



Pretag Initiative
Pesticide Reduction for Tropical Agricultures

CHAPITRE 2 : CARACTERISER LES LEVIERS TECHNIQUES PERMETTANT DE DEVELOPPER DES ALTERNATIVES A L'USAGE DES PESTICIDES DE SYNTHESE

Martin T., André P., Risede J. M., Lammoglia K., Sester M., Deletre E., Diabate S., Konan A. J. K., Le Bellec A., Blouin F., Ghneim-Herrera T., Côte F.X. 2025. Chapitre 2. Caractériser les leviers techniques permettant de développer des alternatives à l'usage des pesticides de synthèse. In : Côte F.X., Le Bellec F., Martin T., Temple L., Blouin A., Loeillet D., Baufumé S., Ghneim-Herrera T. (eds.). Rapport final de l'initiative « Pesticide Reduction for Tropical Agricultures » (Pretag). Montpellier : CIRAD, p. 39-55. [https://doi.org/ 10.18167/agritrop/00830](https://doi.org/10.18167/agritrop/00830)

Ce rapport a été élaboré dans le cadre du projet « Pesticide Reduction for Tropical Agriculture - Pretag ». Le projet a bénéficié d'un soutien financier de la Fondation Agropolis-One Science (Programme Investissements d'Avenir - ANR-10-LABX-001-01), de la Fondation FARM, et du Cirad.

COORDINATION ET CONTRIBUTEURS

Coordination :

Thibaud Martin (thibaud.martin@cirad.fr)

Contributeurs :

Perrine André

Jean-Michel Risedé

Karen Lammoglia

Mathilde Sester

Emilie Deletre

Seydou Diabate

Arthur J.K. Konan

Fabrice Le Bellec

Thaura Ghneim-Herrera

François X. Côte

OBJECTIF PRINCIPAL

1. Identifier et caractériser les pratiques alternatives basées sur les principes de l'agroécologie permettant de réduire ou de s'affranchir de l'usage des pesticides dans les 5 cas d'étude filière de Pretag (banane, cacao, café, maraichage, riz). [OBJ]

RESUME

Le projet Pretag a permis de produire un guide des pratiques alternatives à l'utilisation des pesticides de synthèse, basé sur une revue bibliographique. Ce guide recense et documente dans 20 fiches spécifiques les 20 principaux leviers qui de façon directe ou indirecte permettent de réduire l'usage des pesticides de synthèse en agissant sur la santé des plantes, le contrôle du développement des bioagresseurs ciblés dans différentes cultures tropicales. Des informations concernant les conditions de mise en œuvre de ces leviers ainsi que la performance agronomique et environnementale sont également présentés quand cela a été possible, une référence à la faisabilité économique. Des exemples d'application et des références bibliographiques sont également fournis. Ces fiches ont été élaborées à partir de retours d'expériences des chercheur.e.s en contact avec les agriculteurs et les "terrains", de connaissances scientifiques, ainsi que des résultats de recherches menées par les équipes du Cirad et leurs partenaires dans différentes régions tropicales, portant sur divers systèmes de cultures, notamment maraîchage, banane, riz, café et cacao.

La revue de ces pratiques a mis en évidence qu'aucune technique alternative basée sur les concepts de l'agroécologie ne peut remplacer à elle seule le recours aux différentes familles de pesticides de synthèse (herbicide, insecticide, fongicide, ...). Le guide souligne aussi que des facteurs environnementaux, tels que le pédoclimat, la biodiversité, la diversité des plantes cultivées, la santé des sols et l'équilibre des écosystèmes, jouent un rôle majeur dans la réduction des risques liés aux bioagresseurs. Par ailleurs, une plante en bonne santé dans un écosystème équilibré, sera toujours plus résistante aux attaques des bioagresseurs, si elle est cultivée en l'absence de stress hydrique ou thermique dans un sol vivant, riche en micro-organismes, avec des pratiques agronomiques intégrant des associations culturales adaptées et une rotation avec des cultures complémentaires.

Ainsi pour répondre à la nécessité de devoir combiner plusieurs techniques, nous avons proposé une structure en forme de pyramide pour illustrer une approche générique de la gestion agroécologique des bioagresseurs d'une culture. La "base" de la pyramide est un préalable au développement d'une transition agroécologique. Cette base intègre des leviers favorables à une bonne santé du système agricole rendant le système plus résilient et performant. Elle est complétée par le niveau suivant qui intègre les leviers de surveillance et de limitation des infestations. Il s'agit des leviers consistant à réduire les risques de contamination, d'infestation et de pullulations des bioagresseurs. Les leviers de ces deux premiers niveaux reposent sur des techniques agronomiques et prophylactiques qui assurent une bonne santé de l'agrosystème et des plantes cultivées. Viennent ensuite les niveaux supérieurs qui introduisent des mesures biologiques et physiques permettant de compléter les défenses des plantes contre les bioagresseurs. Le contrôle biologique regroupe des leviers relatifs au contrôle des bioagresseurs grâce à des techniques reposant sur des processus biologiques (prédation, parasitisme, attraction, etc.). Le contrôle physique regroupe des leviers relatifs au contrôle des bioagresseurs grâce à des techniques reposant sur des processus physiques. Le dernier niveau enfin intègre les leviers de type Biocides. Les biocides sont relatifs au contrôle des bioagresseur grâce à l'application de substances naturelles présentes dans l'environnement. Ils sont composés d'extraits de plantes ou de microorganismes et peuvent être utilisés soit en préventif pour réduire les risques d'infestation soit en curatif avec une fréquence plus élevée d'application pour réguler la population d'un bioagresseur. En effet contrairement aux molécules chimiques de synthèse les biocides sont rapidement dégradés dans l'environnement d'où leur moindre efficacité pour le contrôle des ravageurs ce qui peut être compensé par une augmentation de la fréquence d'application. Le guide souligne l'importance de la combinaison de leviers pour développer des alternatives opérationnelles visant la réduction de l'usage des pesticides et illustre ce principe par le cas d'étude banane.

Les pratiques agroécologiques mises en place par le producteur doivent bien sûr être adaptées aux contextes locaux, tant en termes d'environnement que de systèmes de cultures ou de climat, avec un accompagnement continu de la recherche pour informer sur les risques d'invasions de bioagresseurs, sur les progrès des techniques agroécologiques mais aussi en lien avec des réseaux d'agriculteurs pour échanger régulièrement des savoirs et des ressources, des problèmes et des solutions. Cette approche se veut flexible et évolutive, en priorisant les techniques jugées les plus efficaces et les moins coûteuses par les acteurs selon les spécificités de chaque culture et de chaque territoire.

Beaucoup reste à faire pour trouver les bonnes combinaisons de techniques adaptées aux différentes cultures, territoires, climat et marchés d'une part et d'autre part de l'évaluation des coûts de ces stratégies de protection agroécologiques. Seules quelques-unes ont pu être évaluées. Certains leviers sont coûteux au moment de leur implémentation comme les haies et les plantes de service qui apportent des services de plus en plus importants au fur et à mesure de leur développement avec une amélioration de la fertilité des sols, une meilleure régulation des bioagresseurs par les ennemis naturels ou une pollinisation plus efficace des espèces cultivées. D'autres leviers relevant de la protection physique comme les filets anti-insectes ou le paillage plastique nécessitent un investissement élevé mais qui sera amorti dans le temps voire réduit par des mesures incitatives comme des réductions de taxes accordées pour la plupart du matériel agricole. D'autres encore favorisant la diversité des espèces cultivées donc la biodiversité vont avoir un impact positif non négligeable mais difficile à évaluer car lié à l'amélioration de la résilience du système d'exploitation sur le long terme face à l'arrivée potentiel de nouveaux bioagresseurs ou d'évènements climatiques extrêmes. Enfin l'évaluation des coûts cachés est un véritable challenge pour évaluer les bénéfices de la protection agroécologique des cultures. Ils portent sur l'amélioration de la santé des sols qui va être le garant de leur durabilité, l'augmentation de la biodiversité et de tous les services directs et indirects qu'elle permet que ce soit pour la régulation des bioagresseurs, l'abondance et la diversité des pollinisateurs tant pour les espèces cultivées que pour l'apiculture et enfin sur la réduction des risques d'intoxication pour les agriculteurs et les consommateurs.

La suite de ce travail consistera à : 1) Poursuivre les recherches sur les différents leviers; 2) Co-construire avec les acteurs des territoires des agroécosystèmes intégrant ces techniques agroécologiques de protection des cultures et leurs contraintes techniques, économiques et climatiques (y compris changement climatique en cours); 3) Evaluer leurs performances et les impacts environnementaux en lien avec la demande des marchés; 4) Communiquer et faire la promotion de ces nouveaux systèmes agroécologiques en lien avec la création de nouveaux secteurs d'activités. La poursuite du travail pourra également concerner de nouvelles filières telles que le coton, la canne à sucre ou le palmier à huile. Ces filières pourront ainsi contribuer à enrichir et à compléter les 20 fiches techniques proposées.

SUMMARY

The PRETAG project has produced a comprehensive guide outlining alternative practices to reduce reliance on synthetic pesticides, informed by an in-depth bibliographic review. This guide features a collection of 20 technical sheets, each detailing methods with direct or indirect impacts on plant health. Each sheet provides detailed information on targeted pests, relevant crops, application conditions, and agronomic and environmental performance. Where applicable, they also provide insights into economic feasibility. Each sheet is supplemented with practical application examples and relevant bibliographic references.

The guide was created by leveraging field insights from researchers working closely with farmers, integrating scientific knowledge, and drawing on research conducted by CIRAD teams and their partners in various tropical regions. The practices outlined span multiple cropping systems, including vegetable farming, bananas, rice, coffee, and cocoa.

The review of these practices revealed that no single alternative technique based on agroecological concepts can fully replace the use of synthetic pesticide families (herbicides, insecticides, fungicides, etc.). The guide also highlights the critical role of environmental factors—such as soil and climate conditions, biodiversity, crop diversity, soil health, and ecosystem balance—in mitigating risks posed by pests and pathogens.

Moreover, a healthy plant in a balanced ecosystem is inherently more resilient to pest attacks. This resilience is enhanced when the plant is cultivated without water or heat stress, in living soils rich in microorganisms, and under agronomic practices that incorporate appropriate crop associations and rotations with complementary crops.

To address the necessity of combining multiple techniques, we introduced a pyramid-shaped framework to represent a generic approach to agroecological pest and pathogen management.

The “base” of the pyramid represents a prerequisite for developing an agroecological transition. This foundation includes levers that promote the overall health of the agricultural system, making it more resilient and efficient. It is complemented by the next level, which focuses on monitoring and limiting infestations. This level comprises strategies aimed at reducing risks of contamination, infestation, and pest outbreaks. The levers in these first two levels are based on agronomic and prophylactic techniques that ensure the health of the agroecosystem and cultivated plants.

The upper levels of the pyramid then introduce biological and physical measures to further enhance plant defenses against pests and pathogens. Biological control involves levers based on biological processes such as predation, parasitism, or attraction to manage pests while physical control includes levers based on physical processes to control pests.

Finally, the top level of the pyramid incorporates biocidal levers, which rely on the application of natural substances found in the environment. Derived from plant extracts or microorganisms, these biocides can be applied preventively to reduce infestation risks or curatively, with increased application frequency, to control pest populations. Unlike synthetic chemical molecules, biocides degrade rapidly in the environment, which limits their efficacy in pest control but can be offset by increasing the frequency of application.

The guide emphasizes the importance of combining these levers to develop operational alternatives for reducing pesticide use. This principle is illustrated through the case study of banana cultivation.

Agroecological practices implemented by producers must be tailored to local contexts, taking into account the environment, cropping systems, and climate. These practices require sustained research support to assess pest invasion risks, advance agroecological techniques, and foster collaboration

through farmer networks for exchanging knowledge, resources, challenges, and solutions. This approach is designed to be flexible and adaptive, prioritizing techniques considered most effective and cost-efficient by stakeholders, based on the specific characteristics of each crop and territory.

Much work remains to identify the right combinations of techniques tailored to different crops, territories, climates, and markets, as well as to evaluate the costs of these agroecological protection strategies. Only a few of these strategies have been thoroughly assessed so far. Some levers, such as hedgerows and cover crops, are costly to implement initially but provide increasing benefits over time. These include improved soil fertility, better pest regulation through natural enemies, and more efficient pollination of cultivated species. Other levers, like physical protection measures such as insect nets or plastic mulching, require significant upfront investments, but these can be amortized over time or offset through incentives, such as tax reductions on most agricultural equipment. Additional levers, such as promoting crop diversity and thus biodiversity, have a significant positive impact. However, these benefits are harder to quantify as they are tied to the long-term resilience of farming systems in the face of potential new pests or extreme climatic events.

Finally, assessing hidden costs remains a key challenge in evaluating the benefits of agroecological crop protection. These include improvements in soil health, which underpin sustainability, increased biodiversity and the direct and indirect services it provides (e.g., pest regulation, abundance and diversity of pollinators for both cultivated species and beekeeping), and reduced risks of poisoning for farmers and consumers alike.

In conclusion, this work resulted in the development of a generic method for designing and evolving agroecological protection strategies across different cropping systems. This method combines diverse, complementary levers to preserve and enhance the health of cultivated plants while offering added protection against pests and, in certain cases, extreme climatic events. While certain strategies are already being implemented by producers, many others still require validation or innovation.

The next steps for this work include:

- Continuing research on the different levers.
- Co-constructing agroecosystems with local stakeholders that incorporate these agroecological protection techniques while addressing their technical, economic, and climatic constraints (including ongoing climate change).
- Evaluating the performance and environmental impacts of these systems in response to market demands.
- Communicating and promoting these new agroecological systems in alignment with the creation of new business sectors.

Another critical step will involve developing and compiling specific strategies or combinations of levers tailored to each cropping system—not only for the five studied value chains but also for others such as cotton, sugarcane, and oil palm.

INTRODUCTION

Les espèces cultivées sont des entités vulnérables à différentes pressions venant de l'environnement. D'autant plus que les variétés cultivées ont le plus souvent été sélectionnées en priorité pour leur capacité de production en quantité et en qualité, dans une moindre mesure pour leur tolérance aux bioagresseurs, beaucoup moins pour leur robustesse face aux aléas climatiques.

Ces pressions peuvent être à l'origine de facteurs abiotiques comme les événements climatiques extrêmes, ou bien de facteurs biotiques comme les maladies, ravageurs ou adventices, que nous appellerons bioagresseurs. Ces pressions sont exacerbées en milieu tropical où les conditions climatiques sont souvent plus favorables aux développements de ces bioagresseurs (conditions chaudes, plus ou moins humides). Pour y faire face, plusieurs méthodes de protection des plantes et de lutte contre les bioagresseurs sont expérimentées depuis de nombreuses années un peu partout dans le monde. Certaines d'entre-elles font usages de pesticides [1], lesquels ne peuvent pas être employés sans en questionner leurs impacts sur la santé humaine, animale et environnementale (eaux, sols, micro-organismes, etc.).

Or, les contextes réglementaires et les modes de contrôles sont parfois plus permissifs en zone tropicale concernant les usages des pesticides, qui s'avèrent souvent insuffisamment encadrés. Il existe ainsi un nombre conséquent de substances actives utilisées dans ces territoires qui sont maintenant interdites en Union Européenne compte tenu de leur profil éco-toxicologique (cf. WP1).

À cela s'ajoute la sélection de populations résistantes chez les bioagresseurs qui ont été sélectionnés par l'intensité et l'usage fréquent de pesticides de même familles chimiques depuis de nombreuses années (ex : années 1940 pour les organochlorés (OC), 1950 pour les organophosphorés (OP), années 1980 pour les pyréthriinoïdes et années 1990 pour les néonicotinoïdes). Ce phénomène de résistance aux pesticides peut provoquer des résistances croisées à d'autres familles chimiques.

A cela s'ajoute également les invasions récurrentes de nouveaux bioagresseurs venus sans leurs cortèges d'ennemis naturels. D'où la nécessité de disposer d'une biodiversité la plus riche possible afin que ces nouvelles espèces puissent être régulées par les ennemis naturels présents localement.

Ainsi, les cultures en contexte tropical font face à de nombreuses pressions qui évoluent et peuvent s'additionner avec des impasses techniques quant aux possibilités d'une protection durable des cultures entraînant alors les agriculteurs dans une spirale infernale d'utilisation croissante de pesticides sans toujours respecter malheureusement les bonnes pratiques phytosanitaires en matière de protection individuelle, de dose, de fréquence ou de période de traitement avant récolte.

Par ailleurs ce recours systématique aux traitements chimiques préventifs impacte directement plusieurs services écosystémiques que ce soient les ennemis naturels et les pollinisateurs mais aussi les micro-organismes utiles tant sur les parties aériennes des plantes que dans le sol et indirectement toute la biodiversité environnante. La plus-value apportée par les pesticides chimiques par rapport à un système agroécologique plus robuste est donc loin d'être toujours assurée.

Sur la base d'une synthèse bibliographique, un guide des pratiques ou "leviers" alternatifs à l'usage des pesticides a été proposé sous la forme de 20 fiches techniques/documents pédagogiques. Ces fiches comprennent :

- la description de la pratique (bioagresseurs et cultures concernées, temporalité et conditions associées à la mise en œuvre),
- la performance de cette pratique sur les plans agronomique, environnemental et économique,

- un ou plusieurs exemples d'application,
- des références bibliographiques associées.

Ces fiches ont été conçues à partir de nombreux documents existants, fondés sur des connaissances empiriques et/ou scientifiques, et destinés à différents publics et contextes. Elles s'appuient également sur des résultats de recherches menées dans diverses régions tropicales et pour des systèmes de cultures variés, notamment dans les filières maraîchage, banane, riz, café et cacao.

1. Principes de construction du guide des leviers techniques pour développer des alternatives aux pesticides

Une technique alternative aux pesticides basée sur les concepts de l'agroécologie ne peut à elle seule se substituer à l'usage des pesticides de synthèse. Il est en effet illusoire de penser qu'un pesticide biologique (ou biocide) pourra être aussi efficace qu'une molécule synthétisée pour maximiser son efficacité et sa rémanence. Une molécule synthétique est généralement conçue pour surpasser son modèle biologique, souvent constitué d'un mélange d'isomères plus ou moins actifs et de molécules plus ou moins toxiques.

Par ailleurs, l'environnement de la culture influence fortement les risques liés aux bioagresseurs. Par exemple, une variété sensible à fort potentiel de production, cultivée en monoculture sur une grande parcelle, sera toujours plus exposée aux bioagresseurs qu'une culture associée composée de variétés résistantes et protégée par des plantes de service. Ces dernières peuvent atténuer les effets négatifs des événements climatiques extrêmes, limiter la concurrence des adventices, ou encore héberger des hôtes utiles fournissant des services de prédation et de pollinisation.

Un sol vivant, bien équilibré en sable et argile, riche en matière organique et en microorganismes, contribue également à réduire les risques d'infection par les nématodes et pathogènes du sol. Ce phénomène s'explique par des effets de dilution et de compétition entre microorganismes, mais aussi par la stimulation des défenses immunitaires des plantes (ex : *Trichoderma* spp.). Un sol sain assure également une alimentation régulière et de qualité aux plantes, notamment grâce à des mycorhizes.

En outre, la connaissance par les producteurs des services écosystémiques mobilisables sur leur exploitation (ex : prédateurs, pollinisateurs) et la surveillance régulière de leurs cultures (ex : symptômes de maladies, dégâts de ravageurs) constituent des atouts majeurs. Ces pratiques permettent d'intervenir précocement sur les premiers symptômes infectieux ou les stades larvaires initiaux, afin de prévenir les pullulations et préserver la santé des plantes cultivées. Cet apprentissage des risques, des techniques et des savoir-faire est un processus continu pour les agriculteurs en transition agroécologique. Il est facilité par leur mise en réseau avec d'autres producteurs ou acteurs territoriaux engagés dans la même démarche évolutive.

La structuration de ce guide repose sur le principe qu'une plante bien adaptée à son environnement et en bonne santé se défendra toujours mieux contre les bioagresseurs qu'une plante en situation de stress. Il convient donc de prioriser tous les facteurs contribuant à la santé des plantes cultivées et de leurs écosystèmes. Cela passe notamment par l'application des bonnes pratiques agronomiques : optimisation de la structure et de la vie du sol, fertilisation, apport en eau et drainage, rotations et associations culturales. Ces conditions optimales, spécifiques à chaque espèce cultivée et territoire, permettent aux plantes et à leurs microbiotes associés d'exprimer pleinement leurs défenses naturelles contre les bioagresseurs.

En complément, d'autres techniques peuvent être mises en œuvre pour réduire l'enherbement, les risques de contamination par les pathogènes et l'attraction des bioagresseurs. Ces leviers incluent des solutions physiques et/ou biologiques qui renforcent les défenses naturelles des plantes cultivées. Par exemple, les composés volatiles organiques produits par des plantes de service ou des diffuseurs peuvent repousser certains ravageurs, perturber leur reproduction ou les attirer dans des pièges.

Enfin, l'utilisation de biocides à base de plantes ou de microorganismes, dotés d'un large spectre d'activité, peut être envisagée à titre préventif pour réduire l'attractivité des bioagresseurs ou leur installation sur les plantes. Les biocides à spectre spécifique, quant à eux, sont recommandés en curatif pour abaisser les populations de bioagresseurs sous leur seuil de nuisibilité.

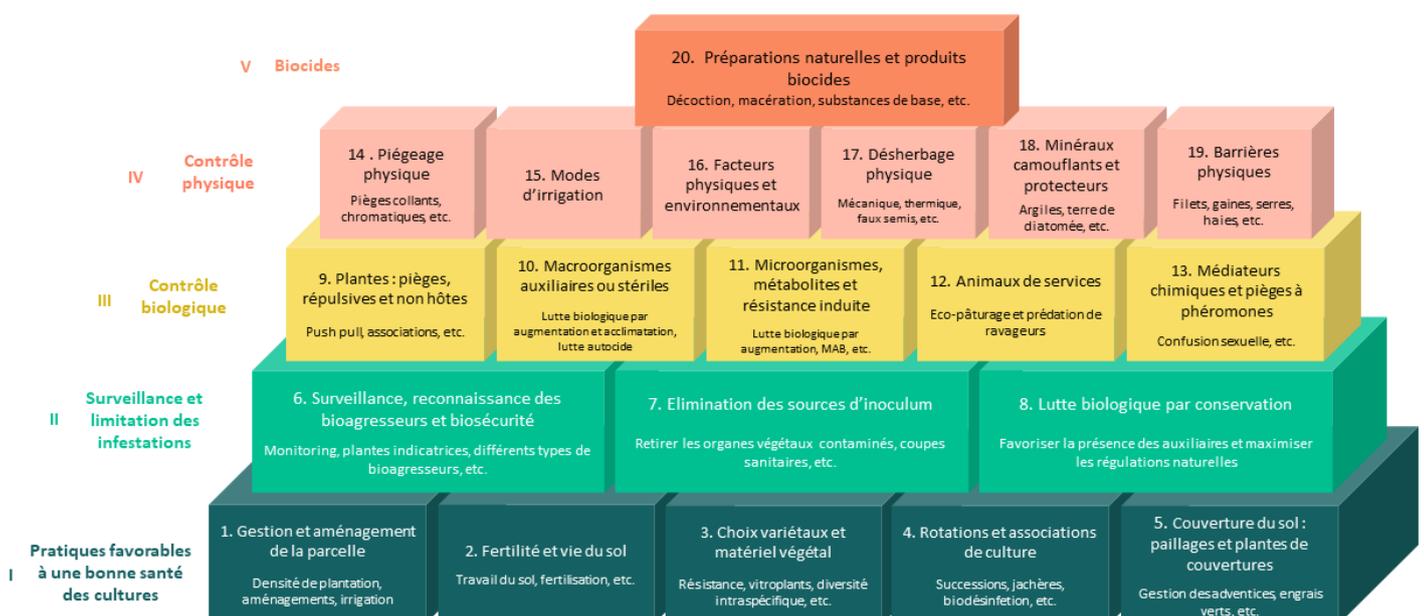
L'objectif de ce travail était de capitaliser les données existantes et de développer un cadre conceptuel commun facilitant les échanges entre chercheurs et, de manière générale, entre les acteurs du changement. Ce guide propose ainsi une organisation logique et une représentation organisation logique et une représentation synthétique des leviers agroécologiques permettant de réduire, voire d'éliminer, l'utilisation des pesticides chimiques.

2. Principes de construction du guide des leviers techniques pour développer des alternatives aux pesticides

Ce guide, en annexe de ce document, décrit 20 leviers techniques génériques de protection agroécologique des cultures pour la réduction de l'usage des pesticides. Ces leviers s'appliquent à cinq systèmes de culture (banane, cacao, café, maraîchage et riz) dans des territoires spécifiques. Ils s'intègrent dans une stratégie de protection agroécologique des cultures, à l'échelle de la parcelle et de son environnement proche, et reposent sur les principes d'interactions entre les communautés végétales, animales et microbiennes. Cette stratégie vise à réduire les risques de pullulation (également appelés seuils de nuisibilité) grâce à l'emploi judicieux de différentes pratiques qui se complètent et s'additionnent pour favoriser la bonne santé de l'agrosystème et des plantes cultivées.

Le schéma de la pyramide que nous proposons ci-dessous (Figure 1) est inspiré des travaux de Bruchon et al. (2015), de Pesticide Action Network Europe (2017), ainsi que de Gliessman (2007), HLPE (2019), Wezel (2020) et Deguine et al. (2023). Il permet d'illustrer et de visualiser de façon simple la structuration de la démarche de protection agroécologique des espèces cultivées. Chaque "brique" est équivalente à un levier, qui fait référence à une fiche technique détaillée dans le guide, avec ses avantages, ses inconvénients et quelques exemples d'application.

Figure 1 : Pyramide des leviers techniques pour une protection agroécologique des cultures sans pesticides de synthèse, classés par ordre de priorité : I) pratiques favorables à une bonne santé des cultures, II) surveillance et limitation des infestations, III) contrôle biologique, IV) contrôle physique, V) biocides.



Nous avons distingué cinq catégories (« couches ») de leviers :

- I) **Pratiques favorables à une bonne santé du système agricole** : il s'agit des pratiques agronomiques qui rendent le système plus résilient et performant.
- II) **Surveillance et limitation des infestations** : il s'agit des leviers consistant à réduire les risques de contamination, d'infestation et de pullulations des bioagresseurs.
- III) **Contrôle biologique** : il s'agit des leviers relatifs au contrôle des bioagresseurs grâce à des techniques reposant sur des processus biologiques (prédation, parasitisme, attraction, etc.).
- IV) **Contrôle physique** : il s'agit des leviers relatifs au contrôle des bioagresseurs grâce à des techniques reposant sur des processus physiques.
- V) **Biocides** : il s'agit des leviers relatifs au contrôle des bioagresseurs grâce à l'application de substances présentes dans l'environnement.

Au même titre que pour la santé humaine, la santé des plantes cultivées peut être préservée en limitant les facteurs à risques (i.e. cultures monospécifiques) et en appliquant une stratégie préventive multifactorielle (i.e. cultures diversifiées, choix variétaux judicieux, etc.). En effet, les cultures en bonne santé résistent mieux aux contraintes abiotiques et aux attaques des bioagresseurs. Plus vigoureuses, les plantes cultivées peuvent aussi compenser la concurrence des adventices et certains dégâts des bioagresseurs. Ainsi, les deux premiers « étages » (i) et (ii) sont essentiels et constituent les « fondations » d'une bonne santé des cultures et de leur résilience. Etant des leviers préventifs et prophylactiques, ils doivent être envisagés en priorité (souvent avant même la plantation) selon la stratégie du/de la chef-fe d'exploitation. Les trois derniers étages (iii), (iv) et (v) sont à mettre en œuvre dans une logique préventive et/ou curative et doivent répondre à la nature du bioagresseur ciblé. Pour cela il est primordial d'être en mesure d'identifier la nature de l'agression de la culture (levier 6) afin de mettre en place les leviers techniques adaptés. Ces leviers constituent une sorte de « boîte à outils » dont l'utilisateur pourra choisir celui ou ceux qui lui conviennent le mieux en termes de technicité, de charge de travail, de capacité d'investissement, de risque, etc. Nombreux sont les concepts agronomiques recoupant ces leviers : prophylaxie, biocontrôle, agroforesterie, permaculture, plantes de services, culture sur sols vivants, etc. Ces concepts sont composés de plusieurs fondamentaux techniques présents et identifiables aux travers de ces leviers et à différents étages.



Ce guide prône trois approches fondamentales pour une protection durable des cultures tropicales sans recours aux pesticides de synthèse : préserver la santé des cultures et des agroécosystèmes grâce à des pratiques préventives et aux régulations naturelles, identifier rapidement les bioagresseurs afin d'appliquer des solutions adaptées, et orchestrer une combinaison de techniques pour assurer une protection pérenne.

La démarche vise à sélectionner les leviers les plus adaptés en priorité, puis à en intégrer progressivement d'autres pour renforcer l'équilibre de l'agroécosystème. Cette transition nécessite un accompagnement par la recherche, le conseil agricole et la mise en réseau des acteurs, afin de favoriser le partage des savoirs et la mutualisation des ressources.



En somme, ce guide défend trois grandes idées afin de protéger durablement les cultures tropicales sans pesticides de synthèse :

1. Privilégier en premier lieu une bonne santé de la culture et de l'agroécosystème en limitant les facteurs de risque, en appliquant des stratégies préventives et en favorisant les régulations naturelles ;
2. Diagnostiquer précocement la nature et l'ampleur des attaques de bioagresseurs afin de mettre en place les leviers techniques ciblés et adaptés. Savoir ainsi différencier les ravageurs des auxiliaires de culture ;
3. Combiner judicieusement les leviers techniques afin de rendre la stratégie de protection plus efficace dans la durée.

Cependant toutes les techniques ne sont pas applicables à tous les systèmes de cultures. En fait ce sont des combinaisons de leviers qui permettent de réduire l'utilisation de pesticides. A titre d'illustration, les figures 2 et 3 illustrent comment une combinaison judicieuse de leviers permet de réduire l'utilisation de fongicides dans les cultures de bananes et de s'affranchir de nématicides dans ces mêmes cultures.

Figure 2 : Combinaison de leviers pour la réduction de l'usage des fongicides dans les cultures de banane. Les leviers recommandés sont ceux indiqués en couleur.



Il ne s'agit donc pas de mettre en pratique tous les leviers mais de choisir en priorité les plus pertinents et si besoin en intégrer d'autres progressivement pour améliorer l'équilibre de l'agroécosystème. Cette approche doit aussi être adaptée à la technicité et aux connaissances des agriculteurs tout en prenant en compte les attentes du marché et leur capacité d'investissement. L'approche se veut aussi évolutive avec la nécessité de prioriser la mise en place de techniques qui seront jugées plus pertinentes ou plus efficaces que d'autres. Ces remarques soulignent la nécessité d'un accompagnement de la transition par la recherche et le conseil agricole mais aussi l'intérêt de la mise en réseaux des acteurs des chaînes de valeur pour que les producteurs puissent échanger leurs connaissances et mutualiser leurs moyens.

Figure 3 : Combinaison de leviers pour la réduction de l'usage des nématicides dans les cultures de banane. Les leviers recommandés sont ceux indiqués en couleur.



L'efficacité propre à chaque levier n'est pas toujours facile à évaluer dans un système agroécologique par nature complexe mais l'effet de chaque levier peut être cumulatif voire multiplicatif. Ces approches à la parcelle peuvent aussi être complétées à l'échelle du paysage, par des techniques de lutte biologique basées sur l'introduction, la multiplication et le lâcher d'ennemis naturels spécifiques (ex : parasitoïde) ou d'insectes ravageurs stériles (ex : mouche des fruits) pour permettre de réguler les populations de ravageurs invasifs qui arrivent généralement sans leur cortège d'ennemis naturels.

Certains leviers utilisés seuls peuvent avoir une efficacité limitée mais deviennent plus performants en association avec d'autres leviers (**Tableau 1**). C'est par exemple le cas de l'introduction de macroorganismes auxiliaires (levier 10) en système fermé (levier 19) avec l'aménagement d'habitats des ennemis naturels avec des plantes de couverture (leviers 5) ou de haies sur le principe de la lutte biologique par conservation (levier 8). Au contraire, certains leviers, selon leur mise en œuvre, pourront s'avérer incompatibles (**Tableau 1**). C'est le cas de la technique de couverture du sol (levier 5) par la mise en œuvre de plante de couverture, incompatible avec le désherbage physique (levier 17) en inter-rang.

Les savoir-faire locaux et traditionnels jouent un rôle clé dans le développement des solutions alternatives. De nombreuses innovations ont émergé grâce à la capacité d'adaptation et à la créativité des acteurs locaux. L'adoption et le développement de certaines de ces techniques alternatives peuvent également constituer une source d'emploi pour les jeunes.

L'intérêt de ce guide est de révéler le caractère générique et transversale de ces approches agroécologiques de protection des cultures. Cependant, tous ces leviers étant « contexte dépendant », ils doivent être adaptés aux particularités des systèmes de cultures, aux territoires et aux modèles

Tableau 1 : Tableau des complémentarités et incompatibilités des leviers techniques (pris 2 à 2). En vert clair les leviers complémentaires par définition, en vert foncé les leviers complémentaires montré scientifiquement (+), en blanc les leviers supposés complémentaires mais non montré scientifiquement et en rouge les leviers qui peuvent être compatibles ou incompatibles (±).

20 leviers techniques																			
1. Gestion et aménagement de la parcelle	1																		
2. Fertilité et vie du sol		2																	
3. Choix variétaux et matériel végétal			3																
4. Rotations et associations				4															
5. Paillages et plantes de couverture					5														
6. Surveillance et reconnaissance						6													
7. Elimination des sources d'inoculum							7												
8. Lutte biologique par conservation								+											
9. Plantes pièges barrières et répulsives									+										
10. Macroorganismes										+									
11. Microorganismes																			
12. Animaux de services																			
13. Médiateurs chimiques																			
14. Piégeage physique																			
15. Aspersion																			
16. Solarisation																			
17. Désherbage physique																			
18. Minéraux camouflant																			
19. Barrières physiques																			
20. Préparations biocides																			

économiques des exploitations. La généralisation de ces leviers nécessitera en outre des approches concertées et holistiques dépassant le seul niveau de décision du producteur (Côte et al., 2022). En effet, la transition agroécologique vers des agrosystèmes plus économes en pesticides de synthèse requiert des décisions à grande échelle en ce qui concerne les innovations organisationnelles, la gestion et le partage des ressources sensibles (eau, sols, etc.), les marchés, etc. Ces défis sont d'autant plus importants dans certaines zones tropicales à fort enjeux sociétaux (demande alimentaire croissante, niveau de pauvreté en zone rurale, inégalités de genre, etc.) et exposés aux conséquences du dérèglement climatique. Certains leviers relevant de la lutte physique et basés sur l'utilisation des composés volatiles relatifs sont encore peu utilisés mais sont très prometteurs. Pour l'instant limités à l'attraction de ravageurs dans des pièges à phéromone, ils pourraient dans un avenir proche repousser des ravageurs ou attirer des ennemis naturels voire diagnostiquer l'état sanitaire des plantes cultivées. Ces leviers relèvent de l'écologie chimique autrement dit des interactions multiples entre les organismes vivants basées sur la production et la réception de composés

organiques volatiles. Le décodage de ces signaux olfactifs et leur utilisation pourrait permettre à terme de pouvoir mieux diagnostiquer l'état sanitaire des cultures et de pouvoir solliciter les défenses immunitaires des plantes.

3. Suites possibles de l'étude

Sur la base de ces éléments et de nos expériences menées sur plusieurs continents (Afrique, Asie, Amérique Latine), il apparaît qu'une réduction de l'utilisation des pesticides est envisageable, en s'inscrivant dans une démarche d'amélioration de tous les compartiments de la santé tout en intégrant une rentabilité économique pour le producteur. Toutefois, cela nécessite une approche concertée, avec une responsabilité partagée entre les producteurs, les acteurs des chaînes de valeur, les décideurs publics territoriaux, les entreprises privées liées au développement des biopesticides, la société civile et les organismes de recherche.

- **Approfondissement et mise à jour du guide.** Ce guide 1.0, destiné à la communauté agricole et aux décideurs, met en évidence des solutions pratiques et des bonnes pratiques pour une production agricole saine, durable et robuste. Il sera mis à jour périodiquement en fonction des retours d'expérience des producteurs, des évaluations menées par les chercheurs et des nouveaux développements dans les systèmes de culture. La pyramide générique proposée, qui présente un cadre pour l'application de ces leviers, pourra être adaptée en fonction des spécificités des cultures et des témoignages des acteurs de terrain. Cette approche permettra de mesurer les performances des leviers techniques et de créer des exemples concrets de solutions agricoles durables.
- Indicateurs et leviers. Ce guide pourrait être utilement complétée en y intégrant des indicateurs de "maturité" des leviers basés par exemple sur l'échelle à laquelle ces solutions ont été déployées (un essai de classification est présenté dans le guide pour le cas d'étude banane). Il serait également très utile de disposer de méthodes permettant de caractériser les niveaux de prophylaxie et d'état de santé des cultures même si nous avons conscience du défi méthodologique énorme que cela représente.
- **Leviers et variétés locales.** Il serait très pertinent de faire un focus sur le levier 3 (choix variétaux) en examinant le rôle des variétés locales qui offrent déjà pour la transition des solutions accessibles et à moindre coût pour les agriculteurs, notamment en Afrique et en Asie. Cette approche nous paraît également intéressante car elle permettra probablement de coupler une approche de réduction des pesticides avec une approche d'adaptation au changement climatique
- **Nouveaux leviers.** La suite des travaux pourrait également d'explorer des leviers encore peu étudiés comme les approches liées au microbiome des sols et des plantes cultivées, ou l'écologie chimique qui pourraient jouer un rôle clé dans l'avenir de l'agriculture durable.
- **Couplage des approches par leviers avec les approches territoriales et avec les acteurs du changement.** L'un des défis de la transition réside dans la capacité à coupler les leviers techniques avec des stratégies de développement territorial. La transition agroécologique doit en effet être pensée non seulement au niveau des exploitations agricoles individuelles mais aussi dans une perspective plus large, intégrant la santé des écosystèmes locaux, la biodiversité et la résilience des territoires. Les innovations doivent être adaptées aux spécificités locales ce qui implique une forte dimension de co-conception avec les agriculteurs mais aussi avec les autres acteurs des territoires comme les autorités locales, les entreprises et les associations. Dans ce contexte, développer les liens entre le WP2 (leviers), le WP3 (politiques publiques) et le WP4 (plateforme multi-acteurs et living lab nous paraît essentiel.
- **Formation et démultiplication des solutions.** Un volet essentiel du programme consistera à assurer la formation des agriculteurs et des autres acteurs du secteur pour favoriser l'adoption des nouvelles pratiques agricoles. La crédibilisation des solutions passe également

par leur compréhension par les niveaux des politiques publiques (et des autres acteurs du changement) afin de garantir leur reconnaissance et prise en compte. En parallèle, il s'agira de créer un réseau d'acteurs locaux et d'entreprises impliquées dans le passage à l'échelle (productions pilotes par exemple) des leviers, et ainsi de générer de nouvelles filières agricoles et secteurs d'activité. Ce processus devrait d'ailleurs contribuer à l'émergence de nouvelles dynamiques économiques, associées au développement de pratiques agricoles plus durables adaptées aux contextes locaux.

4. Documents consultables

- André P., Le Bellec F., Ouedraogo R.W., Côte F.X., Patault B., Konan N.K., Sester M., Risède J.M., Martin T. 2025. Guide de protection agroécologique des cultures tropicales en 20 leviers techniques, Initiative Pretag (Pesticide Reduction for Tropical Agricultures). Montpellier, France: CIRAD, 135 p. <https://agritrop.cirad.fr/612158/>
- Ruf F., Kiendré J., Di Roberto H., 2024. Courageuses, mais fragiles certifications « cacao bio » en Côte d'Ivoire. (Auto)-exclusion des champions burkinabés ? (Article soumis). Cahiers Agricultures, soumis en septembre 2024.
- André, P., & Martin, T. (2024). Actualisation et nouvelle approche des leviers techniques de protection intégrée des cultures tropicales sans pesticides de synthèse [Présentation à la Journée technique - Réduction de l'usage des pesticides et produits vétérinaires dans une démarche One Health, 4 juillet 2024, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire].
- Temple, L., Bonafos, R Côte, F.X., Le Bellec, F., Martin, T., & Blouin, A. (2024). Liens formation « protection des plantes » et recherches sur la réduction des pesticides à l'international [Programme de l'événement]. Initiative Pretag, CIRAD. Présenté le 2 septembre 2024, Montpellier, France.
- CTS SantéS & CTA SAD, avec la contribution de l'Initiative Pretag, organisateurs. (2023). Pesticides dans les systèmes alimentaires et impacts sur la santé humaine [Journée réflexive d'échanges, 30 novembre 2023, Montpellier, France]. CIRAD.
- CIRAD. (2023, 20 décembre). Côte d'Ivoire : le maraîchage en transition agroécologique (Épisode 1) [Vidéo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Lb-CbUj5lcs>
- CIRAD. (2023, 20 décembre). Côte d'Ivoire : le maraîchage en transition agroécologique (Épisode 2) [Vidéo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=1Xvrz777TRQ>
- CIRAD. (2023, 20 décembre). Côte d'Ivoire : le maraîchage en transition agroécologique (Épisode 3) [Vidéo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IXz6Oce3sfg>
- Di Roberto H., Jas N., 2024. Déterminants macro-institutionnels du recours au pesticide. Quelles subventions aux pesticides en Côte d'Ivoire ? (Rapport technique). CIRAD, Montpellier, France.
- Ruf F., 2022. Verrou pesticides ... et verrou cacao en Côte d'Ivoire : les pesticides perçus comme incontournables par les planteurs (Document de travail interne). CIRAD, Montpellier, France.
- Ruf F., Kiendré J., 2024. Cinq coopératives cacao bio en Côte d'Ivoire (Document de travail interne). CIRAD, Montpellier, France.
- Ruf F., 2024. Cacao sans pesticides ou pesticides sans cacao ? Analyse de la base de données Intrants (Document de travail interne). CIRAD, Montpellier, France.

5. Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous les partenaires de la recherche et du développement qui ont collaboré, directement ou indirectement, avec les équipes du Cirad à la conception, à l'expérimentation et à la démonstration des techniques agroécologiques présentées dans les 20 fiches techniques. Nos remerciements s'adressent également aux projets Desira MARIGO et ECOFFEE R&D ainsi qu'à leurs partenaires.

Cette initiative a mobilisé des centres nationaux de recherche, des universités et des écoles situés dans les pays du Sud (notamment les Antilles, le Brésil, le Cambodge, le Cameroun, le Costa Rica, la Colombie et la Côte d'Ivoire), ainsi que des acteurs de cinq grandes filières de production : le maraîchage en Afrique, la banane dessert dans diverses régions de production, le cacao en Afrique, le café en Amérique latine et le riz en Asie du Sud-Est. Elle a également impliqué des acteurs publics et de la société civile à l'échelle des territoires (ONG, services publics ministériels).