



INRAE

Rapport intermédiaire de projet

LUTTE CONTRE LES FOURMIS MANIOC : MÉTA-ANALYSE

Auteur : Mathilde Dionisi

Coordination scientifique : Harry Ozier-Lafontaine – INRAE Antilles-Guyane
Damien Laplace – DAAF Guyane





©The Independant

AVANT-PROPOS

Les fourmis manioc représentent l'un des principaux ravageurs des Amériques, impactant fortement la production agricole en Guyane française. Cependant, ces fourmis ne sont à ce jour plus reconnues comme parasites des cultures par la législation française et l'absence de produit phytosanitaire homologué suite au retrait du Blitz conduit à une recrudescence de pratiques illégales pour lutter contre ces ravageurs. Les branches d'Outre-mer (Office de Développement de l'Economie Agricole d'Outre-Mer et Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Guyane) reconnaissent néanmoins cette problématique et cherchent à y pallier via la recherche des solutions durables.

Dans ce cadre, un projet de méta-analyse des méthodes de lutte contre les fourmis manioc a été lancé par INRAE Antilles-Guyane, la DAAF de Guyane et l'ODEADOM, dans l'objectif d'analyser et mettre en valeur différentes solutions de lutte directement applicables ou à développer en Guyane.

Ce projet fait l'objet d'une convention de partenariat entre l'ODEADOM en tant que financeur, INRAE Antilles-Guyane en porteur scientifique et la DAAF de Guyane en tant qu'organisme d'accueil. Il se déroule sur cinq mois et produira un rapport bibliographique ainsi qu'une note de synthèse du rapport bibliographique publiable.

Nous remercions toutes les personnes ayant pris part à ce projet ainsi que Philippe Hernandez (DAAF Guyane) et Harry Ozier-Lafontaine (INRAE Antilles-Guyane) qui en sont à l'origine.



RESUME

L'un des enjeux prioritaires du développement agricole en Guyane se trouve être la lutte contre les fourmis manioc (Hymenoptera : Formicidae), ravageurs majeurs des cultures dans les Amériques et contre lesquels aucun produit phytosanitaire n'est à ce jour autorisé.

Pour mieux appréhender les méthodes de lutte possibles contre ces ravageurs, une méta-analyse a été conduite sur 166 études répertoriant au total 762 expériences de méthodes de lutte contre diverses espèces de fourmi manioc. Ces méthodes ont été appréhendées selon 3 axes : leur efficacité de contrôle, leur mise en œuvre et l'aspect légal vis-à-vis de la réglementation française.

Certaines méthodes de lutte, dites préventives, cherchent à limiter l'impact des fourmis manioc en empêchant l'accès aux cultures. Parmi ces méthodes, les barrières physiques et la diversification de cultures sont applicables en Guyane et la plante *Ricinus communis* ainsi que le fungus *Trichoderma* sp. ont montré un effet insectifuge intéressant.

Les autres méthodes de lutte cherchent à éliminer la colonie en tuant les ouvrières et/ou le champignon symbiote. On y retrouve la terre de diatomée, la destruction manuelle du nid et les méthodes de lutte par conservation d'espèces prédatrices et parasitoïdes. Les appâts commerciaux Bioisca® et Citromax® ainsi que les préparations aqueuses du fungus *Trichoderma lignorum* et des plantes *Canavalia ensiformis* et *Manihot esculenta* se sont révélés prometteurs pour une possible application future en Guyane. L'application de compost ou de paillage des plantes *Tithonia diversifolia* ou *Manihot esculenta* ont également été mis en valeur pour leur efficacité et facilité de mise en œuvre.

Cette méta-analyse permet une meilleure vision des méthodes de lutte mises en place dans les Amériques et met en valeur des pistes de lutte possibles applicables en Guyane française.

Mots-clés : Fourmis manioc, Méthodes de lutte, Efficacité, Mise en œuvre, Légalité

Table des matières

- 5 Présentation
- 6 Objectifs
- 7 Question de recherche
- 8 Méthodes
- 10 Résultats – Analyse en Composantes Principales
- 11 Résultats – Efficacité des méthodes de lutte
- 17 Résultats – Praticité des méthodes de lutte
- 20 Résultats – Aspect légal des méthodes de lutte
- 22 Conclusion – Pistes pour la valorisation de méthodes de lutte en Guyane

PRÉSENTATION

Les fourmis manioc sont parmi les ravageurs les plus répandus et les plus préjudiciables à la production végétale en Amérique du sud, Guyane et Guadeloupe. Le terme de fourmis maniocs désignent en réalité plus de 40 espèces, dont 5 sont officiellement présentes en Guyane : *Atta cephalotes*, *Atta sexdens sexdens*, *Acromyrmex octospinosus*, *Acromyrmex landolti* et *Acromyrmex hystrix*. Ces fourmis vivent en mutualisme avec le champignon *Leucoagaricus gongylophorus* (Figure 1) : afin de permettre la croissance de ce dernier, les fourmis manioc préparent un substrat à partir de feuilles, pétioles et fleurs fraîchement coupées ; le champignon ainsi cultivé sert en retour de source nutritionnelle principale pour les larves et les ouvrières. Cependant, les ressources végétales récoltées peuvent varier en fonction de l'espèce de fourmi manioc considérée. Alors que certaines espèces ne récoltent que des plantes dicotylédones, ce qui est le cas de *Atta cephalotes*, *Atta sexdens sexdens*, *Acromyrmex octospinosus* et *Acromyrmex hystrix*, d'autres comme *Acromyrmex landolti* se sont spécialisées dans la récolte de plantes monocotylédones. Certaines espèces restent généralistes et récoltent aussi bien des plantes monocotylédones que dicotylédones selon les besoins du champignon.

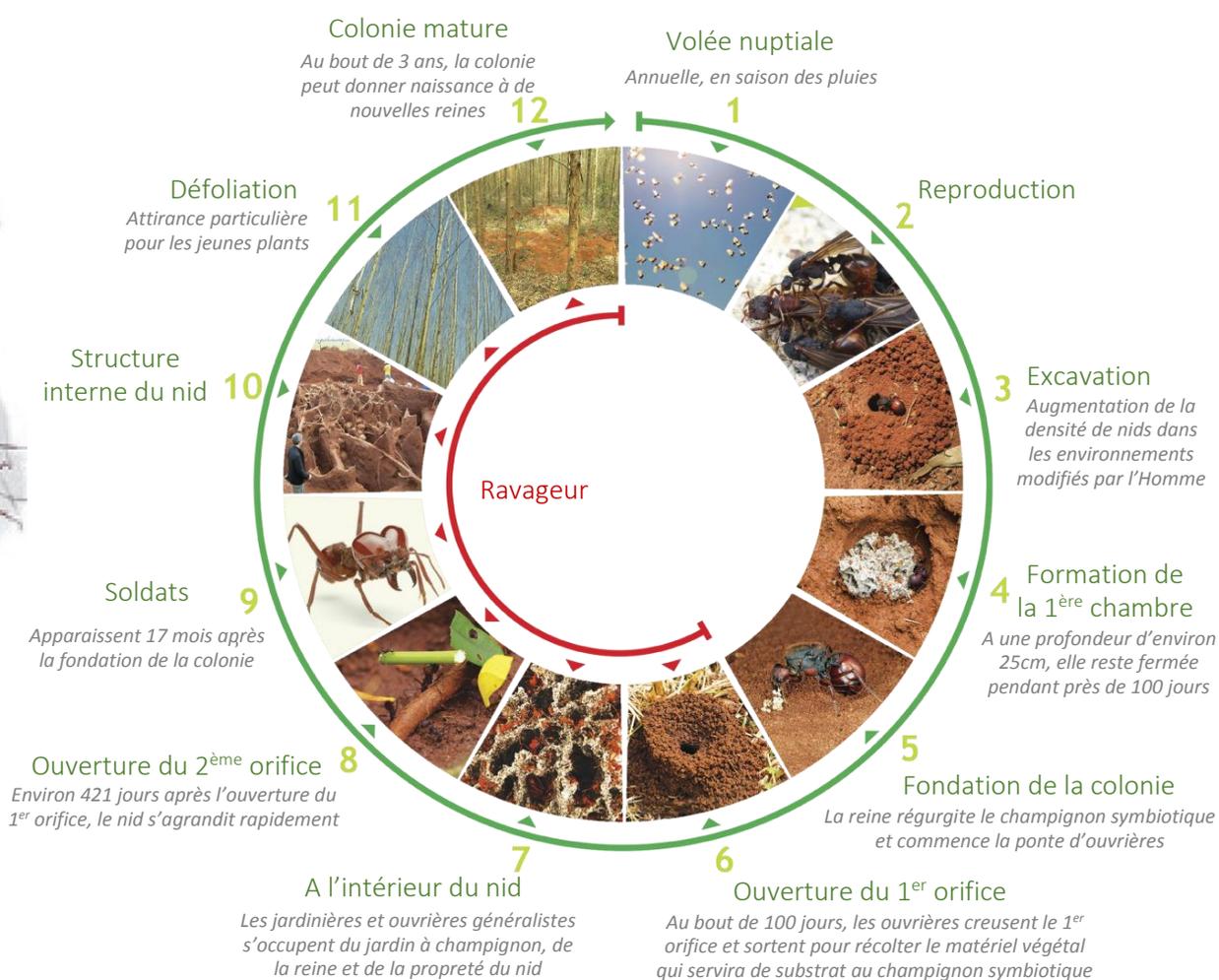


Figure 1. Cycle de vie d'une colonie de fourmi manioc
Source : schéma inspiré de ©Dinaagro (<http://www.dinaagro.com.br>)

Les évolutions réglementaires récentes ayant interdit le recours aux insecticides utilisés dans la lutte contre les fourmis manioc en Guyane, et au regard de la faible promotion des méthodes de lutte alternatives, la plupart des agriculteurs guyanais se voient contraint d'utiliser des produits phytosanitaires non homologués pour protéger leurs cultures de ces ravageurs. Quelques méthodes de lutte alternative sont cependant mises en place par des agriculteurs en Guyane et dans les pays voisins (e.g. utilisation de plantes qui peuvent avoir une action sur la colonie, méthodes de lutte mécaniques). D'autres pistes, sur d'autres substances naturelles et micro-organismes par exemple, sont en cours de recherche-développement (Figure 2) ; mais ces méthodes ne sont pas encore clairement éprouvées et se heurtent la plupart du temps à la réglementation européenne.

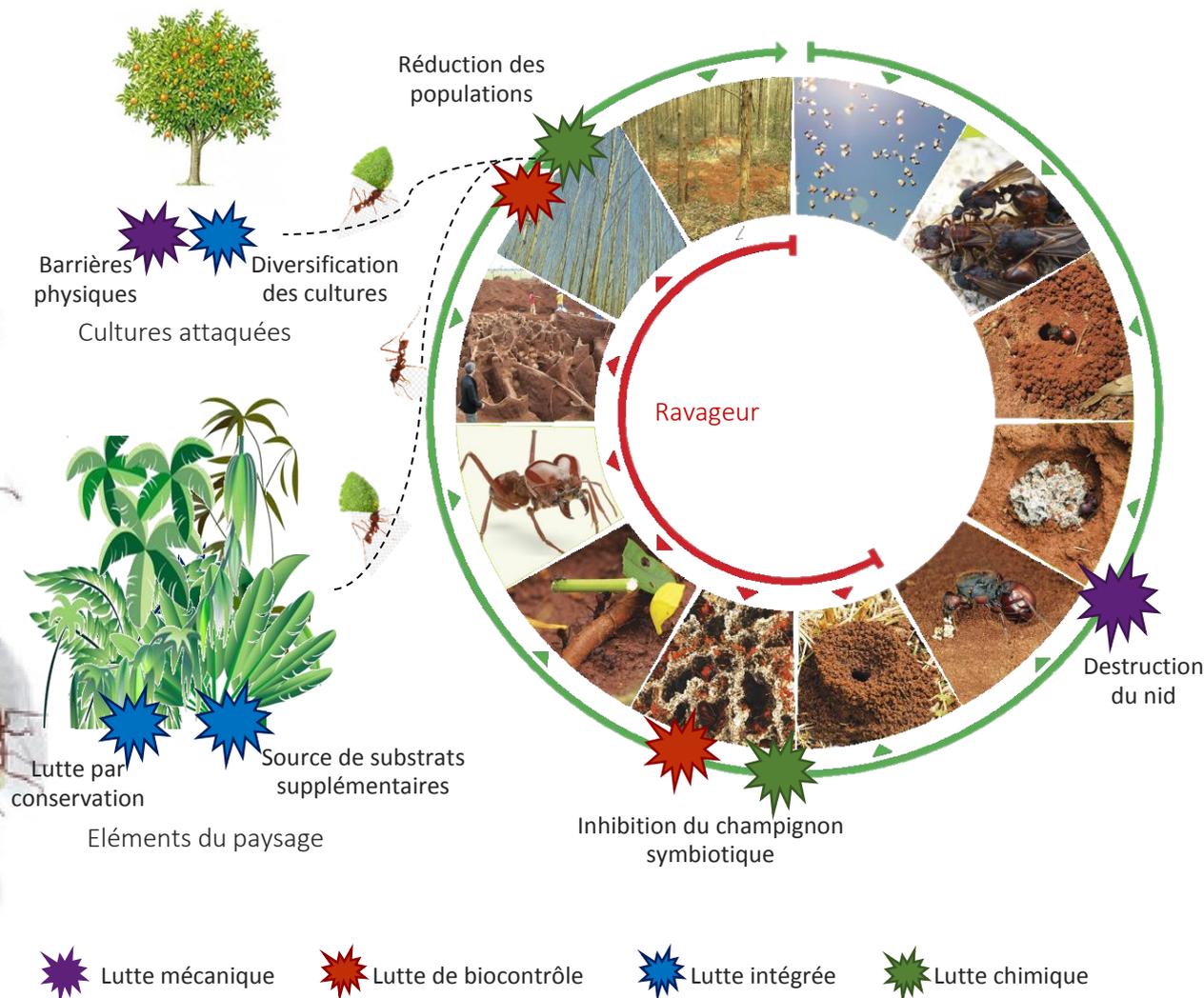


Figure 2. Méthodes de lutte générales contre les fourmis manioc
 Source : schéma de cycle de vie de ©Dinaagro (<http://www.dinagro.com.br>)

OBJECTIFS

Ce projet a pour objectif d'actualiser la base de données bibliographiques sur le sujet ainsi que d'identifier les études traitant de solutions alternatives proposées pour le contrôle ou la régulation des populations de fourmis manioc, afin de réaliser une méta-analyse de ces solutions.



QUESTION DE RECHERCHE

La méta-analyse des méthodes de lutte contre les fourmis-manioc a été orientée par les question suivantes :

- 1) Quelles sont les méthodes de contrôle les **plus efficaces** ;
- 2) Quelles sont les méthodes de contrôle avec la meilleure **mise en œuvre** et présentant le moins de risques pour la **santé de l'opérateur** ;
- 3) Quelles sont les méthodes de contrôle potentiellement utilisables en Guyane dans le respect du **cadre réglementaire** et de **l'environnement**.

Hypothèse de recherche : les méthodes de lutte présenteront différents degrés d'**efficacité de contrôle** mais également différentes **contraintes d'application** et **impacts sur l'environnement et la santé de l'opérateur**. L'évaluation de l'ensemble de ces critères permettra la mise en lumière de **solutions de lutte prometteuses**.

MÉTHODES

La recherche d'articles pour la méta-analyse a été menée sur le moteur de recherche **Google Scholar** à l'aide des mots clés suivants : "Fourmis manioc", "Leaf-cutter ants", "Formigas cortadeiras", "Hormigas cortadoras".

Seuls les articles traitant des **méthodes de lutte** contre des espèces de fourmis manioc présentes sur le **bassin amazonien** ont été gardés pour analyse, soit 166 articles.

30 critères ont été choisis pour l'analyse des articles et une échelle de notation de 1 à 4 a été retenue pour l'évaluation de l'efficacité des différentes méthodes mises en œuvre :

Informations sur l'article	Titre	
	Revue	
	Comité de lecture	Oui Non
	Auteurs	
Informations sur la lutte	Espèce de fourmi	
	Régime alimentaire de la fourmi	Monocotylédones
		Dicotylédones
		Généralistes
	Forme de lutte	Chimique
		Biocontrôle
Mécanique		
Intégrée		
Elément étudié		
Format d'application		
Concentration d'application		
Informations sur l'expérimentation	Pays	
	Région	
	Système	Laboratoire
		Espace naturel
		Système forestier
		Système agricole
		Jardin
Végétation/culture		



Informations sur l'expérimentation		Mesures
		Nombre de répétitions
		Durée d'expérimentation
Résultats de l'expérimentation	Prévention des dégâts	Na Non traité
		0 Pas efficace
		1 Potentiellement efficace mais faible
		2 Efficacité significative mais <50%
		3 Efficacité significative mais conditionnée à des critères associés
	4 Efficacité significative >50%	
	Efficacité de contrôle	Na Non traité
		0 Pas efficace
		1 Potentiellement efficace mais faible
		2 Efficacité significative <50%
3 Efficacité significative mais conditionnée à des critères associés		
4 Efficacité significative >50%		
Temps avant efficacité		
Durée d'efficacité du contrôle		
Durabilité ¹	1 Risque élevé	
	2 Risque modéré	
	3 Risque faible	
	4 Risque nul à quasi-nul	
Opérationnalité	1 Stade de recherche de base	
	2 Stade de développement	
	3 En application dans le monde	
	4 En application en France	
Praticité ²	Na Non pertinent	
	1 Difficile	
	2 Modérée	
	3 Assez facile	
Légalité	0 Non légal	
	1 Produit légalisé mais pour une autre souche/usage	
	2 Légal	
	3 Non pertinent	
Coût	1 Cher (>100€/nid)	
	2 Coût moyen (50-100€/nid)	
	3 Bon marché (<50€/nid)	
	4 Négligeable	
Innocuité pour l'environnement ³	1 Incidence forte	
	2 Incidence modérée	
	3 Incidence faible	
	4 Sans incidence	
Innocuité pour l'agriculteur ⁴	1 Incidence forte	
	2 Incidence modérée	
	3 Incidence faible	
	4 Sans incidence	

¹ Risque que l'efficacité intrinsèque de la méthode diminue de façon significative au cours du temps (e.g. apparition de résistances, contournement des résistances variétales)

² Niveau de difficulté technique et logistique associé à l'exécution du traitement

³ Impact potentiel d'une méthode de lutte sur l'environnement (biodiversité, qualité de l'eau, etc.) lorsque celui-ci est pratiqué dans le respect de la réglementation et des bonnes pratiques

⁴ Impact potentiel d'une méthode de lutte sur la santé de l'applicateur lorsque celui-ci est pratiqué dans le respect de la réglementation et des bonnes pratiques



Au total, 762 expériences de lutte ont été évaluées.

Pour les méthodes de biocontrôle (i.e. traitements à base de micro et macro-organismes, de phéromones ou de substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale), largement majoritaires dans cette étude, deux critères ont été ajoutés pour affiner l'évaluation :

Méthodes de biocontrôle	Nature de l'élément	Champignon
		Bactérie
Famille/Genre		Plante
		Minéral
		Molécule d'origine naturelle

Les critères d'évaluation ont été inspirés par l'Anses⁵ et l'évaluation a été réalisée à titre d'expert.

Après une analyse multivariée de l'ensemble des critères d'évaluation, l'analyse statistique des critères a été réalisée en 3 étapes avec :

- 1) Une première étude générale sur l'**efficacité de prévention de dégâts et de contrôle** des différentes méthodes, ainsi qu'une étude plus poussée sur les méthodes de biocontrôle, largement majoritaires

Objectif : mettre en lumière les méthodes de contrôle les plus efficaces

- 2) Une deuxième étude statistique sur la **praticité des méthodes** étudiées en accord avec l'**innocuité pour l'agriculteur** et leur **coût**, reposant sur les méthodes de lutte ayant déjà développées un moyen d'application et en rapport avec l'efficacité de ces méthodes

Objectif : mettre en lumière les méthodes de contrôle efficaces les plus pratiques et les moins dangereuses à mettre en œuvre

- 3) Une troisième étude se basant sur l'**aspect réglementaire** des méthodes, ne concernant que l'efficacité des méthodes applicable en France. Cette étude sera couplée avec l'**innocuité pour l'environnement**

Objectif : mettre en lumière les méthodes de lutte qui seraient aujourd'hui applicables en Guyane dans le respect des normes actuelles et à venir

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio version 3.6.1. (The R Foundation for Statistical Computing, 2016). La normalité et l'homogénéité des variances ont été vérifiées à l'aide des tests de Shapiro-Wilk et de Bartlett. Sur certaines variables ne respectant pas ces lois, les données ont été transformées (\log_{10}). Les comparaisons de moyennes ont été réalisées à l'aide des tests de Kruskal-wallis avec tests post-hoc de Mann-Whitney pour les tests non paramétriques, et ANOVA avec tests post-hoc de Tuckey pour les tests paramétriques. Pour l'évaluation multicritères, des ANOVA à 2 variables et des ACP (Analyse en Composantes Principales) ont été utilisées à l'aide des packages FactoMineR et factoextra. Les différences sont considérées comme significative au seuil de 5% (p -value inférieure à 0,05) et comme marginalement significative pour les p -values comprise entre 0,05 et 0,06.

⁵ Anses, 2018. Stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier. Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective. Edition scientifique. Date de publication : 10/2018.

Résultats

Analyse en composantes principales

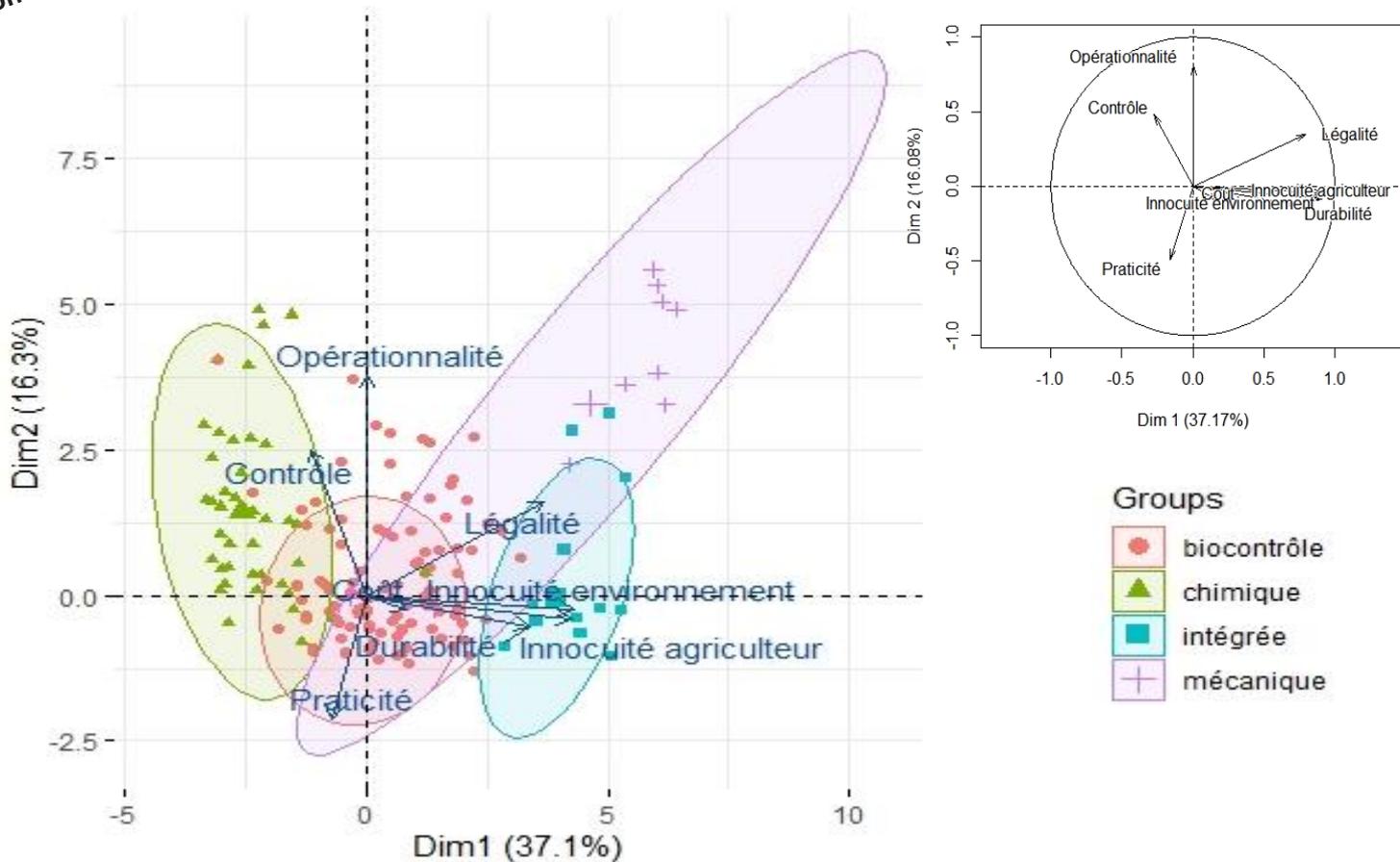
Analyse globale

Selon l'analyse de la contribution des variables, l'analyse en composante principale se décompose en :

Une première dimension (37,1%) expliquée par les variables "Innocuité pour l'environnement", "Innocuité pour l'agriculteur", "Légalité" et "Durabilité"

Une deuxième dimension (16,3%) expliquée par les variables : "Opérationnalité", "Contrôle" et "Praticité"

Axe Sanitaire -
Réglementaire
Axe Fonctionnel



On observe ainsi une différenciation entre les types de lutte selon ces deux axes :

Méthodes de lutte intégrée : En général pérennes mais peu fonctionnelles, elles concernent surtout la lutte par conservation et semblent devoir être couplées à d'autres méthodes de lutte pour optimiser le contrôle.

Méthodes de lutte mécanique : Plutôt pérennes, elles semblent néanmoins présenter une efficacité de contrôle mitigée mais peuvent d'ores et déjà être mises en place.

Méthodes de lutte chimique : En général les plus efficaces et avec des produits développés, la majorité des traitements sont néanmoins peu durables car dangereux pour l'environnement et/ou l'applicateur. Peu de ces méthodes sont d'ailleurs légales.

Méthodes de biocontrôle : Ces méthodes semblent présenter des possibilités de lutte à la fois pérennes et fonctionnelles, avec une certaine praticité de mise en œuvre. Peu de ces méthodes ont néanmoins été testées par l'Anses et la grande majorité reste donc illégales, avec un certain flou sur leurs effets réels à long terme sur l'environnement et la santé de l'applicateur.

Résultats

Efficacité des méthodes de lutte

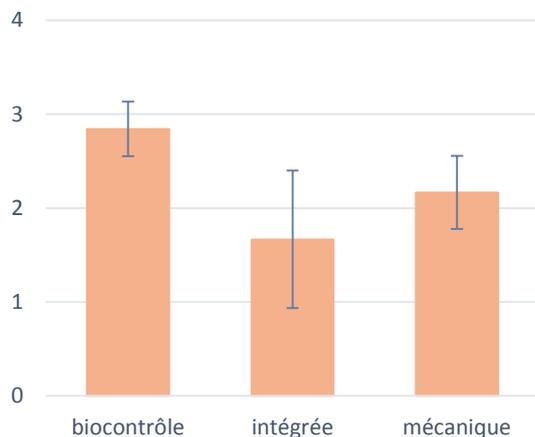


Figure 4. Efficacité préventive des différents types de lutte

Prévention des dégâts

Les méthodes préventives étudiées s'appliquent avant la détection de l'arrivée de fourmis manioc sur la parcelle et ont pour objectif d'empêcher ou de limiter les dégâts infligés par ces dernières.

Ici, l'efficacité préventive des méthodes de lutte ne varie pas significativement entre elles. Les méthodes de biocontrôle (i.e. effet insectifuge d'éléments naturels) et mécaniques (i.e. barrières physiques) sont en moyenne significativement efficaces mais nécessitent des mesures complémentaires.

Les méthodes intégrées concernent la diversification de cultures (i.e. l'augmentation d'espèces végétales différentes sur et à proximité de la parcelle) et la lutte par conservation de prédateurs et parasitoïdes des fourmis manioc.

Parmi les méthodes de biocontrôle analysées, on retrouve :

- 1 méthode concernant un champignon (i.e. *Trichoderma* sp.)
- 1 méthode concernant une molécule (i.e. d-limonène)
- 17 méthodes concernant des extraits de plantes

} Effet répulsif efficace

Parmi les familles de plantes, les extraits de Convolvulaceae (i.g. *Ipomoea batatas*), de Piperaceae (i.e. *Piper cenocladum*) et de Solanaceae (i.e. *Nicotiana tabacum*) ont un effet répulsif efficace, mais qui n'a été évalué que par une étude par espèce.

Les Euphorbiaceae constituent une famille à effet insectifuge prometteur, notamment pour l'espèce *Ricinus communis* et *Jatropha curcas* dans une moindre mesure. *Nerium oleander* (Apocynaceae) et *Rollinia mucosa* (Annonaceae) ont également montré un effet répulsif marqué. En revanche, les Meliaceae ont des résultats mitigés avec néanmoins un effet insectifuge de *Trichilia pallida*.

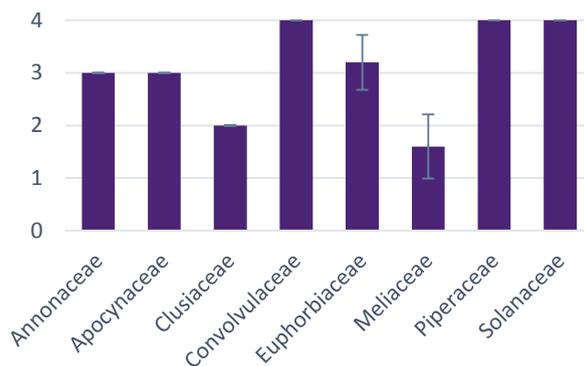


Figure 5. Efficacité préventive des différentes familles de plantes

Méthodes de contrôle

Le régime alimentaire influant significativement sur l'efficacité de contrôle des fourmis ($p=0,02$), les tests ont été réalisés sur les 3 groupes distincts : "Dicotylédones", "Monocotylédones" et "Généralistes".

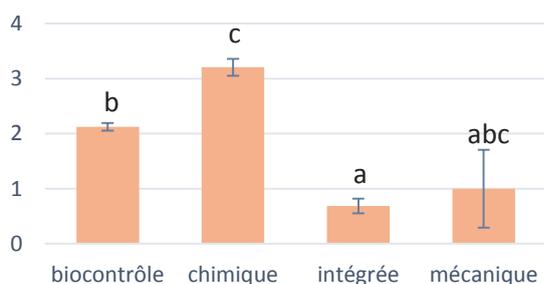


Figure 6. Efficacité de contrôle des différents types de lutte sur les fourmis "dicotylédones"

Groupe des "dicotylédones"

Les méthodes de contrôle étudiées sont à appliquer directement sur le nid de fourmis manioc ou sur les ouvrières afin d'entraîner une mortalité de ces dernières et/ou du champignon symbiote *Leucoagaricus gongylophorus*.

Résultats

Efficacité des méthodes de lutte

Les méthodes de lutte chimique étudiées sont les plus efficaces et sont significativement ($p=3,0 \cdot 10^{-6}$) plus efficaces pour le contrôle des fourmis manioc que les méthodes de biocontrôle. Les méthodes de lutte intégrée sont en moyenne significativement ($p=8,3 \cdot 10^{-10}$) moins efficaces que les autres méthodes de lutte, à l'exception des méthodes mécaniques (i.e. destruction du nid). Ces dernières ne varient pas statistiquement des autres méthodes du fait de leur faible représentation ($n=2$). Les méthodes de biocontrôle permettent en moyenne un contrôle significativement efficace.

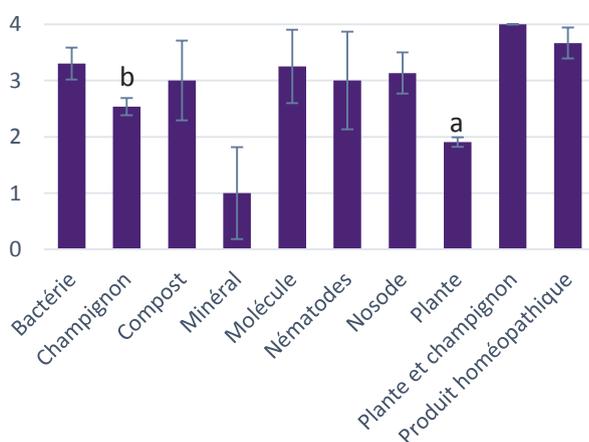


Figure 7. Efficacité de contrôle des différents types de biocontrôle sur les fourmis "dicotylédones"

Les méthodes de biocontrôle étudiées utilisant des champignons sont significativement plus efficaces ($p=0,02$) pour le contrôle des fourmis manioc que les méthodes à base d'extraits de plantes. Aucune différence significative n'est observée entre les autres méthodes de biocontrôle.

Les méthodes de lutte à base de bactéries (i.e. genre *Bacillus*, *Photobacterium*, *Pseudomonas* et *Serratia*) se sont toutes révélées efficaces. Les méthodes appliquant du compost, certaines molécules (i.e. roténone, acide pyroligneux, caféine) ou certaines espèces de nématodes (i.e. *Heterorhabditidae* et *Steinernematidae* dans une moindre mesure) ont également présenté une moyenne de contrôle satisfaisante.

Le produit homéopathe testé se nomme "Belladonna" et a montré une efficacité de contrôle significative dans l'ensemble des études. Ces mêmes études traitent également de nosodes⁶ et démontrent un contrôle efficace des fourmis manioc à concentration 30CH⁷. L'étude mélangeant l'utilisation d'un champignon et d'extraits de plantes (i.e. *Metarhizium* et *Meliaceae*) a présenté une grande efficacité de contrôle, mais sans répétition d'études. Les solutions à base de minéraux (i.e. huile minérale, terre de Diatomée) n'ont en moyenne pas été efficaces dans les études analysées.

Une différence significative ($p=0,003$) d'efficacité de contrôle est observée parmi les méthodes de biocontrôle à base de plantes, ainsi qu'entre les méthodes de biocontrôle à base de champignons ($p=0,003$). Les familles et espèces de plantes et de champignons les plus efficaces (efficacité moyenne de contrôle >3) sont présentés dans les tableaux ci-dessous (Tableau 1 et Tableau 2). Les espèces évaluées plus de trois fois sont représentées en rouge.

Tableau 1. Espèces de champignons évalués comme efficaces pour le contrôle des fourmis manioc à régime "dicotylédones"

Famille	Espèce	Famille	Espèce
Clavicipitaceae	<i>Metarhizium sp.</i>	Hypocreaceae	<i>Trichoderma sp.</i>
Cordycipitaceae	<i>Beauveria bassiana</i>		<i>Trichoderma virens</i>
	<i>Beauveria brongniartii</i>	Syncephalastraceae	<i>Syncephalastrum sp.</i>
Entomophthoraceae	<i>Entomophthora coronata</i>		<i>Aspergillus sp.</i>
Hypocreaceae	<i>Escovopsis weberi</i>	Trichocomaceae	<i>Aspergillus flavus</i>
Ophiocordycipitaceae	<i>Purpureocillium lilacinum</i>		<i>Isaria farinosa</i>

⁶ Désignent ici des solutions hautement diluées d'espèces de fourmis manioc ou de *L. gongylophorus* macérés ou broyés

⁷ Dilution de 10⁻⁶⁰ de la teinture mère

Résultats

Efficacité des méthodes de lutte

Tableau 2. Espèces de plantes dont les extraits ont été évalués avec un contrôle efficace sur les fourmis manioc "dicotylédones"

Famille	Espèce	Famille	Espèce
Anacardiaceae	<i>Anacardium humile</i>	Lamiaceae	<i>Pogostemon cablin</i>
	<i>Myrcodruon urundeuva</i>	Melastomataceae	<i>Macairea urundeuva</i>
	<i>Schinus terebinthifolius</i>		<i>Cedrela fissilis</i>
	<i>Tapirira guianensis</i>	Meliaceae	<i>Cipadessa fruticosa</i>
Annonaceae	<i>Annona mucosa</i>		<i>Trichilia ramalhoi</i>
	<i>Annona reticulata</i>	Myristicaceae	<i>Virola sebifera</i>
	<i>Annona sylvatica</i>	Picramniaceae	<i>Picramnia teapensis</i>
Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i>	Rubiaceae	<i>Psychotria hastisepala</i>
	<i>Spilanthes oleracea</i>		<i>Adiscanthus fusciflorus</i>
	<i>Tithonia diversifolia</i>		<i>Citrus limonia</i>
Bignoniaceae	<i>Tabebuia vellosi</i>	Rutaceae	<i>Helietta puberula</i>
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>		<i>Spiranthera odoratissima</i>
Clusiaceae	<i>Mammea americana</i>	Salicaceae	<i>Ryania speciosa</i>
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia cotinifolia</i>	Sapindaceae	<i>Magonia pubescens</i>
	<i>Manihot esculenta</i>		<i>Capsicum baccatum</i>
Fabaceae	<i>Amburana acreana</i>	Solanaceae	<i>Capsicum frutescens</i>
	<i>Andira paniculata</i>		<i>Lycopersicon esculentum</i>
	<i>Ateleia glazioviana</i>	Thuidiaceae	<i>Rauia</i> sp.
	<i>Canavalia ensiformis</i>		
	<i>Senna alata</i>		
	<i>Tephrosia candida</i>		

Les espèces *Ricinus communis*, *Sesamum indicum* et *Azadirachta indica* ont été testées dans plusieurs études mais compte tenu des résultats mitigés obtenus, ils ne sont pas présentés dans ce tableau. Parfois non efficaces, ils présentent cependant une grande efficacité de contrôle pour certaines formes d'application.

Ainsi, *Azadirachta indica* n'est pas efficace en application par contact (e.g. nébulisation, aspersion), mais entraîne une mortalité des ouvrières si ingérée. Elle a ainsi été évaluée comme efficace contre les ouvrières *Acromyrmex rugosus* et *Acromyrmex* sp. sous forme d'appât (à base d'huile ou d'extraits de feuilles, branches et graines) mais les appâts à base d'huile sont inefficaces contre les colonies d'*Atta sexdens rubropilosa*. Les extraits aqueux possèdent néanmoins un effet antifongique pouvant potentiellement impacter la colonie.

De même, *Ricinus communis* et surtout efficace si ingéré. Parmi les études consultées, les extraits de feuilles n'ont entraîné qu'une faible mortalité des ouvrières *Acromyrmex lundii* alors que l'application d'huile ou compost à l'alimentation a montré une grande efficacité contre les ouvrières *Atta sexdens rubropilosa*. Son effet insectifuge (cf. Prévention des dégâts) limite son ingestion volontaire par les fourmis manioc.

Sesamum indicum est un fongicide efficace, notamment les extraits chimiques à partir de feuilles. Les effets toxiques envers les ouvrières semblent néanmoins être limités ; seuls les extraits dichlorométhane de graines broyées et l'ingestion de l'huile brute ont démontrés une efficacité contre les ouvrières *Atta sexdens rubropilosa*. De fait, les tests d'appâts étudiés n'ont permis en moyenne qu'un faible contrôle des colonies *Atta sexdens rubropilosa*.

Résultats

Efficacité des méthodes de lutte

Tableau 3. Efficacité de contrôle des méthodes de lutte sur les fourmis "monocotylédones"

Type de lutte	Elément étudié	Contrôle
Chimique	Molécule β -eudesmol synthétique	2
Biocontrôle	Fongus <i>Beauveria bassiana</i>	4
Biocontrôle	Fongus <i>Metarhizium anisopliae</i>	4
Biocontrôle	Molécule Azadirachtine	4
Biocontrôle	Molécule Roténone	4
Biocontrôle	Molécules Roténone et pyréthrine	4
Biocontrôle	Plante <i>Pennisetum purpureum</i>	0
Biocontrôle	Plante <i>Hyparrhenia rufa</i>	0
Biocontrôle	Plante <i>Brachiaria brizantha</i>	4
Biocontrôle	Plante <i>Saccharum officinarum</i>	4
Biocontrôle	Plante <i>Paspalum</i> spp.	0
Intégrée	Parasitoïde <i>Mimopria</i> sp.	1

Groupe des "monocotylédones"

Seules 12 méthodes de lutte concernent dans cette étude des espèces de fourmis se nourrissant à base de plantes monocotylédones.

Parmi ces méthodes, les méthodes de biocontrôle à base de fungus (i.e. *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae*), de molécules d'origine naturelle (i.e. azadirachtine, roténone et pyréthrine) ainsi qu'à base d'extraits de certaines Poaceae (i.e. *Brachiaria brizantha* et *Saccharum officinarum*) ont démontré un contrôle efficace sur ces fourmis.

Groupe des "généralistes"

Pour les fourmis récoltant à la fois de plantes monocotylédones et dicotylédones, les méthodes de contrôle chimique et de biocontrôle sont en moyenne significativement efficaces, contrairement aux méthodes de lutte intégrée dont la moyenne est significativement différente ($p=3,7*10^{-5}$).

Parmi les méthodes chimiques, les produits à base de chlorpyrifos et sulfuramide sont très efficaces.

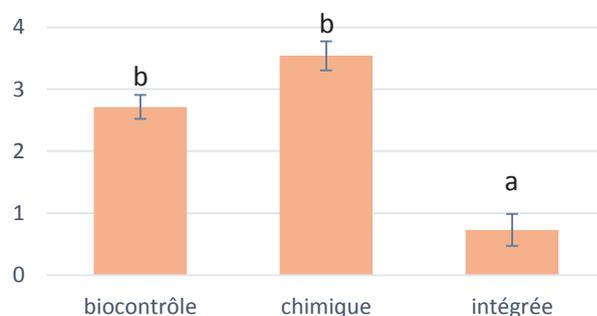


Figure 8. Efficacité de contrôle des différents types de lutte sur les fourmis "généralistes"

Aucune différence significative n'est observable entre les types de biocontrôle.

On peut néanmoins remarquer que la méthode utilisant une bactérie (i.e. *Photorhabdus temperata*) ainsi que celle à base de fungus et extraits de plante (i.e. *Metarhizium anisopliae* et *Azadirachta indica*) ont présenté un contrôle très efficace.

Les méthodes à base de minéral (i.e. terre de Diatomée) et produit homéopathique (i.e. "Belladonna") ainsi que les nosodes de fourmis et *L. gongylophorus* ont également produit des résultats intéressants.

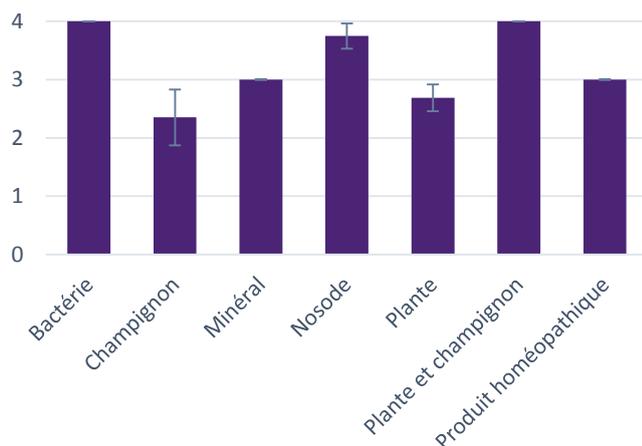


Figure 9. Efficacité de contrôle des différents types de biocontrôle sur les fourmis "dicotylédones"

Résultats

Efficacité des méthodes de lutte

Bien que les résultats soient diversifiés pour le biocontrôle des fourmis "généralistes" par des méthodes à base de fungus ou d'extraits de plantes, aucune différence significative de contrôle n'a été observée entre les éléments étudiés. Les fungus et plantes présentant un contrôle efficace (efficacité de contrôle moyenne >3) sont néanmoins cités ci-dessous (Tableau 4 et 5).

Tableau 4. Espèces de fungus évalués avec un contrôle efficace sur les fourmis manioc "généralistes"

Famille	Espèce
Hypocreaceae	<i>Trichoderma harzianum</i>
	<i>Trichoderma koningiopsis</i>
Trichocomaceae	<i>Penicillium</i> sp.
	<i>Aspergillus flavus</i>

Les fungus *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* ont été testés sur plusieurs études mais ont produit des résultats mitigés, permettant parfois un contrôle très efficace de la colonie, ou, à l'opposé, un contrôle peu efficace. Dans les deux cas, la pulvérisation d'une solution du fungus appliquée au nid s'est révélée efficace pour le contrôle de la colonie.

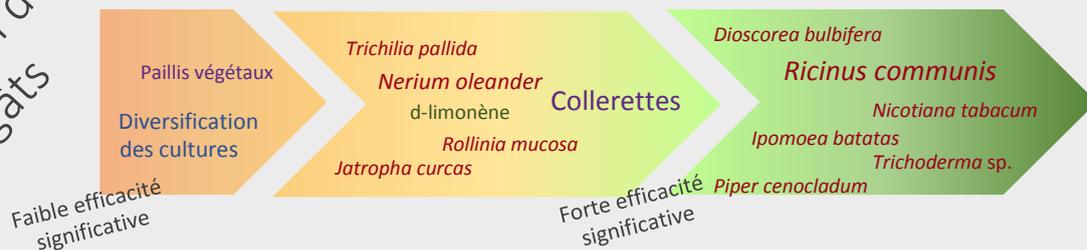
Tableau 5. Espèces de plantes dont les extraits ont été évalués avec un contrôle efficace sur les fourmis manioc "généralistes"

Famille	Espèce	Famille	Espèce
Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i>	Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>
	<i>Ageratum conyzoides</i>	Pedaliaceae	<i>Sesamum indicum</i>
Asteraceae	<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	Piperaceae	<i>Piper aduncum</i>
	<i>Spilanthus oleracea</i>	Primulaceae	<i>Clavija weberbaueri</i>
Euphorbiaceae	<i>Croton urucana</i>	Rutaceae	<i>Esenbeckia pumila</i>
	<i>Manihot esculenta</i>		<i>Ruta graveolens</i>
Fabaceae	<i>Canavalia ensiformis</i>		<i>Banara guianensis</i>
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i>	Salicaceae	<i>Mayna parvifolia</i>
Monimiaceae	<i>Siparuna amazonica</i>		<i>Ryania speciosa</i>

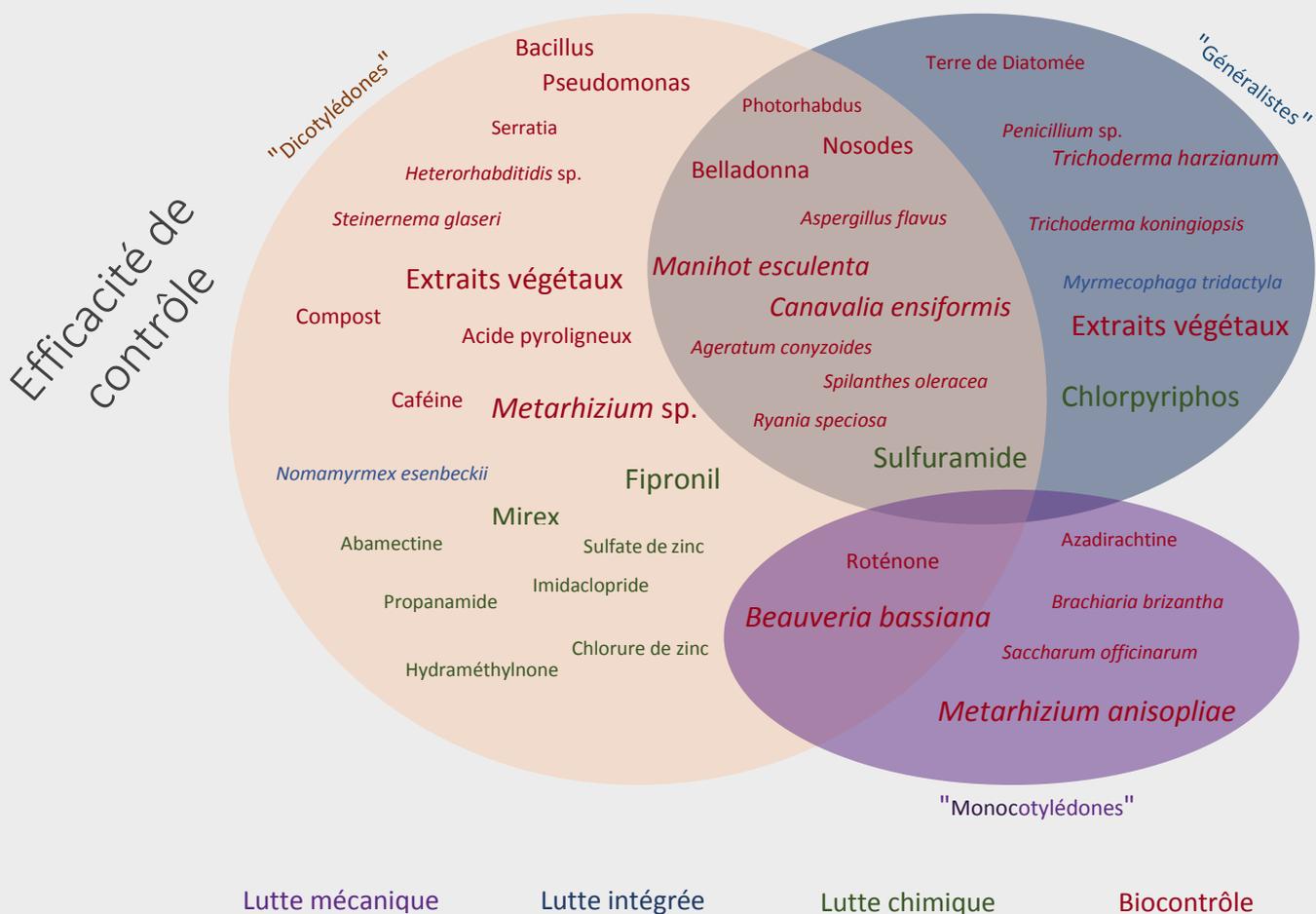
Résultats

Efficacité des méthodes de lutte

Prévention des dégâts



Présentation des méthodes évaluées efficaces



Résultats

Praticité des méthodes de lutte

Formats d'application des méthodes préventives

Deux type de méthodes de prévention des dégâts ont été développées dans les études consultées : la lutte intégrée via la diversification des cultures, et plusieurs méthodes mécaniques (i.e. barrières physiques, commerciales ou artisanales, à appliquer autour de tronc de l'arbre à protéger).

Tableau 6. Evaluation de la mise en œuvre des méthodes préventives

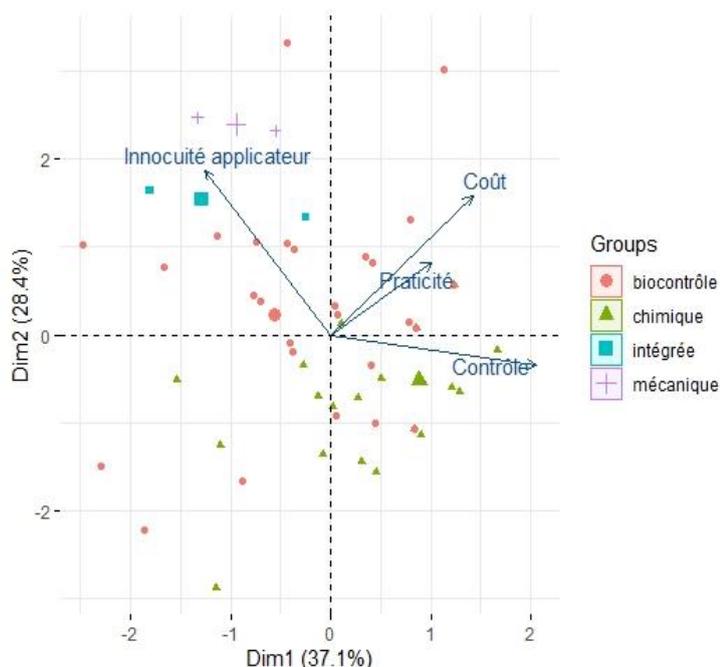
Lutte	Format d'application	Coût	Praticité	Santé	Efficacité	
Intégrée	Diversification des cultures	Na	Na	4	2	
Mécanique	Barrières physiques	Collerettes	3	3	4	3
		Cylindres	3	3	4	3
		Paillis	4	3	4	2
		Gel adhésif	3	3	4	0,5

} Efficacité augmente si combinés

Les méthodes évaluées sont peu coûteuses et ne représentent pas de risque pour la santé de l'opérateur. Les collerettes et cylindres notamment présentent une bonne efficacité pour la limitation des dégâts. La diversification des cultures et la mise en place de paillis végétaux aux pieds des arbres sont également significativement efficaces mais nécessitent des mesures complémentaires. L'addition de collerettes, cylindres et paillis a démontré une forte limitation des dégâts infligés par les fourmis manioc.

Formats d'application des méthodes de contrôle

L'analyse à variables multiples tenant compte de l'efficacité de contrôle et cette dernière dépendant du régime alimentaire de l'espèce considérée, les analyses statistiques ont été réalisées par type de régime.



Groupe des "dicotylédones"

L'Analyse en Composantes Principales ici étudiée indique une corrélation entre le coût de traitement et sa facilité de mise en œuvre, et place les méthodes de lutte selon 2 axes :

- La dimension 1 indique l'efficacité de contrôle du traitement
- La dimension 2 dépend des autres variables et indique la bonne mise en œuvre du traitement

Il y a effectivement une corrélation positive entre la praticité et le coût ($p=0,02$) : plus un traitement est difficile à mettre en place, plus son coût aura tendance à augmenter.

On observe par ailleurs une différenciation de l'analyse multivariée en fonction des types de lutte.

Résultats

Praticité des méthodes de lutte

Méthodes de lutte intégrée : Elles concernent la diversification des cultures. Leur coût et praticité n'ont pas pu être évalué mais elles représentent une solution durable sans risque pour la santé de l'applicateur malgré une efficacité limitée nécessitant l'application de mesures complémentaires.

Méthodes de lutte mécanique : Il s'agit de la destruction manuelle des nids. L'efficacité de contrôle est également limitée, mais cette méthode ne présente pas de risque pour la santé de l'applicateur et est facilement applicable.

Méthodes de lutte chimique : Présentant en général la plus grande efficacité de contrôle, elles sont cependant parfois difficiles à mettre en œuvre et coûteuses, notamment pour les méthodes appliquées par thermo-nébulisation/fumigation nécessitant du matériel spécifique. Elles représentent également un risque pour la santé de l'applicateur.

Méthodes de biocontrôle : Ce groupe présente une mise en œuvre très variable selon les méthodes considérées. On y retrouve cependant quelques méthodes apparemment prometteuses, alliant efficacité de contrôle et bonne mise en œuvre.

Méthodes de contrôle du groupe des "dicotylédones"

Les méthodes appliquées au groupe "dicotylédones" alliant efficacité et bonne mise en œuvre sont toutes de type biocontrôle (Tableau 7).

Tableau 7. Méthodes de contrôle des fourmis "dicotylédones" évaluées comme efficaces avec bonne mise en œuvre

Méthode de mise en oeuvre	Élément de lutte	Forme d'application	Coût	Praticité	Santé	Contrôle
Appât	<i>Tephrosia candida</i> et <i>Psychotria marcgravii</i>	Appât Bioisca®	3	4	3	4
	<i>Beauveria bassiana</i>	Appât Bibisav-2®	Na	4	3	4
	<i>Ateleia glazioviana</i>	Appât Citromax®	Na	4	3	4
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Appât artisanal	Na	4	3	4
	<i>Trichoderma harzianum</i>	Appât artisanal	Na	4	3	3
Recouvrement du nid	<i>Tithonia diversifolia</i>	Paillage de tiges et feuilles	4	4	4	4
	Compost ⁸	Meilleure efficacité si déblaiement de la surface	3	3	3	3
Aspersion du nid	<i>Beauveria bassiana</i>	Solution aqueuse	2	3	3	4
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Solution aqueuse	2	3	3	4
	<i>Trichoderma lignorum</i>	Solution aqueuse	2	3	3	4

Méthodes de contrôle du groupe des "monocotylédones"

Les méthodes efficaces appliquées aux fourmis à régime monocotylédones sont également des méthodes de biocontrôle (Tableau 8).

Tableau 8. Méthodes de contrôle des fourmis "monocotylédones" évaluées comme efficaces avec bonne mise en œuvre

Méthode de mise en oeuvre	Élément de lutte	Forme d'application	Coût	Praticité	Santé	Contrôle
Pulvérisation sur le nid	<i>Beauveria bassiana</i>	Bovenat PM	Na	3	2	4
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Metanat PM	Na	3	2	4

⁸ A base de déchets verts (i.g. litière, désherbage), de fumier de volaille, mélasse, levures et chaux

Résultats

Praticité des méthodes de lutte

Du fait de l'application par pulvérisation, ces méthodes représentent un risque modéré pour la santé de l'applicateur et ne sont donc pas recommandées.

Méthodes de contrôle du groupe des "généralistes"

Pour le groupe des espèces "généralistes", seules certaines méthodes de biocontrôle ont montré un contrôle efficace quand les conditions de mise en œuvre sont satisfaisantes (Tableau 9).

Tableau 9. Méthodes de contrôle des fourmis "généralistes" évaluées comme efficaces avec bonne mise en œuvre

Méthode de mise en oeuvre	Élément de lutte	Forme d'application	Coût	Praticité	Santé	Contrôle
Aspersion des orifices du nid	<i>Canavalia ensiformis</i>	Solution aqueuse	4	3	3	3
	<i>Manihot esculenta</i>	Jus	3	3	3	4
	Terre de Diatomée	Poudre	3	3	3	3
Recouvrement des orifices du nid	<i>Canavalia ensiformis</i>	Feuilles découpées	4	4	3	4

Prévention des dégâts



Exemple de dispositif artisanal

Barrières physiques

Collerettes

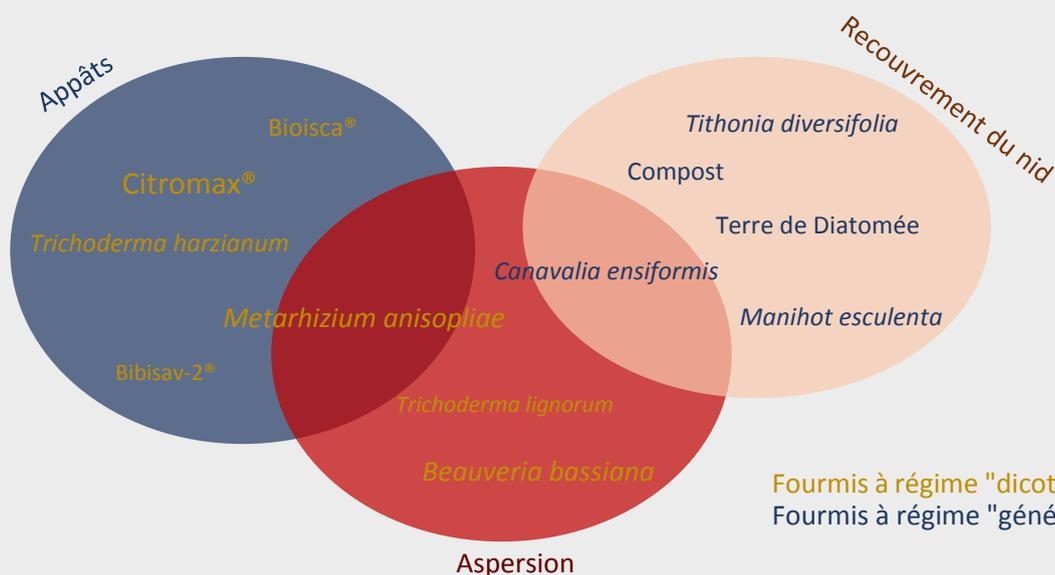
Cylindres

Paillis



Cylindre commercial Verdeal

Efficacité de contrôle



Fourmis à régime "dicotylédone"
Fourmis à régime "généraliste"

Résultats

Aspect légal des méthodes de lutte

Aspect légal des méthodes de prévention des dégâts

Les méthodes préventives évaluées pour leur mise en œuvre (cf. Praticité des méthodes de lutte) sont toutes légales et applicables en France.

Tableau 10. Méthodes préventives applicables en Guyane

Lutte	Format d'application	Légal	Environnement	Efficacité	
Intégrée	Diversification des cultures	oui	4	2	
Mécanique	Barrières physiques	Collerettes	oui	4	3
		Cylindres	oui	4	3
		Paillis	oui	4	2
		Gel adhésif	oui	4	0,5

} Efficacité augmente si combinés

Ces méthodes ne représentant pas de danger pour l'environnement, elles ne craignent pas une interdiction future. En revanche, leur efficacité peut être limitée dans le temps du fait du changement mensuel nécessaire des barrières ; les fourmis manioc peuvent également s'adapter au système si nécessaire. C'est pourquoi il est conseillé de combiner les différentes méthodes préventives.

Aspect légal des méthodes de contrôle

On retrouve parmi les méthodes déjà applicables et légales en France les méthodes de lutte par conservation et mécaniques ainsi qu'une méthode de biocontrôle (Tableau 11).

Tableau 11. Méthodes de contrôle des fourmis manioc applicables en Guyane

Lutte	Format d'application	Élément étudié	Nom commun	Régime	Environnement	Efficacité
Intégrée	Parasitisme naturel	Phoridae sp.	Phoride	Dicotylédones	4	1
		<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Tamanoir	Généralistes	4	3
	Prédation naturelle	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Tamandua	Dicotylédones	4	1
		<i>Nomamyrmex esenbeckii</i>	Fourmi légionnaire	Dicotylédones	4	4
Mécanique	Destruction manuelle du nid	Na	Na	Dicotylédones	4	1
Biocontrôle	Poudre	Terre de Diatomée	Na	Généralistes	3	3
				Dicotylédones	3	0

Parmi les méthodes de lutte par conservation, seule la prédation par *Nomamyrmex esenbeckii* a été évaluée comme efficace. Ces fourmis étant nomades et agressives, cette solution semble cependant difficilement applicable en-dehors d'un contexte de prédation naturelle. Les tamanoirs et tamandua sont également des prédateurs naturels des fourmis manioc, mais ces dernières ayant développés des moyens de défense efficaces, la durée de prédation d'un nid est courte et l'impact sur la colonie s'en retrouve limité. De même, les fourmis manioc ont développés des mécanismes de défenses contre les parasitoïdes de la famille de *Phoridae* ; les taux de succès des attaques et de parasitisme des ouvrières est donc faible.

La méthode de destruction manuelle du nid apparaît comme plus évidente à mettre en place mais avec un succès mitigé et limité dans le temps. La terre de Diatomée obtient quant-à-elle un bon contrôle contre les généralistes, mais s'est révélée inefficace contre des fourmis du groupe "dicotylédones".

Résultats

Aspect légal des méthodes de lutte

Certaines méthodes de biocontrôle ont été évaluées comme potentiellement homologables par la législation française (Tableau 12). Sont considérées dans ces méthodes les espèces faisant parti de liste nationale de biocontrôle⁹ mais dont la souche évaluée est différente.

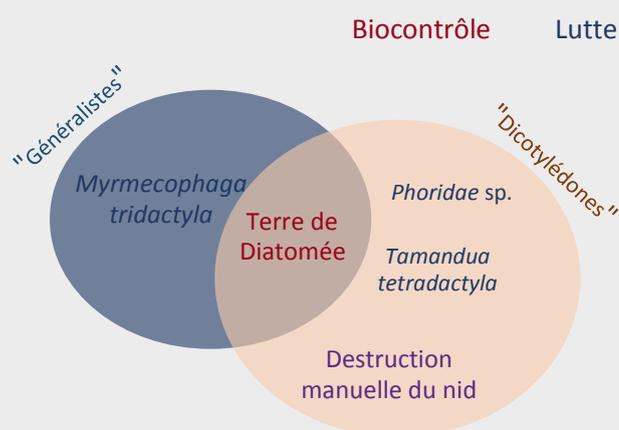
Tableau 12. Méthodes de biocontrôle potentiellement approuvable par la législation française

Élément étudié	Format d'application	Régime	Légalité	Environnement	Efficacité
<i>Beauveria bassiana</i>	Appât	Dicotylédones	1	3	4
		Dicotylédones	1	3	4
	Pulvérisation	Monocotylédones	1	3	4
		Généralistes	1	3	4
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Appât	Dicotylédones	1	3	4
		Dicotylédones	1	3	4
	Pulvérisation	Monocotylédones	1	3	4
		Généralistes	1	3	4
<i>Trichoderma harzianum</i>	Appât	Dicotylédones	1	3	3
	Pulvérisation	Généralistes	1	3	4
<i>Trichoderma viride</i>	Appât	Dicotylédones	1	3	2

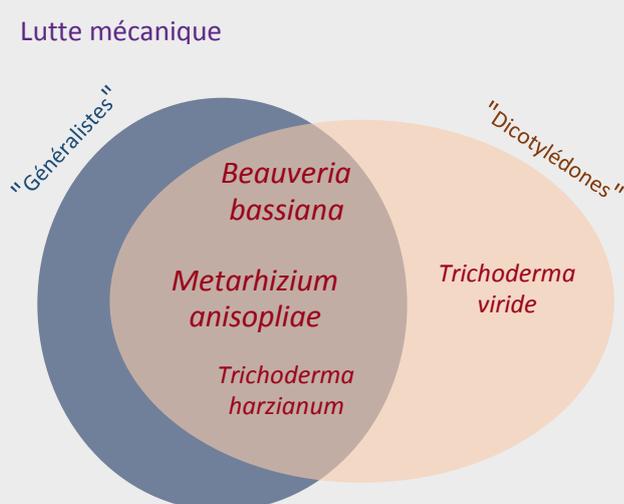
Parmi ces méthodes, les champignons *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* ainsi que *Trichoderma harzianum* dans une moindre mesure apparaissent comme prometteurs sous forme d'appât ou pulvérisés, avec un contrôle très efficace des fourmis quel que soit leur régime.

Méthodes légales

Préventif : barrières physiques, diversification des cultures



Méthodes potentiellement homologables



⁹ Liste disponible sur : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/supima/2d320671-26c8-4970-abce-4e01755eae28>

Conclusion

Pistes pour la valorisation de méthodes de lutte en Guyane

Méthodes de prévention des dégâts

Les **barrières physiques** (i.e. collerettes, cylindres, paillis) ainsi que la **diversification des cultures** représentent des méthodes applicables en Guyane pour prévenir des dégâts infligés par les fourmis manioc.

L'efficacité des barrières physiques augmente avec le nombre de barrières mise en place, ces dernières présentant l'avantage de pouvoir être fabriquées de manière artisanale. Il existe également des barrières commerciales (e.g. Formifita, Verdeal, Minhobox) (Figure 10), mais n'étant pas fabriquées en France, la question de l'acheminement des produits, depuis le Brésil notamment, doit se poser.



Barrière commerciale Formifita



©Verdeal



©Minhobox

Cylindre commercial Verdeal

Figure 11. Exemples de barrières commerciales pour limiter les dégâts des fourmis manioc

La diversification des cultures quant-à-elle est rarement efficace en tant que telle mais permet de répartir et limiter les dégâts en cas d'attaque des fourmis manioc.

Certaines méthodes de biocontrôle ont révélé un effet répulsif intéressant, notamment ***Ricinus communis***, ***Nicotiana tabacum***, ***Ipomoea batatas***, ***Piper cenocladum*** et ***Dioscorea bubifera***. Les plantes ***Nerium oleander***, ***Rollinia mucosa***, ***Jatropha curcas*** et ***Trichilia pallida*** ont également un effet répulsif notable sur les fourmis manioc. Cependant, la toxicité de ces plantes envers les humains et l'environnement n'a pas été étudié par l'Anses, il n'est donc pas légal pour le moment d'utiliser des préparations de ces plantes en tant qu'insectifuge. De plus, à l'exception de ***Ricinus communis***, ces plantes ont peu été étudiées pour un tel usage et méritent une plus grande répétitions d'études pour confirmer leur efficacité.

Certaines espèces du fungus ***Trichoderma sp.*** possèdent un effet insectifuge intéressant et certaines souches font parties de la liste de biocontrôle nationale, mais pour d'autres usages, l'usage "Fourmi phytophage" n'existant pas dans la législation française.

Méthodes applicables : **Barrières physiques** et **diversification des cultures**

Éléments intéressants : ***Ricinus communis*** et ***Trichoderma sp.***

Points de blocage : Non reconnaissance de l'usage "Fourmi phytophage"

Toxicité des plantes potentiellement intéressantes non étudiées par l'Anses

Conclusion

Pistes pour la valorisation de méthodes de lutte en Guyane

Méthodes de contrôle

Parmi les méthodes applicables à ce jour en Guyane, on peut noter la **terre de Diatomée**, la **destruction manuelle du nid** ainsi que les **méthodes de lutte par conservation**, notamment pour les *Phoridae*, *Myrmecophaga* et *Nomamyrmex esenbeckii*. Certaines espèces de ces phorides, les tamanduas, tamanoirs et fourmis légionnaires sont naturellement présents en Guyane et leur conservation passe par la sauvegarde de fragments de forêt près des parcelles. Cependant, les fourmis manioc ont développés des moyens de défense envers ces prédateurs et parasitoïdes naturel, limitant leur efficacité en tant qu'agents de contrôle.

La terre de Diatomée est un insecticide minéral faisant partie de la liste nationale de biocontrôle, mais a peu été étudiée sur fourmis manioc ; cet insecticide présente des résultats mitigés, avec une étude présentant une bonne efficacité de contrôle sur fourmis à régime alimentaire "généraliste" et une étude indiquant sa non efficacité pour le contrôle d'espèces se nourrissant de plantes dicotylédones. Un approfondissement serait donc requis pour confirmer ou infirmer cette efficacité de contrôle en fonction de l'espèce considérée.

La destruction manuelle des nids présente également des résultats mitigés ainsi qu'un effet limité dans le temps, les nids ayant tendance à retrouver une activité normale au bout de quelques mois. L'effet est surtout impactant sur les jeunes nids peu profonds, où la mort de la reine peut entraîner la mort de la colonie.

Certaines méthodes de biocontrôle possèdent une bonne efficacité de contrôle et seraient potentiellement homologables du fait de leur impact faible sur l'homme et l'environnement :

- Les champignons *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* notamment sont efficaces aussi bien sur les espèces à régime "dicotylédone" que celles à régime "généraliste" et ont été testées sur un grand nombre d'études. L'application sous forme d'**appâts**, artisanaux ou commerciaux, est recommandée pour limiter l'impact sur l'applicateur et faciliter la mise en œuvre.
- Certains appâts commerciaux à base d'extraits de plante ont été mis en place au Brésil pour les fermes en Agriculture Biologique : l'appât **Bioisca**[®] est ainsi à base de *Tephrosia candida* et *Psychotria marcgravii* et l'appât **Citromax**[®] à base de *Ateleia glazioviana*. Ces deux appâts possèdent une bonne efficacité de contrôle de fourmis à régime "dicotylédone" dans les études présentées (2 études chacun) associée à une facilité d'application, Citromax[®] étant un peu moins cher que Bioisca[®] (prix variables sur le marché brésilien).
- Les préparations aqueuses du champignon *Trichoderma lignorum*, de la plante *Canavalia ensiformis* ainsi que le jus de manioc (*Manihot esculenta*) ont prouvé une efficacité de contrôle sur les fourmis à régime "dicotylédone" pour *Trichoderma* ainsi que sur celle à régime "généralistes" pour les autres. De même, l'**application de compost**¹⁰ sur le nid et le **paillage des orifices** du nid par des tiges et feuilles de *Tithonia diversifolia* ou *Canavalia ensiformis* ont permis le contrôle des colonies dans les études concernées avec une mise en œuvre très simple et un coût négligeable, les espèces de plantes étant de plus présentes en Guyane. Ces espèces ne sont à ce jour pas reconnues en usage insecticide par la législation française, mais mériteraient une plus grande attention associée à une répétition d'études afin de confirmer leur efficacité.

Méthodes applicables : **terre de Diatomée**, **destruction manuelle** du nid et méthodes **de lutte par conservation**

Éléments intéressants : *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* sous forme d'**appâts** ou **solution pulvérisée**

Appâts commerciaux **Bioisca**[®] et **Citromax**[®]

Préparations aqueuses de *Trichoderma lignorum*, *Canavalia ensiformis* et *Manihot esculenta*

Application sur le nid de **compost**¹⁰, paillage de *Tithonia diversifolia* ou paillage de *Canavalia ensiformis*

Points de blocage : Souches de champignons intéressants différentes de celles autorisées pour le biocontrôle

Toxicité des plantes potentiellement intéressantes non étudiées par l'Anses

¹⁰ A base de déchets verts (i.g. litière, désherbage), de fumier de volaille, mélasse, levures et chaux