicides. Toutefois, depuis quelques années, les insectes commencent à prendre de l'importance au sein des contraintes biotiques du riz, notamment au Sénégal. Cette importance ira s'agrandissant eu égard à la politique d'autosuffisance en riz voulue par les autorités.

Celle-ci suppose une double culture donc une durée de présence accrue du riz dans les agroécosystèmes qui a pour corollaire la disponibilité alimentaire pour les bioagresseurs de tous ordres.

Les premières observations faites sur le riz, du moins dans les systèmes irrigués du Delta du fleuve Sénégal, présument une importance grandissante des foreurs des tiges et des punaises des grains qui s'ajouteront aux adventices et aux oiseaux granivores. Une invasion localisée de rongeurs en novembre 2016 fait également croire que le risque existe et qu'il doit être suivi avec intérêt. Cette thématique de rongeurs invasifs est cependant déjà prise en charge par le laboratoire Biopass.

Pour ce qui est des foreurs des tiges et des punaises, des travaux portant sur les chaînes trophiques (Plantes hôtes-bioagresseurs-agent de lutte biologiques) devraient permettre de parvenir à une gestion économique et écologique de ces nuisibles.

Au Bénin, des travaux menés sur le riz ont visé l'amélioration des conditions hydriques dans les bas-fonds afin de réduire l'impact négatif de la toxicité ferreuse sur le rendement ; les résultats ont montré la possibilité de réduire la toxicité ferreuse par un système d'alternance irrigation-drainage ; ce système permet d'évacuer plus de fer ferreux du milieu, rendant ainsi ce dernier plus favorable (pH, Eh, Fe²⁺) à la production du riz de bas-fond.

Légumineuses à graines et oléagineux

La culture des légumineuses représente une alternative intéressante qui s'appuie sur la valorisation des ressources locales, afin d'améliorer la fertilité des sols (Bossuet et Vadez, 2013). Une place de choix devra leur être accordée dans les paysages agricoles d'Afrique de l'Ouest d'autant qu'elles s'intègrent facilement dans les systèmes cultures d'association avec les céréales. Les études déjà réalisées ont permis de caractériser la répartition spatiale et temporelle des principaux bioagresseurs connus sur les deux plus importantes légumineuses à graines en Afrique de l'Ouest, le niébé et l'arachide. Les recherches devraient se poursuivre spécifiquement sur les groupes clés qui nécessitent encore l'utilisation de la chimie de synthèse. Le niébé est par exemple une culture très sensible aux attaques de Thrips (Thysanoptères) floricoles, *Megalurothrips sjostedti*, contre lesquels des traitements insecticides sont presque toujours recommandés dans les itinéraires de production. Dans le cadre du dP, les recherches s'intensifieront dans le domaine de l'écologie de ces insectes et de la lutte biologique. Les autres options de contrôle agroécologiques incluant les effets bénéfiques des associations culturales et les plantes hôtes alternatives seront également considérées. Les autres légumineuses et oléagineux d'intérêt incluent le soja et le sésame dont l'expansion est corrélée à de nouveaux problèmes entomologiques à inclure dans les modèles étudiés.

Cultures fruitières

L'impact des bioagresseurs sur la productivité des cultures fruitières revêt un enjeu stratégique pour les pays en voie de développement à la fois en termes de sécurité alimentaire (autonomie) mais aussi économique (maîtrise, contrôle et optimisation des volumes produits). Les travaux menés au sein du dP en arboriculture fruitière consistent donc à identifier et mobiliser de nouveaux leviers agroécologiques qui améliorent la valeur des services écosystémiques de la régulation naturelle des bioagresseurs afin de diminuer le recours aux intrants chimiques et d'augmenter la production des vergers. Ainsi, les recherches du dP s'attachent à :

- (i) **comprendre l'effet de la composition et de la configuration spatiale** des agroécosystèmes sur les bioagresseurs et leurs ennemis naturels (Chaplin-Kramer *et al.* 2011, Veres *et al.* 2013). Une approche d'écologie des communautés visant à élargir le réseau trophique mobilisé pour améliorer la lutte biologique, telle que décrite dans la section maraîchage, sera aussi utilisée. Concernant les aspects spatiaux, par exemple, l'abondance des populations de

mouches des fruits sera caractérisée en fonction de la densité et la diversité de plantes ressources (plantes hôtes cultivées et naturelles) pour ces bioagresseurs mais aussi de la structure spatiotemporelle des refuges d'ennemis naturels (zone de végétation semi-naturels dans l'agrosystème). L'identification de structures spatiales favorisant la régulation écologique des bioagresseurs des cultures permettra d'accroître la productivité des systèmes fruitiers tout en diminuant la dépendance des producteurs vis-à-vis des pesticides. Ces connaissances nouvelles permettront de proposer des aménagements agro-écologiques des paysages reposant sur les services rendus par la diversité fonctionnelle du paysage.

- (ii) **identifier des outils de lutte biologique**. Un nouveau front de recherche s'ouvre pour la mise au point de solutions innovantes de gestion agroécologique des bioagresseurs des cultures, sur le concept de l'entomovectoring. Une des applications est l'utilisation d'insectes sauvages (auto-dissémination à partir de pièges) ou d'élevage (mâles stériles ou encore des auxiliaires des cultures), comme convoyeurs de biocides pour le contrôle de ravageurs cibles. L'approche paysage est ici mobilisée pour (i) guider l'observation (identification des sources dans la dynamique des populations d'un ravageur) et (ii) produire un cadre d'action dans l'espace et le temps (choix des zones et des périodes d'intervention). De nouveaux travaux commenceront également sur les nombreux ravageurs de l'anacarde (longicorne *Analeptes trifaciata*, foreurs de tige *Apate terebrans*, *Plocaederus ferrugineus* et *Mecocorynus loripes*, insectes piqueurs-suceurs, les punaises *Helopeltis spp.*, *Pseudotharpus wayi*, la cochenille farineuse *Pseudococcus longispinus*, les thrips *Selenothrips rubrocinctus*, la chenille mineuse des feuilles *Acrocercops syngamma*.

Cacao

Le cacao est une source de revenus importante pour de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest. La région produit d'ailleurs les trois quarts du cacao mondial, avec deux principaux pays producteurs, la Côte d'Ivoire et le Ghana, qui comptent à eux seuls pour 70% de la production mondiale. Dans ces pays, la production est pourtant limitée par une forte pression des bioagresseurs. Les principaux insectes ravageurs sont les mirides *Sahlbergella singularis* et *Distantiella theobroma*, et les cochenilles farineuses pour leur rôle dans la vection d'une maladie virale en expansion en Côte d'Ivoire, la maladie du Cocoa Swollen Shoot Virus (CSSV). Seize espèces de cochenilles sont potentiellement vectrices du CSSV, mais deux espèces jouent un rôle majeur dans les cacaoyères de Côte d'Ivoire et du Ghana, *Formicococcus (Planococcoides) njalensis* (Laing) et *Planococcus citri* Risso. Les mirides et les cochenilles vectrices du CSSV ont fait l'objet de décennies de recherche en Afrique de l'ouest, dont les résultats n'ont pas permis de résoudre le problème. Par exemple, la lutte biologique contre les cochenilles a été engagée dès les années 1950 au Ghana, mais les lâchers inondatifs d'ennemis naturels exotiques (parasitoïdes et prédateurs) n'ont pas donné les résultats escomptés. La lutte chimique a également montré ses limites en cacaoculture (Babin, 2018).

En Côte d'Ivoire particulièrement, l'un des facteurs responsables de cette pression accrue des bioagresseurs est sans doute l'intensification des systèmes de production, avec la généralisation des monocultures en plein soleil, cultivées sur de vastes surfaces discontinues, bien qu'appartenant à une multitude de petits planteurs. Ajouté à cela, le fait que la cacaoculture est aujourd'hui considérée comme l'une des principales causes de déforestation en Côte d'Ivoire explique la volonté de développer des systèmes plus diversifiés, en faisant appel à l'agroforesterie par exemple, qui semble de plus en plus partagée par de nombreux acteurs de la filière.

Les activités de recherche sur les bioagresseurs du cacao menées dans le dP DIVECOSYS ont pour objectif de mesurer l'impact de la diversité végétale sur les peuplements d'insectes ravageurs et de l'entomofaune associée, et de déterminer les mécanismes de régulation impliqués à différentes échelles (paysage, parcelle et arbre). Un accent sera porté sur les communautés de fourmis, omniprésentes dans les cacaoyères et dont certaines espèces sont connues pour s'alimenter aux dépens des mirides ou disperser, entretenir et protéger les cochenilles. Notre objectif final est de formuler des

recommandations de biocontrôle contre ces insectes ravageurs basées sur la diversification végétale. Les études devraient aussi prendre en compte la présence des espèces de *Phytophthora*, responsables de la pourriture brune du cacao et occasionnant des pertes très importantes.

Plus spécifiquement, il s'agira de :

- (i) Déterminer l'effet de la **diversité végétale** à l'échelle du paysage sur les **réseaux trophiques** impliquant les bioagresseurs (plantes hôtes – bioagresseurs – communautés de fourmis - ennemis naturels)
Des collectes d'insectes sont menées dans des plantations de cacao sélectionnées au sein de paysages comprenant des gradients d'intensification, allant de systèmes complexes diversifiés, vers la monoculture de cacao. Les variables paysagères sont caractérisées par télédétection. L'outil de métabarcoding est utilisé pour la caractérisation des réseaux trophiques et l'estimation des taux de parasitisme et de prédation (qui mange qui et en quelle quantité ?)
- (ii) Déterminer l'impact de la **structure et de la composition** de systèmes cacao diversifiés sur la **dynamique spatio-temporelle** des populations de bioagresseurs à l'échelle de la parcelle et en expliquer les mécanismes
Les observations d'insectes sont menées de manière répétée pendant 2 à 3 ans au sein de plantations de cacao plus ou moins diversifiées. Les éléments végétaux composant les parcelles d'observation sont cartographiés et des variables biophysiques caractérisant l'habitat des bioagresseurs sont mesurées. Des outils de modélisation spatiale sont utilisés de manière à caractériser la dynamique spatio-temporelle des populations de cochenilles et de déterminer les facteurs impliqués.
- (iii) Tester des **méthodes de biocontrôle** basées sur la **diversification végétale**, telles que l'utilisation de **plantes barrières**, de plantes répulsives ou de plantes hébergeant des auxiliaires. Des parcelles comprenant des plantes de service sont mises en place et les dynamiques des populations de bioagresseurs et de l'entomofaune associée sont caractérisées dans ces systèmes.

Bananier

En Côte d'Ivoire à la demande des filières, un projet est conduit en vue de répondre à l'absence de produits biologiques homologués pour la lutte contre les parasites foliaires des bananiers dessert et des bananiers plantain notamment les cercosporioses qui en absence de traitement peuvent conduire à des pertes de rendement de 25 à 100 %. Aujourd'hui la principale stratégie de lutte contre ces maladies fongiques ne repose que sur l'utilisation des pesticides de synthèse qui polluent l'environnement et nuisent à la santé des producteurs et à celle des consommateurs. Face à cette situation, des solutions alternatives de gestion durable doivent être développées. L'objectif principal du projet est donc de développer des solutions de lutte intégrée durable contre les parasites foliaires basées sur une méthodologie innovante incluant l'usage des biopesticides dans la stratégie de gestion des cercosporioses principalement en culture de bananiers plantain et chez les petits producteurs de bananiers dessert.

Les travaux menés sont portés sur la démonstration auprès des producteurs de l'efficacité de plusieurs biopesticides formulés à base d'huiles essentielles issues de la flore ivoirienne. Parmi ces biopesticides deux formulations (NECO® et PRORALY®) sont déjà homologuées et brevetées en Côte d'Ivoire avec une efficacité démontrée par le Laboratoire de Physiologie Végétale de l'Unité de Recherche sur les biopesticides de l'Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB).

[Axes de recherche transversaux](#)

Trois axes de recherche transfiliales seront mis en œuvre dans le cadre de ce projet élargi : (i) la gestion post récolte des productions végétales, (ii) la production endogène de microorganismes autochtones bénéfiques, potentiellement intéressante pour plusieurs modèles biologiques étudiés par les membres du dP mais encore à ses balbutiements en Afrique de l'Ouest et qui sera mise à l'épreuve sur cultures maraichères en premier lieu, (iii) la production et l'utilisation de biopesticides d'origine végétale, qui a déjà fait l'objet de travaux préliminaires antérieurs présentés lors d'ateliers antérieurs de Divecosys (iv) le volet socio-technico-économique, absent des projets antérieurs mais dont l'intégration devient nécessaire à ce stade d'évolution du dP où l'accent porte à présent davantage sur la mise au point de pratiques de gestion des bioagresseurs et de la fertilisation.

Gestion post récolte des productions végétales

Dans la continuité d'une gestion agro-écologique des bioagresseurs dans les agrosystèmes, un axe de recherche sur la protection des récoltes sera également développé. Ces récoltes, qui doivent garantir une conservation durable de la qualité des aliments et des semences, sont attaquées principalement par deux groupes de bioagresseurs incluant les insectes (Coléoptères et Lépidoptères) et les agents pathogènes de semences. Les recherches déjà menées par les membres du Dispositif ouvrent des perspectives d'utilisation d'extraits de plantes, de l'entomofaune auxiliaire associée aux ravageurs et de pratiques endogènes d'intérêt. Sur le volet de l'utilisation des plantes en protection post-récolte des productions végétales, les recherches consisteront à répertorier et à optimiser les extraits efficaces en vue de mettre au point des formulations faciles à utiliser par les acteurs. Les études se poursuivront également pour une meilleure connaissance des ennemis naturels des nuisibles et des interactions tri-trophiques pouvant déboucher sur des systèmes de lutte biologique dans les denrées stockées. Les méthodes endogènes d'intérêt seront améliorées et adaptées selon le contexte et les modèles d'études. Les productions végétales visées incluent les légumineuses à graines et les cultures vivrières céréalières.

Production endogène de microorganismes autochtones bénéfiques (MAB)

Un nouvel axe de recherche transversal sera ouvert sur une pratique innovante pour la sous-région : la production endogène de microorganismes autochtones bénéfiques (MAB) issus de la microflore tellurique locale. Cette technologie de biocontrôle « rustique », largement utilisée en milieu paysan en Amérique latine par exemple, est basée sur le principe de la multiplication des microorganismes naturellement présents dans les litières présentes à la surface des sols non anthropisés (donc non soumis à la pression de sélection liée aux activités agricoles) par un procédé simple de fermentation acido-lactique. La préparation solide obtenue peut être utilisée de plusieurs façons :

- (i) **en apport solide au sol** afin de ré-inoculer le sol avec des microorganismes bénéfiques locaux dont les populations initiales ont été déprimées par les pratiques culturales et
- (ii) **en solution fille à l'état liquide** au sol à nouveau comme en pulvérisation foliaire où elle a montré dans d'autres pays des effets positifs sur la régulation des bioagresseurs aériens. Cette technologie, qui permettrait d'activer simultanément plusieurs processus, sera introduite au Sénégal en premier lieu pour y être
- (iii) **adaptée aux conditions locales** et
- (iv) **évaluée en premier lieu sur les systèmes maraichers** où la polyvalence supposée de ces MAB pourra être évaluée tant via ses effets sur le sol que sur les bioagresseurs telluriques et aériens. Cette pratique multiservices, si efficace dans les zones d'étude, sera un levier important d'autonomisation des producteurs vis-à-vis des intrants de synthèse importés. Le LMI lesol nous accompagnera via ses compétences scientifiques et analytiques pour la caractérisation microbienne des produits obtenus et la compréhension des effets obtenus sur le sol. En cas de résultats prometteurs, cette technologie pourra ensuite être évaluée sur les autres cultures cibles du dP.

La production et l'utilisation de biopesticides d'origine végétale

À la suite de l'atelier de Divecosys organisé en Juin 2015 à Dakar, un réseau informel des personnes intéressées par l'utilisation des plantes ou ayant déjà publié des travaux de recherche a été constitué (réseau Plantes Pesticides d'Afrique-PPAF). Les travaux de *Knowledge Management* du projet Knomana⁶ ont permis de commencer à capitaliser les résultats publiés des recherches portant sur les plantes à effets pesticide, antibactérien, antibiotique et antimicrobien.

Les plantes sont employées sous la forme d'extraits aqueux, d'huiles obtenues par pression (graines de neem), d'huiles essentielles obtenues par hydrodistillation. Des formulations commerciales sont parfois appliquées. L'Agriculture Biologique est demandeuse de ce type de formulations pour remplir les obligations de son cahier des charges. Mais l'intégration des extraits de plantes dans des programmes de protection conventionnelle a déjà commencé, en culture cotonnière par exemple. Ainsi le Mali a déjà expérimenté plusieurs formulations à bases de cinq espèces végétales qui ont donné des résultats intéressants sur les ravageurs du cotonnier (chenilles carpophages et insectes piqueurs suceurs). Sur la même culture, une thèse de Doctorat est en cours au Sénégal et d'autres travaux sont conduits en Côte d'Ivoire par l'UFHB.

En vue de rechercher des solutions alternatives contre les bio agresseurs, un screening de plantes a été effectué sur la base de leurs activités fongicides ou fongistatique. L'unité de recherche sur les Biopesticides et le centre d'Excellence de l'UFHB œuvrent à la mise à disposition de formulations biopesticides pour la protection des bananiers contre les maladies fongiques comme la cercosporiose noire. A cet effet deux formulations homologuées que sont le NERCO et le PRORALY sont en cours de diffusion dans les zones de production de bananes plantain et dessert.

Quatre formulations biopesticides ont été éprouvées contre les parasites du manguier, bactérioses, anthracoses, scab. Ces formulations sont aussi en cours de diffusion depuis le mois de juin avec la participation des acteurs de la filière. Il s'agit du NECO, du PRORALY, du DOCUS et de ASTOUN. Le Laboratoire de Physiologie Végétale de UFHB a élaboré avec l'appui du FIRCA un document sur les alternatives à la lutte contre les nématodes du bananier. Ces pratiques combinent l'utilisation des plantes de service et des extraits de plantes pour les parcelles en production et les jachères.

L'utilisation des plantes concerne potentiellement toutes les filières de production.

- La capitalisation des travaux sera poursuivie dans le cadre développé par le projet Knomana afin de produire un logiciel d'aide aux utilisateurs de plantes.
- Dans le cas des systèmes de cultures utilisant des produits phytopharmaceutiques de synthèse, la réduction de leur utilisation sera un objectif visé. Cette réduction sera plus particulièrement privilégiée dans le cas des substances naturelles dérivées de végétaux à faible effets non-intentionnels, dans un objectif de transition écologique (voir schéma de Gliessman ci-dessous, étape 2).

⁶ Projet développé dans le cadre du métaprogramme Glofoods Inra-Cirad.

THE FIVE LEVELS OF FOOD SYSTEM TRANSFORMATION

(Figure publiée In : AFSA 2016. Agroecology: The Bold Future of Farming in Africa. AFSA & TOAM. Dar es Salaam. Tanzania)



Volet socio-technico-économique : analyses des systèmes, des coûts-bénéfices des pratiques, identification des facteurs et leviers d'adoption et accompagnement du processus de diffusion des pratiques de gestion co-conçues

La mise au point d'une pratique par les membres du dP, tout agroécologique qu'elle soit, sera jugée et jugée par ses destinataires finaux, à savoir les producteurs, sur un ensemble de critères plus large que ceux initialement pris en compte par les chercheurs pour la mettre au point. Or, c'est la large adoption de ces pratiques par ses bénéficiaires finaux qui permettra une 'agroécologisation' progressive, pratique après pratique, des systèmes de cultures et l'atteinte des impacts attendus des activités de recherche du dP sur la production agricole.

Les pratiques agricoles n'évoluent pas librement, sous l'effet d'une demande sociétale diffuse, ou bien au simple contact des prototypes proposés par les concepteurs. De nombreuses études suggèrent que des changements techniques pourtant perçus comme souhaitables sont freinés par le fonctionnement du **régime sociotechnique** dominant (Geels, 2002; Baret *et al.* 2013) (Encadré 7).

Encadré 7. Régime et niches sociotechniques

Un **régime sociotechnique** correspond à un ensemble cohérent de règles, d'acteurs, et d'artefacts matériels qui contraignent, facilitent et orientent l'innovation technique. Dans les régimes sociotechniques, les pratiques sont stabilisées par des interdépendances entre les acteurs, par des complémentarités entre les technologies, par l'alignement des règles et par l'irréversibilité de certains investissements passés (Geels, 2004).

Les **niches sociotechniques** sont des espaces protégés où des réseaux alternatifs développent des innovations en rupture avec l'existant. Les niches sont généralement considérées comme une banque de possibilités ouvrant le jeu pour une future transition de régime.

Devant ce constat, de nombreux auteurs proposent de favoriser le développement de niches sociotechniques (Geels 2002; Darnhofer 2014). Nous faisons l'hypothèse que les démarches de diagnostic, conception et diffusion des innovations agroécologiques pourraient être renforcées par une meilleure prise en compte du système sociotechnique. Ce volet socio-économique transversal est ainsi destiné à accompagner et partager la construction des pratiques agroécologiquement innovantes. Il s'attachera à produire les analyses suivantes (Vidogbéna *et al.* 2015a ; 2015b ; 2015c ; 2016):

- (i) **Une analyse des problèmes, des préoccupations, des motivations et des attentes des bénéficiaires potentiels.** Une identification des problèmes à résoudre puis leur

- reformulation, et leur recontextualisation dans une démarche collective (environnement sociotechnique, chaînes de valeur, territoire).
- (ii) **L'analyse des pratiques agricoles et des systèmes sociotechniques.** Par le biais d'enquêtes ou d'ateliers, on cherchera à mieux comprendre les règles de décision des agriculteurs, et à identifier les freins et leviers aux changements techniques jugés souhaitables. Pour cela, on caractérisera les différentes catégories de producteurs et d'acteurs susceptibles d'adopter et de diffuser l'innovation.
 - (iii) **La prise en compte des systèmes sociotechniques dans la conception des innovations agroécologiques.** La connaissance du système sociotechnique permettra, dans un second temps, de guider la démarche de conception, et de créer des conditions favorables pour la diffusion des innovations. Par exemple, l'idée initiale du chercheur pourra être couplée à d'autres nouveautés (innovations organisationnelles, logistiques, de transformation, ou de marketing), pour aboutir à un plus grand succès de diffusion des innovations.
 - (iv) **La validation des performances des innovations proposées.** Nous préciserons les performances économiques et sociales de l'innovation ou du paquet technique proposé. L'analyse de la performance économique est destinée à vérifier que l'innovation proposée présente un avantage relatif par rapport à d'autres alternatives disponibles. Les indicateurs particulièrement étudiés seront le travail, le rendement agricole espéré, les marges financières et les débouchés commerciaux. Les besoins en connaissances et en compétences des bénéficiaires seront identifiés. Les impacts sur l'environnement seront à estimer le cas échéant par des méthodes appropriées.
 - (v) **L'accompagnement des réseaux d'acteurs qui portent les innovations agroécologiques.** Un certain nombre de niches agroécologiques seront construites et accompagnées en partenariat avec des organisations de producteurs, des institutions de recherche, des organisations internationales et des ONG. Nous mobiliserons la « Gestion Stratégique des Niches (GSN) » (Kemp *et al.*, 1998; Schot & Geels, 2008), une méthode anglo-saxonne d'ingénierie des transitions. Cet accompagnement inclura par exemple des visites de réseaux de parcelles innovantes, des formations des producteurs via des journées techniques, une diffusion de fiches techniques ou d'autres supports de vulgarisation.
 - (vi) **Une analyse d'impact économique et social à court, moyen et long terme.** L'impact économique est destiné à vérifier que l'innovation contribue à l'amélioration des conditions de vie des bénéficiaires : au moins par une amélioration de leurs revenus (lutte contre la pauvreté) et de leurs marges de manœuvre (amélioration de leurs capacités). L'impact social est destiné à vérifier que les innovations sociales correspondent aux problèmes, aux préoccupations, aux motivations et aux attentes des bénéficiaires potentiels. Les éléments supplémentaires à prendre en considération pour les innovations proposées sont :
 - i. L'identification de ses avantages relatifs par rapport aux pratiques antérieures (approche coût-bénéfice, coût initial, facilité de mise en œuvre, etc.),
 - ii. La compatibilité avec les besoins et les contraintes des producteurs cibles,
 - iii. L'évaluation de la complexité du dispositif et son impact potentiel les processus de décision des bénéficiaires.

Références citées

- Babin R. (2018). Pest management in organic cacao. In Vincenzo Vacante and Serge Kreiter (Eds.), *Handbook of Pest Management in Organic Farming*, pp. 502-518, CAB International, UK.
- Banque Mondiale 2017. <http://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2017/02/09/world-bank-report-improving-conditions-for-people-and-businesses-in-africas-cities-is-key-to-growth>
- Baret P. V., Stassart P.M., Vanloqueren G., & Van Damme J. (2013). Dépasser les verrouillages de régimes sociotechniques des systèmes alimentaires pour construire une transition agroécologique. Congrès Interdisciplinaire du Développement Durable : Quelle transition pour nos sociétés ? Namur, Janvier 2013.
- Bommarco R., Kleijn D., & Potts S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in ecology & evolution*, 28(4) : 230-238.
- Bossuet J, Vadez V. (2013). S'appuyer sur les multiples bénéfices des légumineuses à graines pour une agriculture plus productive et nutritive dans les tropiques semi-arides. *Sécheresse*, 24 : 314-321.
- Brévault T., Soti V., Thiaw C. & Clouvel P. (2015) Maîtriser les paysages et les processus écologiques propres à cette échelle. In : Escadafal Richard (ed.), Masse Dominique (ed.), Chotte Jean-Luc (ed.), Scopel Eric (ed.). *L'ingénierie écologique pour une agriculture durable dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest*. Montpellier : CSFD, Agropolis International, p. 46-49. (Les dossiers thématiques : CSFD, 11).
- Chakraborty S. & Newton A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60(1): 2-14.
- Challinor A. J., Watson J., Lobell D. B., Howden S. M., Smith D. R., & Chhetri N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287-291
- Chaplin-Kramer R., O'Rourke M. E., Blitzer E. J. & Kremen C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology letters*, 14(9): 922-932.
- Darnhofer I., Sutherland L. A. & Pinto-Correia T. (2014). Conceptual insights derived from case studies on 'emerging transitions' in farming. In: Sutherland, L. A., Darnhofer, I., Wilson, G., & Zagata, L. (Eds). *Transition Pathways Towards Sustainability in Agriculture: Case Studies from Europe*. CABI.
- DeClerck F. (2016). Biodiversity central to food security. *Nature*, 531(7594): 305-305.
- Geels F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research policy*, 31(8) : 1257-1274.
- Griffon M. (2013). *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?*, éd. Quae, 2013.
- MAAH (2017). Rapport général résultats définitifs de la campagne agricole 2016-2017 et des perspectives de la situation alimentaire et nutritionnelle. MAAH. Ouagadougou, Burkina Faso, 95p
- Nwilene F. E., Nwanze K. F., & Youdeowei A. (2008). Impact of integrated pest management on food and horticultural crops in Africa. *references completes ?*
- Oerke E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(01): 31-43.
- Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J. & Habib R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1) : 273-303. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- Sakschewskia B., von Bloha W., Hubera V., Müllera C. & Bondeau A. (2014). Feeding 10 billion people under climate change: How large is the production gap of current agricultural systems? *Ecological Modelling*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.05.019>
- Soti V, Thiaw I, Debaly ZM, Sow A, Diaw M, Fofana S, Diakhate M, Thiaw C, Brévault T (2019) Effect of

landscape diversity and crop management on the control of the millet head miner, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae) by natural enemies. *Biological Control*, 129: 115-122.

Sow A., Brévault T., Delvare G., Haran J., Benoit L., Cœur d'Acier A., Galan M., Thiaw C., Soti V. & Sembène M. (2017) Contribution of high-throughput DNA sequencing for identifying crop pests and their natural enemies in agroecosystems: the case of the millet head miner *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control*, Suite ici ?

Van Ittersum M. K., Van Bussel L. G., Wolf J., Grassini P., Van Wart J., Guilpart N., ... & Yang H. (2016). Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(52): 14964-14969.

Veres A., Petit S., Conord C., & Lavigne C. (2013). Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, ecosystems & environment*, 166: 110-117.

Vidogbéna F., Adégbidi A., Assogba-Komlan F., Martin T., Ngouajio M., Simon S., Tossou R. & Parrot L. (2015a). Cost:Benefit analysis of insect net use in cabbage in real farming conditions among smallholder farmers in Benin. *Crop Protection*, 78: 164-171.

Vidogbéna F., Adégbidi A., Tossou R., Assogba-Komlan F., Martin T., Ngouajio M., Simon S., Parrot L. & Zander K. (2015b). Consumers' Willingness to Pay for Cabbage with Minimized Pesticide Residues in Southern Benin. *Environments*, 2 : 449.

Vidogbéna F., Adégbidi A., Tossou R., Assogba-Komlan F., Ngouajio M., Martin T., Simon S., Parrot L., Zander K.K. (2015c). Control of vegetable pests in Benin – Farmers' preferences for eco-friendly nets as an alternative to insecticides. *Journal of Environmental Management*, 147: 95-107.

Vidogbéna F., Adégbidi A., Tossou R., Assogba-Komlan F., Martin T., Ngouajio M., Simon S., Parrot L., Garnett S.T. & Zander K.K. (2016). Exploring factors that shape small-scale farmers' opinions on the adoption of eco-friendly nets for vegetable production. *Environ. Dev. Sustain.*, 18: 1749-1770.

Wheeler T. & von Braun J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145): 508-513.