

Les bio-intrants à base de micro-organismes : implémentation d'une trajectoire technologique d'autoproduction

Micro-organism-based bio-inputs: implementation of a technology pathway for self-production

Ludovic Temple^{1,2} Paula Fernandes^{3,4}

¹ CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France, ludovic.temple@cirad.fr

² Innovation, Cirad, Univ. Montpellier, Montpellier, France

³ HORTSYS, Cirad, Univ. Montpellier, Montpellier, France

⁴ CIRAD UPR HORTSYS, Ambassade de France à Cuba, La Havane, Cuba, paula.fernandes@cirad.fr

RÉSUMÉ. Cet article synthétise les contributions apportées par les travaux publiés dans le cadre de ce numéro thématique sur le développement des bio-intrants microbiens comme alternative aux intrants chimiques de synthèse dans l'agriculture. Face aux impacts environnementaux, sanitaires et géopolitiques du modèle agrochimique issu de la Révolution verte, il distingue deux trajectoires. La première trajectoire repose sur l'autoproduction décentralisée de bio-intrants par les agriculteurs, petites coopératives et entreprises à partir de ressources locales. Observée à Cuba, au Cameroun et au Cambodge, elle favorise l'autonomie, la souveraineté technologique, la réduction des coûts et l'intensification socio-écologique grâce aux savoirs locaux et aux dynamiques communautaires. La seconde trajectoire industrialise la production de bio-intrants dans des grandes entreprises. Elle est fondée sur la standardisation, les économies d'échelle et l'intégration aux chaînes de valeur mondiales. Cette trajectoire tend à verdir le modèle agro-industriel existant. Les bio-intrants dont les marchés sont en croissance rapide peuvent ainsi soutenir soit l'agro-industrie, soit une transition agroécologique plus autonome et territorialisée. L'article souligne les freins et les leviers à la systématisation de la trajectoire d'autoproduction : variabilité des résultats, contraintes réglementaires, besoins en travail et en infrastructures. Il interroge comment l'innovation bio-intrants interpelle les perspectives d'intensification reliées aux enjeux de sécurité alimentaire.

ABSTRACT. This article summarises the contributions made by the research published in this special issue on the development of microbial bio-inputs as an alternative to synthetic chemical inputs in agriculture. In light of the environmental, health and geopolitical impacts of the agrochemical model that emerged from the Green Revolution, it identifies two distinct pathways. The first is based on the decentralised self-production of bio-inputs by farmers, small cooperatives and enterprises using local resources. Observed in Cuba, Cameroon and Cambodia, this approach promotes autonomy, technological sovereignty, cost reduction and socio-ecological intensification through local knowledge and community dynamics. The second pathway involves the industrialisation of bio-inputs by large companies, based on standardisation, economies of scale and integration into global value chains. This approach aims to make the existing agro-industrial model more sustainable. Bio-inputs, for which markets are growing rapidly, can thus support either the agro-industry or a more autonomous and locally-based agroecological transition. The article highlights the barriers and drivers for the widespread adoption of the self-production pathway: variability in outcomes, regulatory constraints, and labour and infrastructure requirements. It examines how innovation in bio-inputs challenges prospects for intensification linked to food security issues.

MOTS-CLÉS. Autoproduction, Bio-intrants, Micro-organismes, Trajectoire technologique, Innovation, Agroécologie

KEYWORDS. Self-production, Bio-inputs, Micro-organismes, Technological trajectory, Innovation, Agroecology

Introduction

La concentration des firmes industrielles est au centre d'un pilotage chimique de l'intensification agricole mondiale depuis la seconde guerre mondiale [CLA 25]. Cette intensification, après de rapides succès en gains de rendements et en productivité est aujourd'hui controversée dans différents contextes. Un axe de controverse concerne les conséquences écologiques et sanitaires négatives : perte de biodiversité, dégradation des sols, changement climatique, pollution de l'environnement (eaux, sols, atmosphère) et des aliments qui affectent producteurs et consommateurs. Cela en relation avec des usages croissants d'intrants chimiques (engrais minéraux, herbicides, insecticides et fongicides) dans les systèmes agricoles et alimentaires. Un autre axe de controverse porte sur la dépendance de cette intensification à des ressources aux réserves limitées : phosphates, ou bien dont la production est liée aux énergies fossiles (gaz, pétrole) comme les nitrates. Ces ressources qui se raréfient sont concentrées dans quelques pays et sont contrôlées par un nombre réduit de firmes industrielles. Leur captation est source collatérale de tensions politiques voir militaires et d'instabilités d'accès qui ne font que s'accroître [DAV 24]. Ainsi pour les engrais de synthèse, la croissance du prix de l'énergie fossile dont ils dépendent, les ruptures d'approvisionnement densifient les incertitudes sur la sécurité alimentaire mondiale.

Cette double remise en cause est motrice d'une croissance d'investissements (publics, privés) dans la recherche de nouveaux intrants qui seraient plus écologiques et moins dépendants de ressources minérales ou énergétiques dont la gouvernance n'est plus sécurisée en termes de biens communs. Ces investissements dans les bio-intrants sont aussi reliés aux progrès de la science qui permettent de mieux exploiter les potentialités des micro-organismes et des métabolites associés. Ces micro-organismes de par la pluralité des fonctionnalités d'usages sectoriels sont au centre d'une innovation systémique [LAP 25]. L'implémentation de cette innovation sectorialisée par les usages agricole et alimentaire peut différencier deux catégories de bio-intrants. La première catégorie concerne les produits de lutte biologique au sens large, incluant les produits de biocontrôle et les biopesticides. Leur spécificité est de lutter contre les bioagresseurs ou de renforcer la protection des plantes et des animaux. La seconde catégorie concerne les biofertilisants et les biostimulants. Leur spécificité est de renforcer la nutrition et la santé globale des plantes, des animaux, des écosystèmes. Ils améliorent ainsi la résilience face aux stress externes : sécheresses, pollutions, dégradation des sols, bioagresseurs.

Ces bio-intrants peuvent être autoproduits par les agriculteurs et les petites entreprises à partir de ressources locales. Ils peuvent aussi faire l'objet d'une production industrielle comme les intrants de synthèse qu'ils pourraient remplacer ou compléter. Cette ambivalence de choix productif structure plusieurs trajectoires technologiques qui s'affirment à l'échelle mondiale. Elle questionne la capacité de la « promesse technologique micro-organisme » à diminuer le recours aux intrants de synthèse [GOU 24], [DAS 24].

La synthèse des travaux publiés dans ce numéro thématique propose deux axes d'analyse pour qualifier cette promesse. Le premier axe interroge en quoi les technologies associées aux usages de micro-organismes contribuent à une intensification « socio-écologique » de l'agriculture ou au contraire, solidifient l'intensification industrielle et chimique mondialisée existante. Le deuxième axe, faisant le choix d'une trajectoire d'autoproduction décentralisée de ces bio-intrants, interroge à partir des études de cas mobilisées, les verrous et leviers à son implémentation.

Encadré 1 – Les bio-intrants microbiens désignent des produits biologiques contenant des organismes vivants et leurs métabolites destinés à améliorer la fertilité des sols, la nutrition végétale ou la protection phytosanitaire. Ils peuvent être (i) monospécifiques ou issus d’assemblages contrôlés de souches sélectionnées et être laboratoire-dépendants ou bien (ii) plurispécifiques et issus de la multiplication par des procédés rustiques de consortiums autochtones. Selon leur composition et diversité, ils recouvrent un ou plusieurs de ces usages/services : biofertilisants ; biostimulants ; biopesticides ; activateurs de compostage ; inoculants. Les micro-organismes mobilisés appartiennent principalement à : des bactéries (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*) ; des champignons (*Trichoderma*, mycorhizes, *Beauveria bassiana*) ; des levures et consortiums microbiens complexes issus de fermentation (EM – Effective Microorganisms). Si certaines espèces sont identifiées pour être capables de fixer l’azote atmosphérique, d’autres peuvent solubiliser les éléments minéraux, ou encore produire des phytohormones, stimuler les défenses naturelles des plantes, dégrader la matière organique ou lutter biologiquement contre les bioagresseurs.

1. Deux trajectoires technologiques différenciées par leurs entrepreneuriats

1.1. La trajectoire d’autoproduction paysanne

La trajectoire d’autoproduction, renseignée par plusieurs articles se caractérise principalement par : un ancrage territorial communautaire, ou entrepreneurial une logique de souveraineté technologique et des résultats économiques favorables à des agriculteurs sur des modes de production d’agriculture familiale.

Ainsi concernant l’ancrage territorial et communautaire, à Cuba, 98 centres d’autoproduction artisanale en fonctionnement sont basés dans des exploitations paysannes, utilisant de la litière forestière locale pour cultiver des micro-organismes autochtones bénéfiques [PEN 26]. Au Cambodge, des coopératives agricoles comme Tram Kak produisent du bokashi à partir de ressources locales : déchets agricoles (son de riz), micro-organismes indigènes [SOR 26]. Au Cameroun, les biofertilisants à base de *Tithonia*, Neem ou compost enrichi sont fabriqués par les agriculteurs à partir de matériel végétal disponible localement [MIN 26], [MAO 26]. Cet ancrage territorial résulte d’un couplage entre la valorisation de ressources locales (micro-organismes, biomasse disponible) ; la mobilisation et le renforcement des savoirs autochtones sur leurs écosystèmes par des études scientifiques ; des circuits courts entre production et utilisation des bio-intrants à l’intérieur d’organisations coopératives ou communautaires.

Les situations explorées témoignent de résultats économiques favorables aux « petits » producteurs. Au Cameroun par exemple, des usages de bio-intrants peuvent générer des gains de revenus de plus de 40% dans les situations étudiées [MIN 26]. À Cuba l’autoproduction de micro-organismes efficaces coûte 3 à 4 fois moins cher que l’achat de leur équivalent produit à échelle industrielle [DUA 25].

Cet ancrage territorial s’affirme enfin comme un moyen de renforcer la souveraineté technologique. Ainsi, par exemple, à Cuba les bio-intrants s’affirment comme un moyen de faire face à la chute des approvisionnements extérieurs en intrants et « d’affranchissement »

de l'agriculture et la sécurité alimentaire de la dépendance aux intrants importés du marché international dont l'énergie carbonée [BEL 26].

1.2. Une trajectoire d'industrialisation par des firmes globalisées

Cette trajectoire repose sur une concentration capitalistique au sein de chaînes de valeur globalisées par de grandes entreprises, une standardisation des bio-intrants par des normes d'homologation et la recherche d'une complémentarité technologique entre ces bio-intrants et les intrants chimiques.

Ainsi, par exemple, en ce qui concerne les biopesticides, le marché mondial, évalué à 5 milliards USD en 2022, qui devrait atteindre 15 milliards en 2029, attirent les investissements des géants de l'industrie de l'agrofourniture [AZE 25]. Cela se constate notamment en Argentine où les multinationales de l'agrochimie (BASF, Bayer, Corteva, Syngenta) investissent et contrôlent près de 75% du marché national [LOC 26].

Ces entreprises globalisées ont besoin d'économies d'échelle pour rentabiliser leur investissement en capital et la rémunération boursière des actifs financiers. Elles ont pour stratégie de standardiser les produits pour globaliser des marchés mondiaux. Les procédures de certification par l'homologation des produits y sont un enjeu stratégique pour réguler au-delà de la qualité des produits, les termes de la concurrence entre entreprises, c'est-à-dire la construction d'un marché.

Ainsi, par exemple, en Argentine, l'abrogation en 2024-2025 des réglementations spécifiques aux bio-intrants a renforcé les avantages des firmes industrielles établies [LOC 26]. La mobilisation des procédures d'homologations établies par les firmes sur les intrants chimiques et appliquée aux bio-intrants impose des coûts de certification prohibitifs pour des petits producteurs ou entrepreneurs. A Cuba également, les normes publiques de certification établies s'adressent in fine, par la nature même de la documentation technique qu'elles requièrent à destination d'entreprises industrielles, nationales comme étrangères, de bio-intrants [MIN 21]. Elles excluent *de facto* la commercialisation des micro-organismes produits artisanalement qui ne peuvent accéder aux analyses et études requises pour fournir la documentation demandée.

1.3. Une controverse sur la promesse d'une alternative aux intrants de synthèse

1.3.1. Les bio-intrants complémentarité plutôt que substitution au modèle chimique ?

La croissance du marché mondial des bio-intrants positionne ces derniers comme compléments des intrants chimiques dans les stratégies de diversification des actifs des firmes de l'agrofourniture. Le marché du biocontrôle et des biostimulants en l'occurrence est l'objet d'un renouvellement important des investissements privés soutenus et accompagnés par les politiques publiques à différentes échelles territoriales, nationales ou régionales [GOU 24]. Ce verdissement industriel est qualifié depuis les années 2010 de chimie doublement verte [GAR 14]. En soit, il solidifie la rentabilité de capitaux dans des entreprises globalisées qui n'ont pas pour objectif stratégique de changer de paradigme technologique mais de le maintenir. Il s'agit en effet de préserver une logique productive qui renforce les structures extractives de la valeur économique qui rémunère la capital financier, dont la concentration d'appropriation est structurellement privée. En témoignent les relations entre la croissance d'usages de biopesticides et celles d'usage des herbicides dont le glyphosate. Ainsi en Argentine où 82% des terres sont cultivées en semis direct, la croissance d'usage des bio-

intrants est concomitante de celles des pesticides qui a été multiplié par 6,7 depuis 1990 [LOC 26]. Les biopesticides et biostimulants, en effet, contribuent à restaurer la fertilité et la rentabilité de terres épuisées par l'intensification chimique. Les entreprises qui concentrent les capitaux pour le contrôle de ces terres peuvent poursuivre leur investissement dans l'extension de surfaces mobilisant une agriculture de conservation qui augmente l'usage d'herbicides [MAL 19]. En l'occurrence le segment de marché des bio herbicides est quasi inexistant celui des herbicides représente 54% du marché mondial des pesticides. Cet exemple met en visibilité un quoi les bio-intrants peuvent être un levier de solidification du modèle productif intensif chimique existant et non de sa transformation. Le cas argentin consolide l'analyse dans les conséquences sur les politiques publiques nationales.

1.3.2. Une ambivalence du « verdissement » industriel tributaire de l'échelle et de l'efficacité

Les bio-intrants en soit ne sont pas intrinsèquement porteurs d'une transformation socio-écologique de l'agriculture. Les technologies qui les portent à base de micro-organismes sont un « terrain de confrontation et/ou d'hybridation » entre deux projets agricoles antagoniques plutôt qu'un vecteur univoque de transformation. L'argumentation en faveur d'une appropriation par les firmes multinationales agrochimiques repose principalement sur leur capacité d'investissement massif dans le financement de la recherche, des institutions et services d'accompagnement dont les procédures d'homologation. Il repose aussi sur la l'argument d'une sécurisation de la qualité sanitaire et biologique des produits obtenus et de procédés que peut apporter une standardisation face aux aléas de l'autoproduction artisanale. Bien que ces garanties ne se concrétisent pas nécessairement. Ainsi des travaux documentent que la qualité microbienne de plus de 60% des bio inoculants, bactéries fixatrices d'azote et mycorhizes commercialisés sur le marché mondial contenaient une voire plusieurs souches contaminantes et que seulement 37% de ces produits pouvaient être considérés comme purs et conformes à leur étiquetage. Près de 40% de ces produits ne contenaient aucune des souches prétendument commercialisées, remplacées par des espèces contaminantes [HER 15]. En ce qui concerne les bio inoculants mycorhiziens reproduits par des entreprises industrielles, ils se révèlent souvent beaucoup moins efficaces que ceux produits à partir de souches indigènes dans des dispositifs locaux [CHA 18].

La promesse « scientifique » selon laquelle le progrès technologique basé sur la science, la technologie industrielle permet de répondre aux défaillances environnementales et sociales qui accompagnent le mode de production capitaliste qui le soutient s'en retrouve fragilisée.

1.4. Un modèle d'autoproduction polycentrique de bio-intrants qui se structure

L'argumentation en faveur d'une appropriation décentralisée par les agriculteurs et leurs actions collectives locales (coopératives..) s'affirme comme un projet transformatif d'intensification socio-écologique de l'agriculture. Donc une gouvernance polycentrique du changement technologique s'appuyant sur des ancrages territoriaux. Elle se nourrit aussi par les résultats soulignés dans ce numéro qui mettent en visibilité la viabilité économique de situations d'autoproduction paysannes.

Ces résultats démontrent que les bio-intrants peuvent être efficaces à l'échelle de l'exploitation agricole ou de situations locales tant sur le plan de la rentabilité économique qui bénéficie à l'agriculteur, que sur les réductions d'usages d'intrants de synthèse. Cependant la massification de ces bons résultats localisés ou leur « systématisation » pour une transformation agroécologique intégrée du secteur agricole et alimentaire reste à renseigner.

Parmi les modèles émergents, l'autoproduction paysanne occupe une place particulière. Elle repose sur la fabrication locale de biofertilisants, biostimulants ou biopesticides à partir de biomasses disponibles sur les exploitations ou dans les territoires ruraux : résidus végétaux forestiers ou plantes cultivées, fumiers, plantes invasives, déchets organiques, micro-organismes indigènes, etc. Ce modèle s'inscrit dans une logique d'autonomie productive par la relocalisation de la production d'intrants, et de réduction de la dépendance aux marchés agrochimiques globalisés. Cette autoproduction recouvre plusieurs réalités empiriques. Dans les agricultures vivrières et les systèmes agro-forestiers faiblement utilisateurs d'intrants de synthèse [PUM 15], [MBI 25], elle se réalise de manière diffuse par économies de gamme entre cultures et entre cultures et élevage (dans le temps et l'espace). Elle est ainsi le pivot d'une gestion intégrée de la fertilité explicative et d'une agroécologie « naturelle » [BAY 19].

Cette autoproduction répond à plusieurs objectifs agronomiques, économiques qui sont différenciés selon les contextes géographiques ou les acteurs. Sur le plan économique, des objectifs de réduction des coûts de production pour des agriculteurs dans des situations de précarités ne pouvant acquérir des intrants sur les marchés [MIN 26] et/ou bien des objectifs de résilience productive par rapport à la rupture d'approvisionnement en intrants importés [PEN 26]. Sur le plan agronomique, des objectifs d'accroissement des rendements, de restauration des sols (qui ont parfois été épuisés par des décennies d'agriculture intensive chimique ou bien des sols atrophies par l'urbanisation ou aussi dans certains cas, les pollutions industrielles), et de facilité d'utilisation (un bio produit pour plusieurs usages). Sur le plan « psychologique » ou « idéologique » soutenu par la volonté de produire sainement, (i) pour soi-même, en réduisant son exposition aux pesticides (soit après en avoir directement subi les effets soit pour en avoir été témoin), (ii) pour sa communauté, en leur fournissant des aliments sains (famille, marchés de proximité vs anonymisation liée aux chaînes de commercialisation longues) (iii) pour son environnement proche (désir de protéger ou restaurer son environnement, souhait de transmettre une ferme/des terres saines), tout cela résultant d'une prise de conscience des impacts de l'agriculture intensive.

En lien avec l'exploitation des fonctions des micro-organismes pour auto-produire des bio-intrants qui remplaceraient les intrants de synthèse, les dynamiques d'adoption demeurent inégales selon les expériences observées dans ce numéro respectivement en Afrique, en Amérique latine, dans les Caraïbes et en Asie. Nous explorons les principaux freins et leviers conditionnant l'accroissement de l'adoption de ces technologies.

2. Les facteurs limitants de l'implémentation de l'autoproduction de bio-intrants

2.1. Les contraintes techniques et scientifiques

2.1.1. Variabilité des performances agronomiques

Un frein central à l'adoption de l'autoproduction demeure la perception d'une efficacité « insuffisante » ou « instable » des bio-intrants microbiens par rapport à des intrants chimiques conventionnels considérés comme stables. Ainsi pour la catégorie des biopesticides contrairement aux pesticides chimiques, dont les effets sont généralement rapides et standardisés, les bio-intrants ont des effets plus progressifs dont l'efficacité est plus dépendante de la variabilité des conditions environnementales, qu'elles soient climatiques ou des caractéristiques des écosystèmes. Ainsi au Cambodge [SOR 26] les agriculteurs interrogés expriment des doutes sur la capacité des biopesticides à remplacer totalement les intrants chimiques et ils recherchent plutôt des complémentarités d'usages.

Cette variabilité des performances des bio-intrants microbiens peut s'expliquer par l'instabilité de la composition microbiologique ou de souches mobilisées dans les bio-intrants utilisés. Instabilité en elle-même générée par les difficultés pour les producteurs à maîtriser les conditions de fermentation qui, dans certains cas, se retrouvent mal contrôlées, ou manquent de rigueur dans le procédé d'élaboration des préparations. Ou enfin et surtout ne pas bien maîtriser les dosages en fonction des conditions d'usages sur des nouveaux produits pour lesquels les réglages de ces dosages ne sont pas tous établis de manière optimale [PEN 26].

2.1.2. Difficultés de standardisation

L'autoproduction paysanne se caractérise en relation avec l'hétérogénéité des exploitations (structures de production) des conditions socio-économiques (accès à des services externes, réseaux, formation..) par une grande diversité de formulations et de procédés. Un élément structurant de cette hétérogénéité est déterminé par la nature de la matière première (litière forestière, fumier, plantes fraîches comme *Tithonia*, neem, piment, sucre de palme brut, mélasse de canne, petit lait, résidus végétaux type sons, pailles, savon,...) utilisée dont la qualité, la quantité, disponibilité au bon moment varie selon les saisons, les territoires ou les disponibilités en travail permettant de les collecter et les stocker. Cette hétérogénéité rend difficile l'évaluation scientifique des performances. Elle est une contrainte pour définir les conditions de reproduction de bons résultats qui sont obtenus ou à l'inverse pour expliciter les causes de mauvais résultats, de fait, cette hétérogénéité est une difficulté pour systématiser l'adoption à grande échelle en garantissant la reproductibilité des résultats. Elle rend difficile l'établissement de normes standardisées qui établissent des normes techniques. De plus, les systèmes de contrôle qualité (ex détection de pathogènes alimentaires tels *E coli*, salmonelles, ...) restent absents ou très basiques (odeur, pH, ...) dans les contextes ruraux.

2.1.3. Faibles infrastructures scientifiques

Dans de nombreux pays africains ou asiatiques, les infrastructures scientifiques locales sont incomplètes pour accompagner les expérimentations paysannes et pouvoir certifier les conditions de leur reproductibilité. Quatre incomplétudes impliquant des investissements sont repérées dans les travaux conduits. La première, la plus importante, concerne des équipements et laboratoires permettant des analyses par des outils métagénomiques et métabolomiques. La deuxième renvoie aux compétences techniques nécessaires. La troisième à la disponibilité de ressources pour conduire des recherches appliquées d'accompagnement décentralisées. La quatrième renvoie aux connaissances parfois très fragmentaires voire inexistantes sur ces microorganismes issus du milieu naturel dont les caractéristiques (notamment sur les sols) mais aussi leurs propriétés et services écosystémiques restent méconnus.

Ces incomplétudes ont plusieurs conséquences sur les processus d'innovation en cours dans les contextes institutionnels étudiés respectivement au Cambodge, Cote d'Ivoire, Cameroun, Cuba. Elles rendent d'abord difficile l'identification précise de souches locales performantes. Or ces souches existent et sont mises en usage par certains agriculteurs. Le risque étant alors que leur repérage soit fait par des opérateurs industriels qui s'en accaparent l'exploitation par le système des brevets au mépris du protocole de Nagoya. Ensuite les incomplétudes mentionnées sont des verrous à la capacité des chercheurs mais surtout techniciens, intermédiaires de l'innovation à adapter les formulations d'usages aux contextes agroécologiques spécifiques. Cette adéquation est un vecteur central de leur efficacité en

comparaison avec des produits de synthèse. Enfin ces incomplétudes rendent difficile la validation scientifique de manière transversale des pratiques paysannes d'autoproduction.

2.2. Les contraintes économiques

2.2.1. Intensité en travail

Les résultats d'évaluation des coûts de bio-stimulants et biofertilisants réalisés sur des situations expérimentales respectivement au Cameroun, Cambodge, Cuba, Côte d'Ivoire sur des bio-intrants différents (Bokashi, Tithonia) convergent pour constater des coûts de production inférieurs à ceux d'intrants « comparables » comme les engrais biologiques vendus sur les marchés qui sont dans la plupart du temps importés du marché international. Ces résultats convergent aussi pour identifier un facteur de blocage dans la disponibilité du temps de travaux nécessaires dans les exploitations en autoproduction. Cette contradiction interroge le paramétrage que l'on donne au temps de travail familial (quantité, valorisation) dans les calculs de coûts de production. Ce paramétrage est rendu difficile par l'hétérogénéité des structures des exploitations dont leur équipement en capital qui impacte sur la productivité du travail sa pénibilité dans les activités de collecte, de transport de la biomasse sur des lieux de transformation en bioproduit. Ensuite dans les travaux de préparation et de surveillance du procédé (fermentation, stockage) qui exigent de la rigueur (pour éviter les contaminations lors de la préparation). Ces temps de travaux additionnels peuvent devenir incompatibles avec les contraintes de main-d'œuvre des petites exploitations pluriactives qui rendent prioritaires des activités génératrices de liquidités monétaires immédiates. Cela peut expliquer des préférences pour (i) des intrants de synthèse qui économisent du temps (herbicides notamment), ou (ii) des achats de proximité auprès de structures qui vendent ces bio-intrants.

2.2.2. Incertitude économique

Un verrouillage à l'utilisation de bio-intrants (autoproduits ou achetés sur les marchés) par les agriculteurs est la capacité économique à supporter les coûts de la transition lorsque l'autoproduction remplace l'usage d'intrants de synthèse accessibles sur les marchés. En effet, compte tenu des apprentissages plus complexes sur les conditions de leur usage par rapport aux intrants de synthèse, les résultats en termes de rendement peuvent être incertains et conduire à des échecs d'apprentissages, donc des baisses du rendement (notamment en cas de surdosage). Par ailleurs, le différentiel de performance entre des bio-intrants et des intrants de synthèse peut impliquer, notamment sur les sols, des périodes d'observations plus longues que la temporalité d'une ou deux saisons retenues dans de nombreux projets. Le différentiel de performance de certains bio-intrants sur les plantes peut lui être plus rapide et observable dès le premier cycle [ZIN 25].

Cette période de transition pour certains agriculteurs en situation de précarité est peu acceptable sur les plans économique et social. De nombreux petits producteurs disposent de faibles marges financières, d'accès limité aux crédits et d'une forte aversion au risque. Cette situation favorise les choix d'intrants chimiques perçus comme plus sécurisants. Il est ainsi parfois plus facile de promouvoir les usages des bio-intrants dans des exploitations qui n'utilisaient pas auparavant des intrants de synthèse... donc non plus comme un vecteur de transformation de l'agriculture chimique mais un processus d'intensification d'une agriculture non chimique.

2.2.3. Faible structuration des marchés

Si le marché des bio-intrants est en pleine croissance au niveau des produits standardisés vendus par l'agrofourniture [AZE 25], il reste émergent dans de nombreux pays pour les bio-intrants issus de la valorisation de ressources et d'expérimentations locales. Cette faible structuration est en relation avec les difficultés d'adapter les certifications à ces contextes mais aussi la difficulté de vendre à des prix plus élevés des produits agricoles et alimentaires qui ont pour critère de qualité d'être produits de manière biologique, c'est-à-dire sans intrants de synthèse.

2.3. Les contraintes institutionnelles et politiques

2.3.1. Inadaptation réglementaire

Les cadres réglementaires qui régissent l'émergence des bio-intrants sont historiquement construits par l'application des cadres élaborés sur les intrants industriels standardisés par l'industrie agro-chimique, c'est à dire les firmes industrielles qui produisent et vendent ces intrants de synthèse existants [JAS 14]. La conséquence est que les bio-intrants autoproduits se trouvent dans une « zone grise juridique ».

Dans les contextes étudiés, ils ne font pas l'objet de reconnaissance officielle spécifique en dehors des dispositions prises par le décret-loi de l'agroécologie à Cuba qui constitue une innovation institutionnelle sur le sujet. L'observation des conditions d'application de certains éléments de ce décret seront « pionniers » pour les autres pays du sud et devront être accompagnés et observés avec cette optique.

A un second niveau, les cadres institutionnels réglementaires existants n'étant pas adaptés aux spécificités des bio-intrants, les normes de vérification le sont également peu. Les procédures d'homologation sont inadaptées dans leur contenu. Par exemple, dans le cas cubain [PEN 26], [DUA 25], si la réglementation permet à toute structure ou individu (dont producteur) de déposer une demande de certification de son bioproduit, le dossier technique à fournir en appui à la demande reste complet et complexe à construire. Dans le cas d'un biofertilisant ou biostimulant, le requérant doit fournir, entre autres, (i) la composition et la concentration microbiennes, la composition chimique en macro-, méso-, et micronutriments, en éléments traces métalliques, en acides, mais également fournir (ii) des études de stabilité et de viabilité du bioproduit, (iii) présenter le type d'analyses réalisées pour garantir la qualité du bioproduit, mais aussi fournir (iv) des recommandations d'applications et d'usages du bioproduit sur la base d'un dossier d'expérimentations. Si des établissements de recherche ou des structures industrielles ont les capacités et ressources de construire cette documentation, à l'inverse, les structures artisanales sont *de facto* exclues du processus sauf à recevoir un appui des précédentes. Dans tous les cas d'étude de ce numéro, la dualité entre filière industrielle et filière artisanale est avérée, or les réglementations sont *in fine* construites pour la filière industrielle en dupliquant les réglementations relatives aux intrants chimiques. La production artisanale reste ainsi confinée à l'autoproduction ou à des échanges informels, faute de normes adaptées à la variabilité inhérente aux procédés décentralisés. La seule innovation formelle en faveur de la trajectoire artisanale est le Système de Garantie Participatif (SPG) introduit par le récent décret cubain sur l'agroécologie (2025) mais dont la mise en œuvre reste à consolider. Les cadres réglementaires existants sont un verrou à la généralisation des bio-intrants artisanaux, freinant ainsi la transition agroécologique.

Il s'ensuit que les dispositifs de certification (homologation des produits) ne sont pas applicables au contexte de l'autoproduction du global sud étudiés, ou bien deviennent des contraintes qui risquent de bloquer les processus d'innovation. Ces dispositifs ayant été souvent mis au point dans les pays industriels en lien avec les conditions de validation des intrants de synthèse. Le principe de précaution nécessaire pour contrôler les risques au niveau de l'industrialisation marchande des procédés, deviendrait ici un facteur limitant de l'innovation endogène, elle nécessaire pour renforcer les performances de l'autoproduction.

L'absence d'une réglementation adaptée au contexte d'accompagnement de l'autoproduction décourage les investissements de petits producteurs dans les infrastructures (plateforme abritée, cuves, plomberie, matériel de contrôle) qui sont nécessaires à la bonne qualité et qui permettent de passer d'une autoproduction à l'échelle de l'exploitation, à une autoproduction collective à l'échelle de groupements de producteurs ou de petites coopératives. Or, ce changement d'échelle est un levier de l'implémentation d'adoption et de structuration de filières locales. En effet, il permet de mutualiser les risques et les investissements et répond à un certain nombre de contraintes d'adoption au niveau d'exploitation dont principalement celles de la disponibilité en travail.

2.3.2. Orientation productiviste des politiques agricoles

Dans de nombreux pays, les politiques agricoles structurées par les programmes nationaux ou les structures régionales et les instruments de leur opérationnalisation (subventions..) restent polarisés par des objectifs quantitatifs d'augmentation rapide des rendements, la production et l'intensification chimique conventionnelle associée à la modernisation. Ces objectifs se concrétisent par des dispositifs de subventions publiques sur les pesticides de synthèse [TEM 25], les engrais minéraux, les pesticides, les semences hybrides, en général enrobées chimiquement. A l'inverse les bio-intrants à partir de ressources locales peu reconnus par les dispositifs de certification officielle disposent de peu de soutien financier et d'encadrement technique, encore moins d'incitations fiscales ou de programmes nationaux publics de diffusion. Ces bio-intrants sont parfois soutenus de manière expérimentale par des projets ponctuels dans le cadre de programmes de coopérations avec les pays industriels en liens avec des ONG ou des coopératives.

2.3.3. Faiblesse de la vulgarisation et complexité des apprentissages un double verrou

Les services de conseil agricole dans les pays concernés par ce numéro thématique sont mis en œuvre par différentes configurations d'acteurs selon les contextes géographiques. En Afrique et en Asie, ils restent polarisés par les services publics qui interviennent par des services ministériels ou des services relayés par des sociétés de développement Etats ou les organisations de la société civile [KEN 25]. La formation initiale de ces conseillers est ancrée dans les dispositifs académiques largement engagés dans le soutien à l'intensification en intrants de synthèse, bien que depuis une dizaine d'années émergent des formations spécialisées dans des masters sur l'agroécologie. L'expérimentation, l'accompagnement des producteurs pour la production de bio-intrants référencés par les études de cas identifient des besoins de nouvelles compétences qui sont des facteurs limitants sur la microbiologie des sols, la fermentation, les conditions d'application de nouveaux intrants (doses, fréquences...) et la gestion biologique des cultures.

Ces nouvelles compétences professionnelles au niveau des techniciens des agriculteurs sont fiables à la plus grande complexité des apprentissages d'usages qu'impliquent les bio-intrants par rapport aux intrants de synthèse. En effet les bio-intrants microbiens nécessitent

de bien comprendre les processus biologiques pour contrôler la qualité des procédés de fabrication. Au niveau des biofertilisants, ils impliquent, au niveau des usages, des connaissances plus précises sur la gestion des apports de matières organiques au sol, et des capacités d'expérimentation par les agriculteurs afin de faire les bons choix dans l'adaptation d'une composition et procédures d'usage à des écosystèmes. Le processus d'innovation requiert plus d'apprentissages continus que pour l'utilisation d'un produit standardisé. Les disponibilités en temps de formation des usagers sont ici sollicitées. Cette dimension cognitive rend la diffusion plus lente, mais aussi plus dépendante des dynamiques collectives d'apprentissage et donc de leur structuration.

3. Les leviers favorisant l'adoption de bio-intrants basés sur les micro-organismes

3.1. Les dynamiques d'actions collectives et coopératives

Les facteurs limitants à l'autoproduction de bio-intrants focalisés par la maîtrise de compétences spécifiques nouvelles, mais aussi des investissements permettant de diminuer la quantité de travail dans le procédé d'élaboration focalisent la recherche de leviers dans les actions collectives qui mutualisent des ressources et diminuent leur coût d'acquisition individuel. Ceci renvoie à trois dimensions de structuration de ces actions.

De petites coopératives qui se saisissent d'opportunités financières portées par les ONG, la coopération internationale [SOR 26] peuvent prendre des risques sur des investissements dans la mutualisation d'équipements : véhicule pour transporter la biomasse, local de conservation..., mais aussi pour la mise en place de dispositif de contrôle et certification de la qualité. Ainsi des groupements de producteurs collectifs [PEN 26] investissent en commun sur la production d'un bio-intrant au regard de leur complémentarité dans les conditions de production et d'usage de ce dernier. Ces actions collectives sont un levier central de l'implémentation économique de bio-intrants. Les coopératives ayant souvent aussi pour fonction d'approvisionner leurs adhérents en intrants conventionnels à bas prix, elles ont les ressources pour conduire l'analyse économique comparative d'efficacité. Les différentes situations étudiées montrent que ces actions collectives sont pour la plupart reliées à des investissements de structures de recherche ou d'ONG qui les accompagnent. Les biofabriques communautaires sont donc un levier central potentiel dont les conditions de réalisation sont à confirmer par d'autres travaux.

3.2. Les marchés de réalisation des produits agroécologiques

Une externalité positive des bio-intrants est l'obtention de produits agricoles et alimentaires finaux plus sains pour l'environnement, mais aussi pour l'homme par l'élimination d'un certain nombre de substances actives nocives. La transition, les investissements nouveaux nécessaires introduisent des différentiels de coûts que des petites structures (exploitation ou coopératives) peuvent difficilement assumer. La réalisation d'une valeur ajoutée plus élevée pour les produits vendus du fait d'une qualité sanitaire (environnementale, santé humaine) est donc un levier.

Ce levier est activé pour les produits certifiés biologiques. En ce qui concerne les produits agroécologiques, la structuration des marchés permettant de vendre plus cher des produits sans résidus chimiques reste peu explicitée par des dispositifs de certification existants dans les études de cas repertoriées. Lorsque les prix de marché ne reconnaissent pas ces produits agroécologiques par une revalorisation du prix d'achat, dans certaines situations, la qualité

intrinsèque de ces produits et notamment leur durée de conservation post récolte étendue (ex de produits maraichers périssables) est reconnue par les acheteurs ce qui permet un écoulement préférentiel de ces produits, comparativement aux produits résultants de systèmes conventionnels intensifs en concurrence desquels ils sont placés.

3.3. Une recherche participative d'accompagnement de co-innovation

Une autre dimension spécifique de l'autoproduction qui verrouille l'élargissement de son adoption par des agriculteurs et petites coopératives, repose sur la capacité à adapter les formulations de produits, les conserver, les stabiliser dans le temps et à régler les conditions de leur utilisation (dosage...). Ces différents paramètres atténuent la reproductibilité des performances de ces bio-intrants et donc le renforcement de la confiance des producteurs dans leurs usages. En l'occurrence, les pesticides de synthèse que certains bio-intrants proposent de remplacer sont, pour les agriculteurs, plus des assurances que des facteurs du rendement. La compétition ne se fait pas uniquement sur leur coût mais sur leur efficacité comparée en termes d'assurance. Il faut donc que le degré d'assurance technique ou institutionnelle (banque) et de sécurité qu'apportent des produits de biocontrôle soit le plus comparable possible.

De fait l'adaptation localisée des réglages nécessaires implique plus de pratiques de recherches participatives pour fiabiliser l'hybridation des savoirs scientifiques et non scientifiques sur la connaissance des écosystèmes, la validation collective des cahiers des charges techniques d'usages (qui sont spécifiques à chaque écosystème cultivé), et les processus sociaux qui permettent d'assurer les risques en cas d'échec assurantiel.

3.4. Les politiques publiques et la transition agroécologique

Les politiques publiques actuelles restent structurées par l'inertie de leur appui au secteur industriel de l'agro-chimie et de l'agriculture conventionnelle. Ces appuis sont renouvelés depuis une dizaine d'années par le soutien apporté aux investissements dans le secteur technologique institué par le terme de biocontrôle [AUL 17]. L'implémentation de ces nouveaux artefacts techniques par les entreprises reste contextualisée à quelques produits ou contextes géographiques. Il ne réalise par un réel changement de pratiques de réduction d'usage des pesticides chimiques mais plutôt une forme de « verdissement », à la marge du modèle industriel [TAN 23]. Certains travaux soulignent ainsi que concevoir les alternatives aux pesticides par des bio-intrants de substitution (biocontrôle...) dans les politiques publiques est un leurre s'il ne questionne pas les verrouillages systémiques dans le changement plus global de système agricole et alimentaire [TEM 26]. Le développement de l'autoproduction à la ferme ou par de petites coopératives entreprises est en soit un levier possible d'une systématisation différenciée. Il interroge comment mieux mobiliser la proximité [ANG 09] comme ressource centrale de performances productive et économique « opposables » aux économies d'échelle industrielles. Au regard des situations explorées, quatre axes d'innovations institutionnelles sont susceptibles de favoriser cette systématisation.

3.4.1. Un financement de l'innovation adapté aux petits producteurs.

Le cas du Cameroun référence [MIN 26] que l'accès à des crédits campagne et investissement adaptés est une condition nécessaire à l'adoption des innovations qui représentent des risques en relation avec leur conditions d'émergence. En l'occurrence, les firmes agro-chimiques mondiales ont, elles, accès à de nombreux financements bancaires voire des exemptions fiscales, par des crédits d'impôts. Les modèles de financement

classiques, conçus pour l'agriculture industrielle, excluent *de facto* les petits producteurs. Ce qui questionne le financement des prises de risques au niveau de petits agriculteurs pour rétablir une forme d'équité du paramétrage économique des conditions d'adoption de ces technologies.

3.4.2. La conception de normes de certification d'autoproduction plurielle et décentralisée

La reconnaissance dans la loi sur l'agriculture agroécologique à Cuba de Système de Garantie Participative (SGP) comme pratique de certification des bio-intrants [PEN 26] est en soit une innovation institutionnelle majeure. Cette première reconnaît en effet la légitimité de la production décentralisée et non standardisée, rompant avec le monopole des normes industrielles. L'opérationnalisation de cette loi par des situations empiriques concrètes et l'implémentation de ces situations constitue un futur à renseigner. Inversement, l'abrogation des réglementations spécifiques en Argentine [LOC 26] illustre comment le cadre institutionnel des politiques publiques peut être capturé par les intérêts de l'agro-industrie établie qui l'utilise pour bloquer l'émergence de trajectoires d'autoproduction.

3.4.3. Des politiques agricoles de soutien à une polyculture intégrée de l'agriculture.

Les études de cas montrent que l'efficacité des bio-intrants dans l'amélioration du revenus des agriculteurs et la réduction d'intrants de synthèse est effective lorsqu'ils s'inscrivent dans des systèmes de production diversifiés, au sein d'exploitations ou d'actions collectives territorialisées. Comme par exemple les associations de cultures avec légumineuses : améliorent la fertilité des sols, les systèmes agroforestiers sur le cacao camerounais qui sont défavorables aux pathogènes [MAO 26], [MBI 25], l'intégration agriculture-élevage qui permet la valorisation des déchets organiques [DUA 25]. En revanche leur utilisation dans des monocultures industrielles sur le soja transgénique en Argentine ne modifie pas fondamentalement la logique d'extraction de la valeur du travail par paysan par des firmes globalisées et se traduit par des augmentations d'usages d'herbicides [LOC 26]. En soit, elle contribue dans ce cas de figure à solidifier les modes de production qui s'opposent à une transformation agroécologique de systèmes agricoles et alimentaires. Cela questionne le rééquilibrage nécessaire des politiques agricoles et alimentaires dans les pays considérés. Ces politiques restent, en effet, comme dans d'autres contextes géographiques des pays du global sud [GIR 26] très favorables aux grandes exploitations en monoculture ...

Conclusion

Les bio-intrants microbiens contribuent à une meilleure valorisation des ressources biologiques et organiques, dans une logique d'économie circulaire. Ils peuvent réduire la dépendance de l'agriculture aux intrants de synthèse, notamment en complément ou en substitution partielle des engrais azotés, grâce aux inoculums de bactéries fixatrices d'azote, et des engrais phosphatés, grâce aux microorganismes solubilisateurs du phosphore. Ils peuvent également accroître significativement la minéralisation et la disponibilité des nutriments issus des engrais et amendements organiques associés aux pratiques agroécologiques. Plus largement, leur utilisation peut enfin renforcer l'efficacité agronomique des engrais de synthèse et, par conséquent, réduire les quantités nécessaires à l'obtention d'un même niveau de production agricole.

La généralisation de ces technologies invite ainsi à actualiser les coefficients techniques qui établissent les relations entre les quantités d'engrais minéraux utilisées, les rendements agricoles et les besoins futurs d'intrants. Cette réévaluation est particulièrement importante

pour les perspectives reliant sécurité alimentaire mondiale et accroissement des usages d'intrants de synthèse. L'intégration systématique des bio-intrants microbiens pourrait en effet conduire à reconsidérer certains des scénarios fondés sur l'hypothèse d'une augmentation continue des consommations d'engrais chimiques.

Cette évolution peut s'inscrire dans une trajectoire technologique fondée sur la décentralisation polycentrique de la production des intrants, plutôt que sur leur concentration industrielle entre les mains d'un nombre limité de pays et d'entreprises contrôlant les ressources énergétiques et les chaînes d'approvisionnement mondiales. Une telle trajectoire contribuerait à réduire la vulnérabilité des agricultures aux fluctuations des prix des engrais et de l'énergie fossile, tout en renforçant leur souveraineté technologique et alimentaire. Elle ouvre ainsi la possibilité de repenser non seulement la nature des intrants mobilisés, mais également les modes de production, de distribution et d'appropriation des technologies agricoles.

L'adoption des bio-intrants microbiens fondée sur leur autoproduction à l'échelle paysanne constitue un processus systémique. Les principaux obstacles à leur dissémination résident dans la variabilité de leurs performances agronomiques, le déficit d'infrastructures scientifiques et techniques dédiées, le verrouillage institutionnel du modèle agrochimique (par les normes, les dispositifs de subvention et les politiques d'innovation), la faible structuration des marchés, ainsi que les difficultés d'apprentissage collectif et de circulation des savoirs. Les expériences les plus prometteuses montrent, au contraire, que l'implantation durable de ces technologies repose sur des dynamiques collectives associant coopératives, réseaux agroécologiques, petites entreprises, dispositifs de co-construction des connaissances, marchés différenciés et politiques publiques de soutien.

Les bio-intrants microbiens constituent ainsi un objet sociotechnique ambivalent. Leur développement peut, d'une part, contribuer à consolider les formes actuelles d'intensification industrielle en offrant un « verdissement » partiel des systèmes agrochimiques, sans remettre en cause les structures de dépendance économique et technologique qui les sous-tendent. Il peut, d'autre part, soutenir une intensification socio-écologique, lorsque ces technologies sont produites et diffusées de manière décentralisée et qu'elles bénéficient de cadres institutionnels adaptés à leurs spécificités. Dans cette seconde perspective, les bio-intrants ne doivent plus être considérés comme de simples « substituts » aux intrants chimiques, mais comme des leviers de transformation agro-écologique des systèmes agricoles et alimentaires.

Cette perspective implique une reconfiguration de l'action publique. Son émergence dépend en effet des rapports de force entre plusieurs catégories d'acteurs : les entreprises de l'agro-industrie mondialisée, qui diversifient leurs portefeuilles technologiques afin de préserver les modèles d'intensification existants ; les mouvements paysans et les organisations de la société civile, qui mobilisent l'agroécologie comme projet de transformation sociale ; les États, dont les politiques oscillent entre le soutien à l'agro-industrie et la reconnaissance des agricultures paysannes ; enfin, les institutions de recherche, dont les investissements contribuent à documenter et légitimer les processus d'innovation.

Dès lors, la controverse autour des bio-intrants microbiens n'est pas seulement technique : elle est également politique, économique et sociale. Elle porte sur la capacité des acteurs de l'agroécologie à construire et à légitimer des cadres réglementaires, des politiques publiques et des modèles économiques susceptibles de préserver le potentiel transformateur de ces technologies face aux logiques d'appropriation et de concentration industrielles.

Les expériences documentées dans ce numéro témoignent de la faisabilité de trajectoires alternatives et de leur potentiel de transformation. Elles demeurent néanmoins fragiles face à la puissance économique des acteurs de l'agrochimie mondialisée et dans un contexte marqué par la dérégulation et l'instabilité des politiques publiques internationales. L'enjeu n'est donc plus seulement de démontrer l'efficacité agronomique des bio-intrants microbiens, mais de créer les conditions institutionnelles, économiques, scientifiques et collectives permettant leur déploiement à une échelle suffisante, sans que leur dissémination ne conduise à reproduire les formes de dépendance que ces technologies peuvent précisément contribuer à dépasser.

Remerciements

Ce numéro thématique a été soutenu par l'Ambassade de France à Cuba, dans le cadre du projet FEF « SystemAgrOH ». Les auteurs tiennent à exprimer leur sincère gratitude à tous les participants (agriculteurs, représentants d'institutions, chercheurs issus de centres de recherche et d'universités, ainsi que conseillers techniques) pour leur participation active aux différents ateliers.

Nous remercions aussi chaleureusement les référés qui se sont mobilisés dans l'évaluation des articles : Bastien Soutjis, Clementine Alline Belloc, Frédéric Goulet, Genowefa Blundo Canto, Gerben Martijn Ten Hoopen, Laurent Parrot, Maria Amparo Gaona, Maria Valentina Locher, Paulo Cortes Salgado, Valérie Angeon,

Bibliographie

- [AUL 17] AULAGNIER P., GOULET F., « Des technologies controversées et de leurs alternatives. Le cas des pesticides agricoles en France », *Sociologie du travail*, vol. 59, n°3, 2017.
- [ANG 09] ANGEON V., CARON A., « Quel rôle joue la proximité dans l'émergence et la pérennité de modes de gestion durable des ressources naturelles ? », *Natures Sciences Sociétés*, vol. 17, n° 4, p. 361-372, 2009.
- [AZE 25] AZENZEM R., « Du chimique au biocontrôle en agriculture : panorama mondial et perspectives africaines », *Technologie et innovation*, ISSN 2399-8571, 2025.
- [BAY 19] BAYIHA G.D.L.P., TEMPLE L., MATHE S., NESME T., « Typologie et perspective d'évolution de l'agriculture biologique au Cameroun », *Cahiers Agricultures*, vol. 28, n°3, DOI : 10.1051/cagri/2019003, 2019.
- [BEL 26] BELMIN R., MARTIN G.M., TEMPLE L., FERNANDES P., « Embargo à Cuba : l'agroécologie pour éviter l'effondrement alimentaire », *The Conversation*, DOI : 10.64628/AAK.4xuagx66d, 2026.
- [CLA 25] CLAPP J., *Titans of Industrial Agriculture: How a Few Giant Corporations Came to Dominate the Farm Sector and Why It Matters*, MIT Press, ISBN 9780262551700, 2025.
- [CHA 18] CHAVE M., ANGEON V., PAUT R., TCHAMITCHIAN M., GOASDUFF M., HARTER A.C., SRER H. et al., « Du partage de connaissances à la coconception d'innovations agroécologiques : exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane », *Innovations Agronomiques*, vol. 64, p. 97-111, 2018.
- [DAS 24] DA SILVA MEDINA G., ROTONDO R., RODRIGUEZ G.R., « Innovations in Agricultural Bio-inputs: Commercial Products Developed in Argentina and Brazil », *Sustainability*, vol. 16, n° 7, 2763, 2024.
- [DAV 24] DAVIRON B., *Biomass, Capitalism, and Hegemony: A Rich and Powerful History*, Bloomsbury Academic, 424 p., 2024.
- [DUA 25] DUARTE PLA L., NOROÑA HERNANDEZ A., FONTES MARRERO D., DUARTE NARANJO L., MONTEJO SIERRA Y.L., FERNANDES P., TEMPLE L., MAZORRA CALERO C., « Innovation Process for the Introduction of Efficient Microorganisms in Pig Farming: Technical-Economic Analysis at the Scale of Private Sector in Cuba », *Technologie et Innovation*, ISSN 2399-8571, 2025.

- [GAR 14] GARNIER E., DEBREF R., « Les divergences au sein de la composante technico-scientifique du nouveau système sectoriel d'innovation de la chimie doublement verte », *Innovations*, vol. 43, n° 1, p. 39-59, 2014.
- [GIR 26] GIRAD P., MERCANDALLI S., BERRE D., ANDRIEU N. ET AL., « Starting Points of Agroecological Transitions in Africa: Why and How Farm Structure Matter », *Ecological Economics*, vol. 249, 109117, DOI : 10.1016/j.ecolecon.2026.109117, 2026.
- [GOU 24] GOULET F., POVEDA D.G., ODJO S., « Les biofabriques, nouveaux modèles de production et d'accès aux intrants agricoles en Amérique latine », *Perspectives*, n° 64, p. 1-4, 2024.
- [HER 15] HERMANN L., ATIENO M., BRAU L., LESUEUR D., « Microbial Quality of Commercial Inoculants to Increase BNF and Nutrient Use Efficiency », in De Bbruijn F.J. (éd.), *Biological Nitrogen Fixation*, vol. 2, John Wiley & Sons, p. 1031-1040, 2015.
- [JAS 14] JAS N., « Gouverner les substances chimiques dangereuses dans les espaces internationaux », in PESTRE D. (dir.), *Le gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, Paris, La Découverte, p. 31-63, 2014.
- [KEN 25] KENFACK U.P.E., MATHE S., SLINDERLAND M., DEGRANDE A., MASSO C., NGOME TATA P.I., LEEUWIS C., « The Hurdles of Service Delivery Integration in a Pluralistic Landscape: The Cameroonian Cocoa Sector », *The Journal of Agricultural Education and Extension*, DOI : 10.1080/1389224X.2025.2501955, 2025.
- [LAP 25] LAPERCHÉ B., UZUNIDIS D., « Innovation systémique et systèmes d'innovation : 30 ans d'Innovations », *Innovations*, 2025.
- [LOC 26] LOCHER V., PÉREZ D., TRUCCO I., « Bio-inputs in Argentina: Development, Institutionalization, and Changes in the Agricultural Input Industry », *Technologie et innovation*, ISSN 2399-8571, 2026.
- [MAL 19] MALONE M., FOSTER E., « A Mixed-Methods Approach to Determine How Conservation Management Programs and Techniques Have Affected Herbicide Use and Distribution in the Environment over Time », *Science of the Total Environment*, vol. 660, p. 145-157, 2019.
- [MAH 26] MAHOT C.H., NDJE MBILE J.G., MABAH TENE G.L., MADOU C., CHATUE G., MEMBANG G., MANGUELE FATOU G.S., TATA NGOME P.I., « Évaluation en milieu paysan de biopesticides pour la lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs dans les systèmes agroforestiers cacaoyers au Cameroun », *Technologie et innovation*, ISSN 2399-8571, 2026.
- [MBI 25] MBILE J.G.N., SAJ S., ENOCK S., MALA W.A., HARMAND J.M., « Cacao Stand Rehabilitation Practices Affect Long-Term Cocoa Production in Agroforestry Systems in Cameroon », *Agroforestry Systems*, vol. 99, n° 7, article 199, 2025.
- [MIN 21] MINISTERIO DE JUSTICIA, Decreto-Ley 50/2021. « Sobre la conservación, mejoramiento y manejo sostenible de los suelos y el uso de los fertilizantes », *Gaceta Oficial de la República de Cuba* (GOC-2021-966-O120), 2021.
- [MIN 26] MINKOUA NZIE J.R., NTSAME MBOUH C., ELOUNDOU ETOUNDI C., « Les innovations agroécologiques peuvent-elles constituer des modèles économiques verts ? », *Technologie et innovation*, ISSN 2399-8571, 2026.
- [PEN 26] PENTON ARIAS L.L., TEMPLE L., PENTON FERNANDEZ G., CARDENAS S.S., FONTES MARRERO D., UFFO REINOSA O., BELMIN R., FERNANDES P., « Production of Bio-inputs Based on Beneficial Indigenous Microorganisms in Cuba », *Technologie et innovation*, ISSN 2399-8571, 2026.
- [PUM 15] PUMARINO L., SILESHI G.W., GRIPENBERG S., KAARTINEN R., BARRION E., MUCHANE M.N., JONSSOM M., « Effects of Agroforestry on Pest, Disease and Weed Control: A Meta-analysis », *Basic and Applied Ecology*, vol. 16, n° 7, p. 573-582, 2015.
- [SOR 26] SORITH H., TEMPLE L., DUCROT R., NGANG SAMMANG NGUON L., « Ecosystem and Innovation Process for Bio-inputs Based on Microorganisms in Cambodia », *Technologie et innovation*, ISSN 2399-8571, 2026.

- [TAN 23] TANGUY C., THIVET D., « La transition agroécologique : verdissement ou transformation radicale des systèmes alimentaires ? », In D. UZUNIDIS, L. ADATTO (dir.) *Catastrophes majeures au XXI^e siècle: santé, environnement, alimentation*. Éditions Le Manuscrit, Magna Carta, 9782304054194, p. 205, 2023.
- [TEM 26] TEMPLE L., LE BELLEC F., JAS N., COTE F., « Réduire l'utilisation des pesticides : verrous et leviers sociotechniques dans les agricultures tropicale et méditerranéenne », *Cahiers Agricultures*, vol.35, in press, 2026.
- [TEM 25] TEMPLE L., JAS N., DI ROBERTO H., BRUNELLE T., TCHIOFOUO YEMELO B., BAYIHA G.D.L.P., « Verrous institutionnels de réduction par les soutiens aux pesticides pour l'agroécologie dans l'agriculture tropicale », in *Économie, management et ingénierie de l'innovation : trajectoires et perspectives des innovations systémiques*, Forum Innovation RRI, Paris, France, 13-16 octobre 2025.
- [ZIN 25] ZINSOU A., FERNANDES P., TRAORE I., BEAULIEU H., SAMBA R.T., ASSIGBETSE K., « Field Productivity of Sorghum and Cowpea Intercropping Is Increased by Combining Farm-Made Beneficial Microorganisms with Compost », *Journal of Crop Improvement*, vol. 39, n° 4, p. 335-352, 2025.