

imbe

Institut méditerranéen de biodiversité
et d'écologie - marine et continentale -



Les microorganismes: Agents de Bio Contrôle (ABC)

Sevastianos.roussos@imbe.fr

AMU-UMR-CNRS-7263/IRD-237

Biotechnologie Environnementale & Chimométrie



Le plan de l'exposé

Problèmes causés par l'usage abusif des produits chimiques

Qu'est que le biocontrôle? Définitions

Le Marché des **Biopesticides**, Biofertilisants, **Biostimulants**

Exemple 1 les dégâts causés en oléiculture par la mouche de l'olive

Les microorganismes entomopathogènes: biopesticides

Exemple 2 les dégâts causés par *Botrytis cinerea* à la vigne

Les Trichoderma, Agent de Bio Contrôle contre les champignons

Production de biopesticides par Fermentation en Milieu Solide

Conclusions et perspectives sur le Biocontrôle

Les pesticides chimiques et l'actualité

● PAUL FRANÇOIS A GAGNÉ SON PROCÈS CONTRE MONSANTO!



- Victime d'une intoxication aiguë, par l'herbicide « Lasso » de Monsanto
- **Jardin : les pesticides « chimiques » interdits en 2019**

Depuis quatre ans, nous ne pouvons plus utiliser de pesticides chimiques pour entretenir notre jardin. Nous devons adopter des méthodes alternatives naturelles.

Les produits chimiques ne sont déjà plus vendus en libre-service

Ainsi, plus question de trouver en rayon un **désherbant** comme le **Roundup**.



Désherber autrement

Jardiniers amateurs, vous allez devoir apprendre à jardiner autrement. Vous pouvez recourir aux produits de **biocontrôle**, censés remplacer les produits chimiques. Le biocontrôle désigne les techniques de protection des plantes au moyen de trois familles d'agents naturels. Même si les produits bio ne représentent aujourd'hui que 10 % du marché de la protection des plantes, ils vont se développer dans les années à venir.

Vous pouvez également adopter des pratiques naturelles comme améliorer la **fertilité des sols avec de l'humus ou du purin d'ortie** (engrais naturel qui éloignera quantités de nuisibles) ou encore utiliser la cendre de la cheminée qui tiendra les limaces loin des salades.

Le Bio contrôle pour une agriculture moderne, compétitive et durable

Face au triple désastre (sur la biodiversité, sur la santé humaine, et récemment financier) causé par l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse dans toutes les filières agricoles, le biocontrôle offre des outils adaptés pour une agriculture moderne, compétitive et durable.



En effet, le biocontrôle regroupe la lutte biologique et la protection des cultures intégrées qui reposent sur l'utilisation des micro-organismes, des macro-organismes, des solutions chimiques naturelles et des substances minérales, respectueuses de l'environnement.

À l'échelle mondiale, le marché des produits de biocontrôle croît annuellement à un taux de 40 % en Amérique du Nord, 20 % en Europe et en Océanie, 10 % en Amérique latine et du Sud et 6 % en Asie.

Le Consortium Biocontrôle

Afin de lutter contre l'utilisation massive de **produits phytosanitaires** forcément agressifs envers l'environnement, différents plans gouvernementaux ont été mis en place en France.

- D'abord le plan Ecophyto, initié en 2008 puis réactualisé régulièrement afin d'intégrer le plan d'actions sur les PPP et pour une agriculture moins dépendante aux pesticides du 25 avril 2018 ainsi que le plan de sortie du glyphosate annoncé le 22 juin 2018.
- Ensuite, la mise en place du consortium Biocontrôle dont le but est de diminuer l'usage des produits de synthèses chimiques en les remplaçant par des produits du biocontrôle.

À l'initiative de l'INRA, en 2016, les acteurs publics et privés de la recherche, de la recherche-développement et de l'innovation se sont associés pour créer le consortium « **Recherche – Développement – Innovation** » sur le **biocontrôle**. Cette initiative vise à coordonner les acteurs du biocontrôle dans le double objectif d'offrir aux utilisateurs, en premier lieu les agriculteurs, des méthodes alternatives en matière de produits phytosanitaires et de contribuer à la consolidation du secteur français du biocontrôle, source de richesses et d'emplois.

Les partenaires du Consortium Biocontrôle

Le Consortium biocontrôle



Évolution mondiale du marché de Biocontrôle

Le marché mondial des produits phytosanitaires est en perpétuelle évolution, et a été estimé à 50 milliards de dollars pour 2019.

Deux groupes de produits se partagent ce marché colossal :

- **les pesticides chimiques**, et les **biopesticides**.

Avec les réglementations de plus en plus restrictives vis-à-vis de l'utilisation des produits chimiques, et la volonté des états d'une agriculture plus « propre » et durable, les biopesticides ont progressivement gagné du terrain. Une croissance exponentielle de ce marché est prévue, qui ne représente à l'heure actuelle qu'environ 5 milliards de dollars.

En Europe, quelques entreprises se partagent ce marché :

Novartis, Koppert, Abbot Laboratories, AgrEvo Intrachem, **De Sangosse**, BASF, Bayer Cropscience, Syngenta, Arysta LifeScience, etc.

En 2018, le rachat de Monsanto par Bayer a été finalisé.

Homologation des produits utilisés en biocontrôle

Afin d'être mis sur le marché, les nouveaux produits du biocontrôle doivent répondre à des procédures assez complexes d'homologation, ce qui permet de démontrer leur innocuité pour l'homme comme pour l'environnement.

Il existe donc des agences qui homologuent ces produits, ce qui autorise pour une certaine durée leur commercialisation et leur utilisation.

Le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation est responsable des Autorisations de Mise sur le Marché (AMM), après évaluation des risques du produit.

Le comité d'accréditation fait une proposition basée sur le risque et sur l'efficacité. Chaque AMM délivrée est éditée pour l'État qui en fait la demande, et est valable sur tout le territoire européen.

Le Bio contrôle

Qu'est que le biocontrôle?

Le terme biocontrôle regroupe la nutrition des plantes et la protection intégrée des cultures qui reposent sur l'utilisation des organismes vivants et des substances naturelles ou minérales, respectueuses de l'environnement.

Pour une agriculture moderne, compétitive et respectueuse de l'environnement, l'ingénieur agronome comme l'agriculteur doivent tenir compte d'une nouvelle stratégie faisant appel à la protection des sols et de la culture végétale.

Actuellement sur le marché, il y a des nouveaux outils regroupés en quatre catégories :

- **les biofertilisants,**
- **les biostimulants,**
- **les biopesticides et**
- **les substances naturelles et minérales**



Les biofertilisants

Un **biofertilisant** se définit comme étant un produit contenant des micro-organismes, **bactéries, actinomycètes et/ou champignons**, que l'on applique aux plantes pour augmenter la disponibilité des nutriments et leur utilisation par les plantes, indépendamment de leur contenu en nutriments. Un biofertilisant peut aussi être défini comme un biostimulant microbien, améliorant l'efficacité de la nutrition de plantes.

Les biofertilisants microbiens sont principalement des microorganismes fixateurs d'azote, vivant libres ou en association avec des plantes hôtes. Ces micro-organismes utilisent l'azote de l'air comme source d'azote et fournissent ensuite, soit par exsudation, soit par décomposition après leur mort, soit à travers la plante à laquelle ils sont associés, de l'azote organique ou minéral qui contribue à maintenir ou améliorer la fertilité du sol et la productivité végétale.

- **Les micro-organismes fixateurs d'azote** qui possèdent des potentialités démontrées pour une utilisation agronomique sont des bactéries rhizosphériques, les cyano bactéries libres et symbiotiques, les rhizobiums en symbiose avec les légumineuses et les Frankia en symbiose avec les Casuarinacées.
- **Les micro-organismes comme les mycorhizes**, producteurs de substances de croissance ou de substances qui favorisent la solubilisation du phosphore du sol, sont également considérés comme des biofertilisants.

Les biostimulants

Les biostimulants contiennent des substances ou des micro-organismes qui ont pour fonction de stimuler les processus naturels pour accroître l'absorption et l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques et la qualité des récoltes lorsqu'ils sont appliqués aux plantes (**épiphytes**) ou à la rhizosphère (racines), indépendamment du contenu en nutriments du biostimulant ».

La composition des biostimulants et biofertilisants dépend largement des ressources naturelles utilisées (espèces, tissus, conditions de développement). On y retrouve les métabolites primaires (acides aminés, sucres, nucléotides et lipides) et les métabolites secondaires formés à partir des différents processus du métabolite primaire. La complexité de la composition se traduit par le fait que l'on a un mélange de différents groupes chimiques tels que :

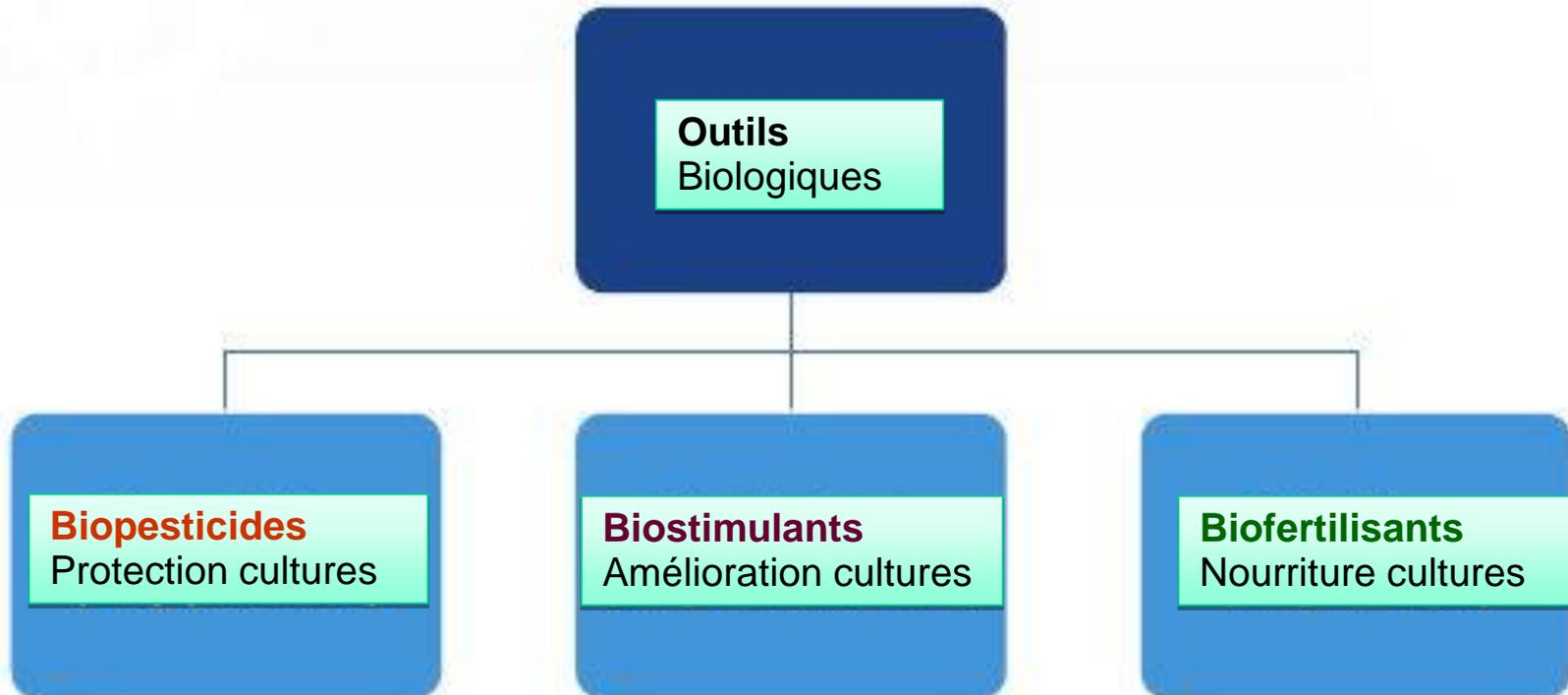
- hormones de plantes ou substances agissant comme des hormones (ac.gibberellique);
- acides aminés, bêtaïnes, peptides, protéines ; parois de levures ;
- sucres (carbohydrates oligo-poly-saccharides), aminopolysaccharides ;
- lipides, vitamines, nucléotides ou nucléosides ;
- substances humiques (acides humiques et fulviques), composés phénoliques, stéroïdes, éléments minéraux bénéfiques, oligoéléments, etc.

Les substances naturelles et minérales

Substances naturelles et minérales utilisées comme produit de biocontrôle sont composées de substances présentes dans le milieu naturel et peuvent être d'origine végétale, animale ou minérale. Elles limitent l'utilisation des pesticides de synthèse. Leur efficacité assure le contrôle des agresseurs et maintient leur développement au-dessous des seuils de nuisibilité. Les avantages pour l'agriculteur sont nombreux :

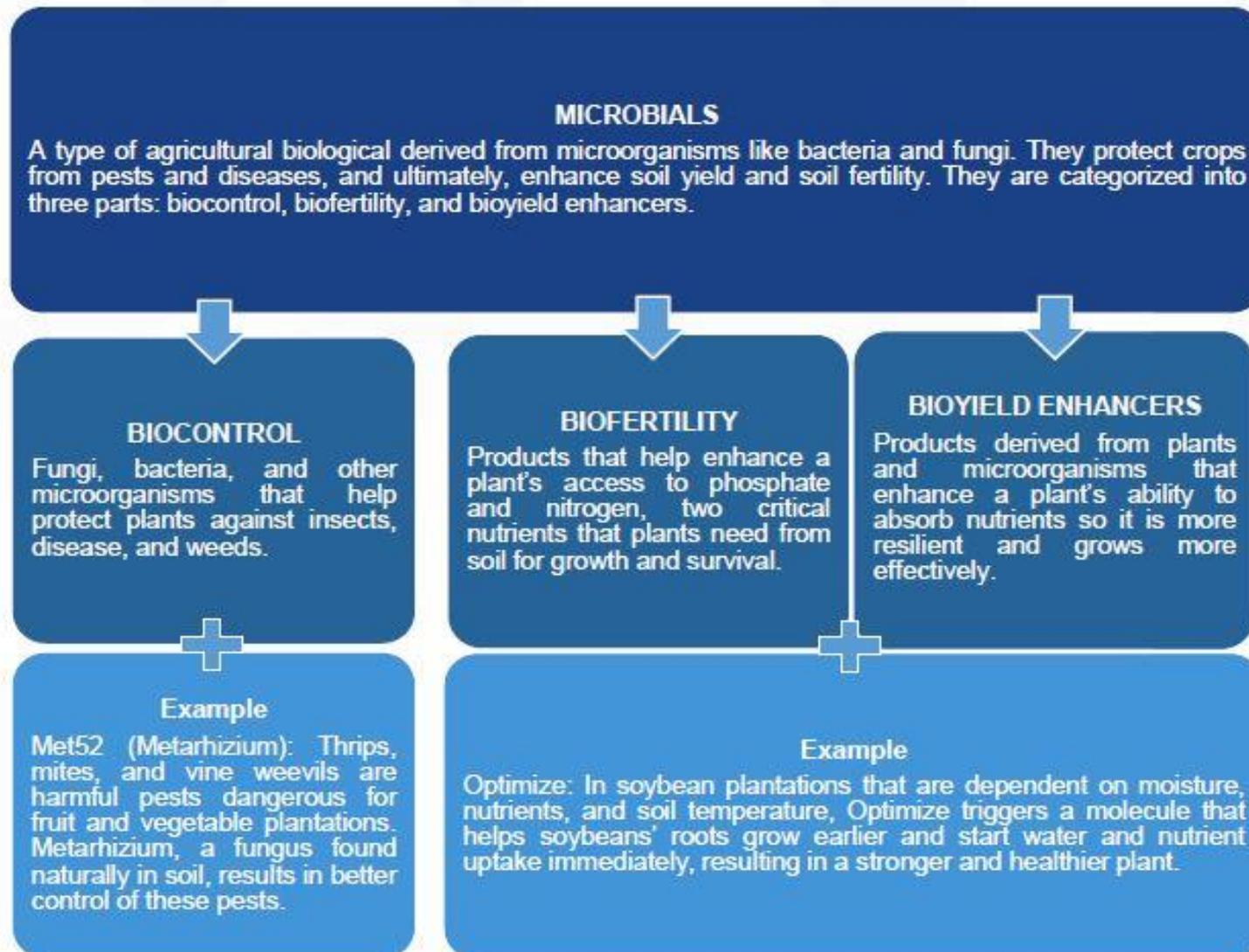
- Profil toxicologique favorable, faible impact environnemental par la durée de demi-vie réduite ;
- Substitution aux molécules phytopharmaceutiques toxiques retirées du marché (acide pélargonique);
- Limitation des phénomènes de résistance liés aux applications répétées de produits d'une même famille chimique ;
- Réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et ainsi pérennisation de certaines molécules, notamment les plus sélectives ;
- Limitation au maximum du risque d'atteindre les Limites Maximales de Résidus LMR ou les Délais Avant Récolte DAR et les contraintes liées aux délais de rentrée dans les sites traités.

Les outils pour une agriculture Bio

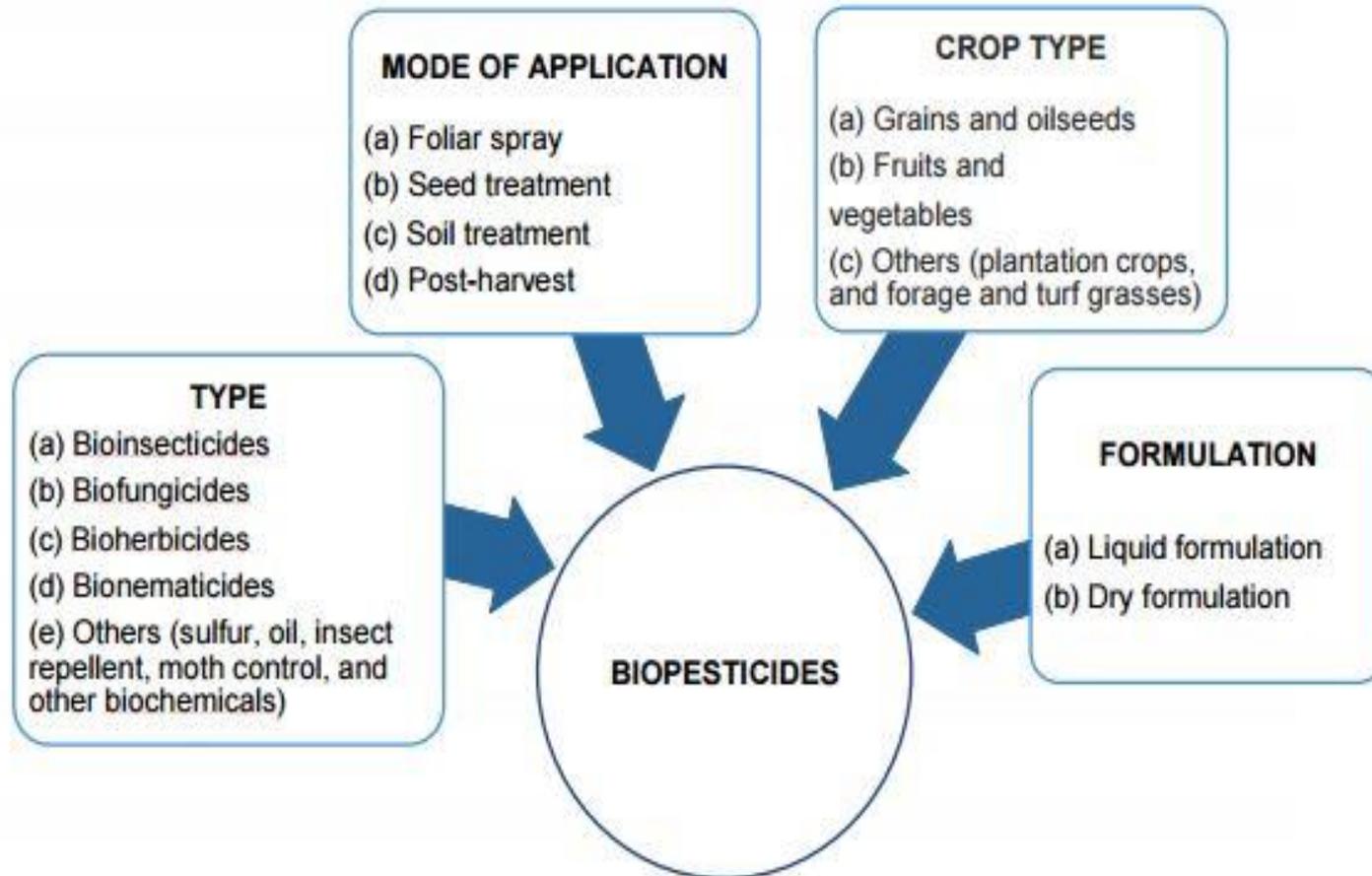


Source: Technavio

Examples: Biopesticides, Biofertilisants, Biostimulants



Définition des biopesticides



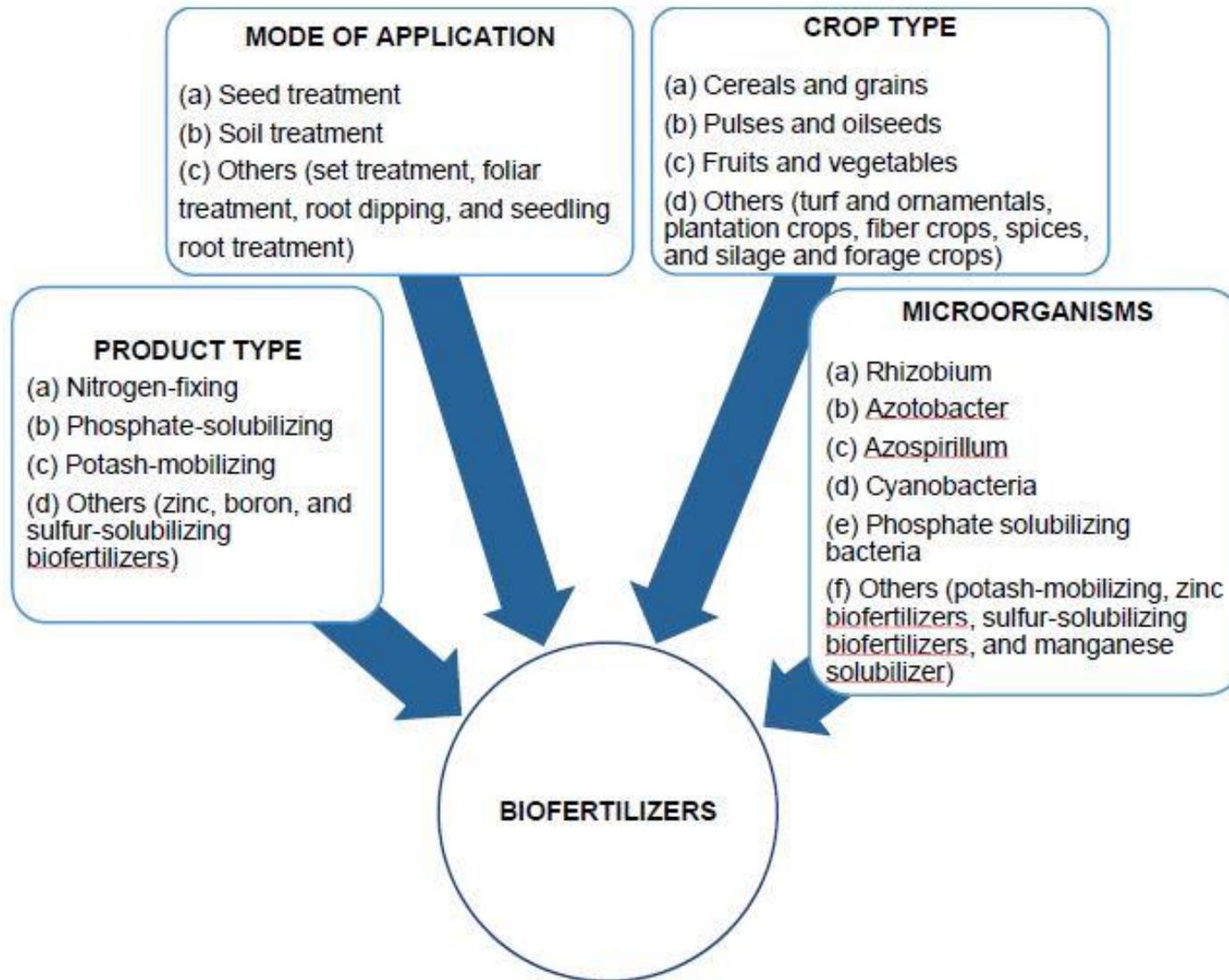
Source: Technavio

Le marché global des Biopesticides



Source: Technavio

Définition biofertilisants

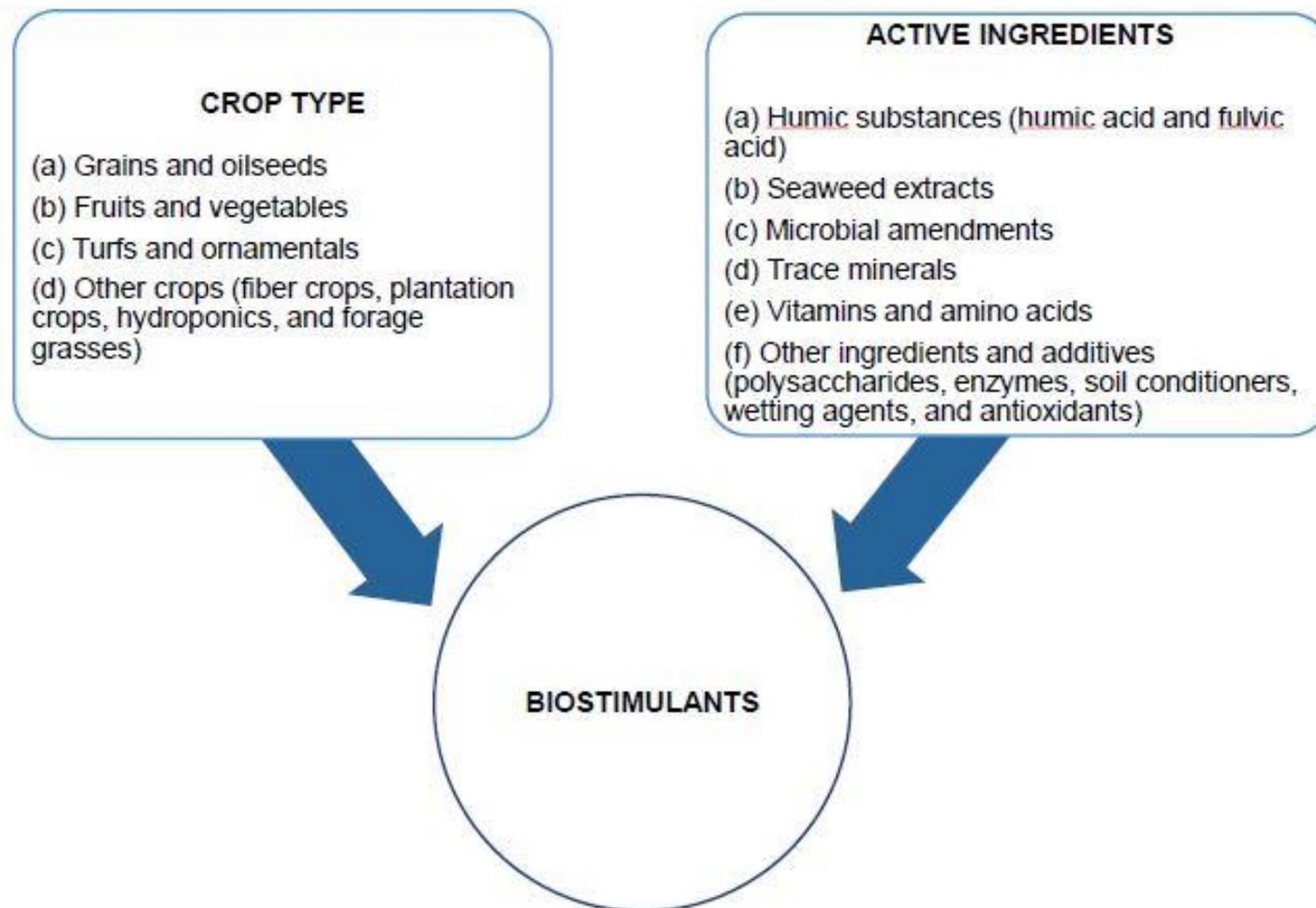


Le marché des biofertilisants:

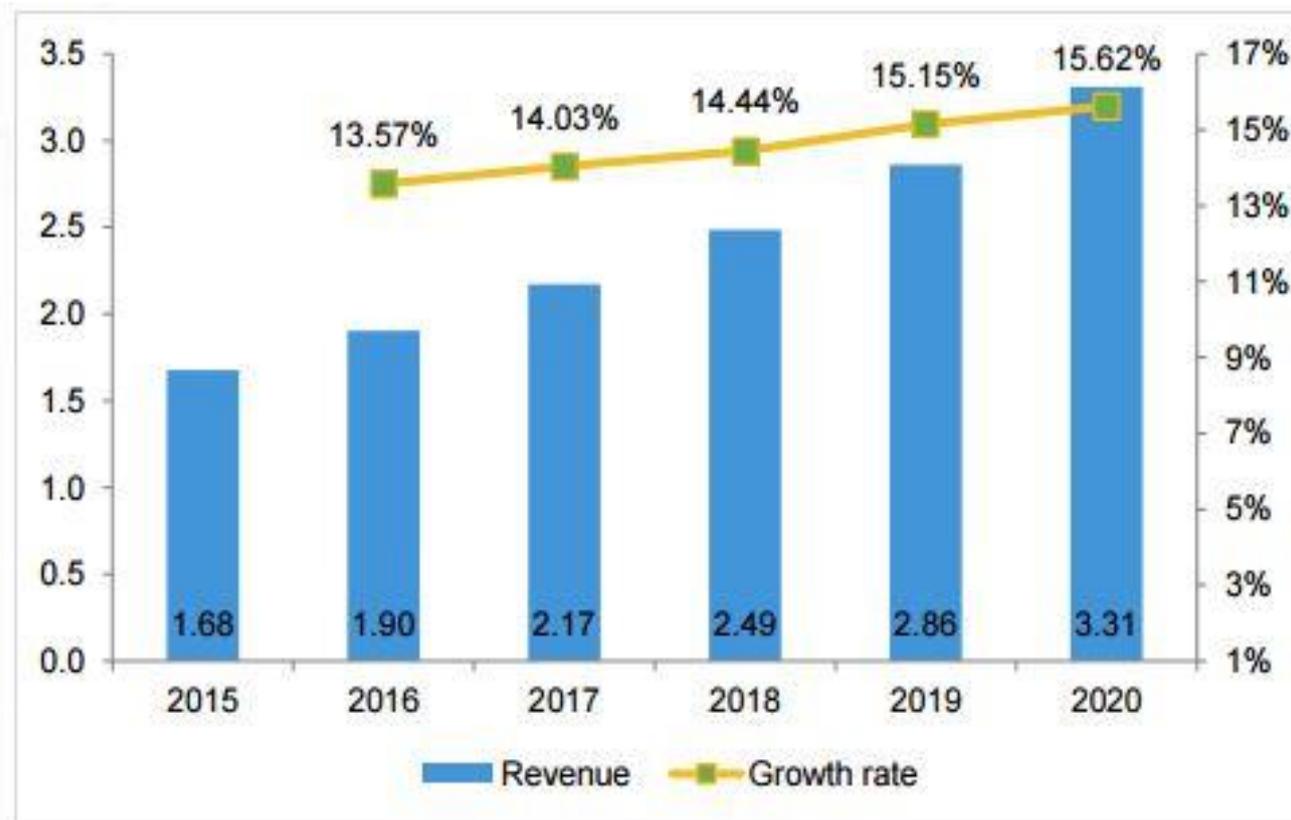


Source: Technavio

Définition des Biostimulants

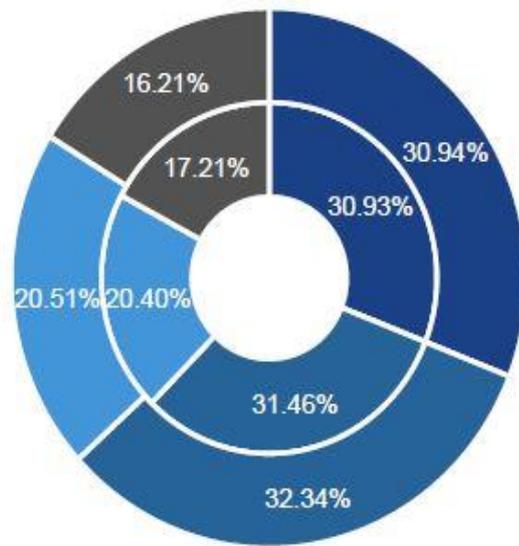


Le marché des biostimulants:



Source: Technavio

Evolution du marché de biocontrôle dans le monde

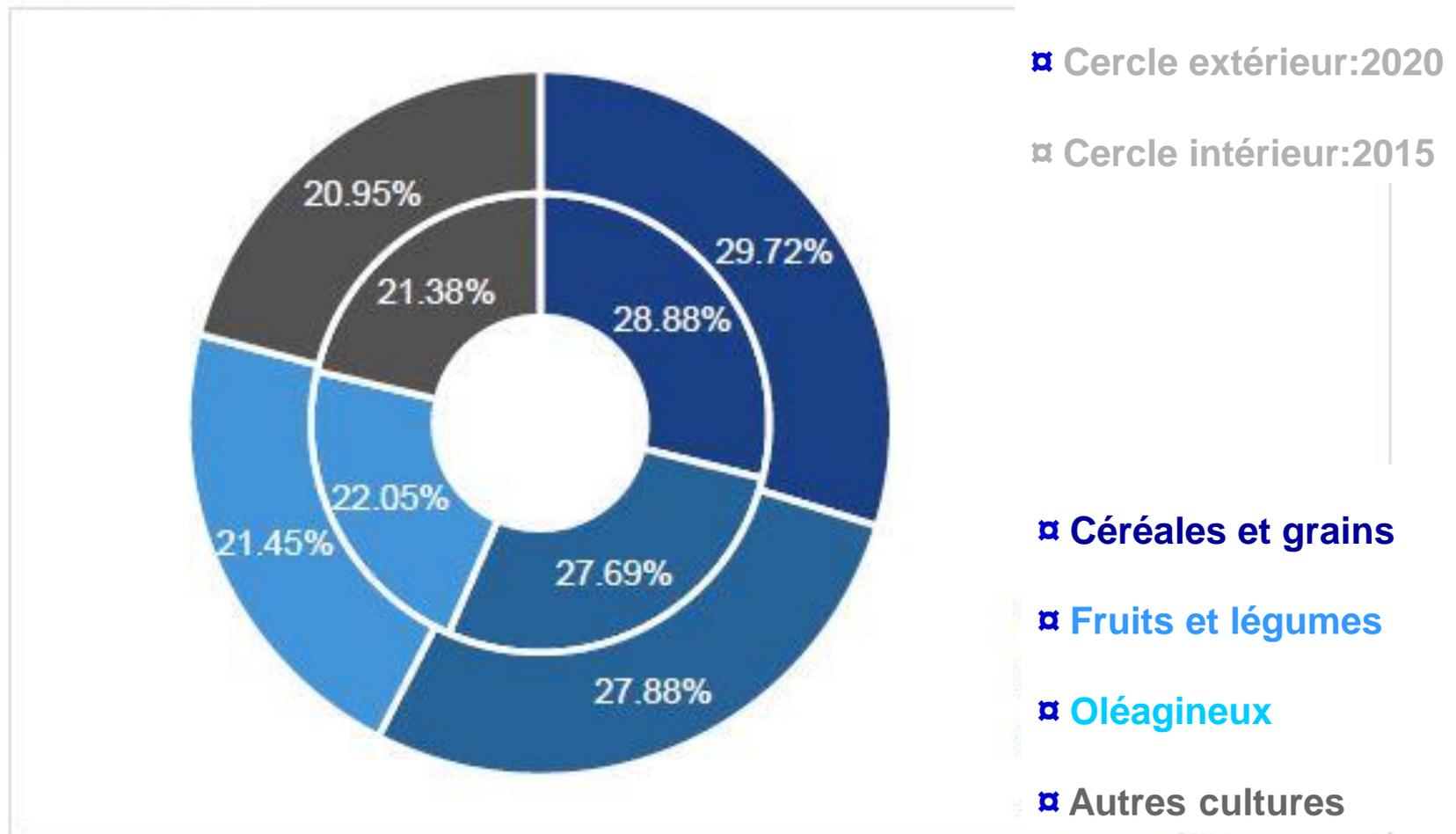


Cercle extérieur: 2020
Cercle intérieur : 2015

- ▣ Amérique du Nord
- ▣ Europe
- ▣ Asie Pacifique
- ▣ Autres

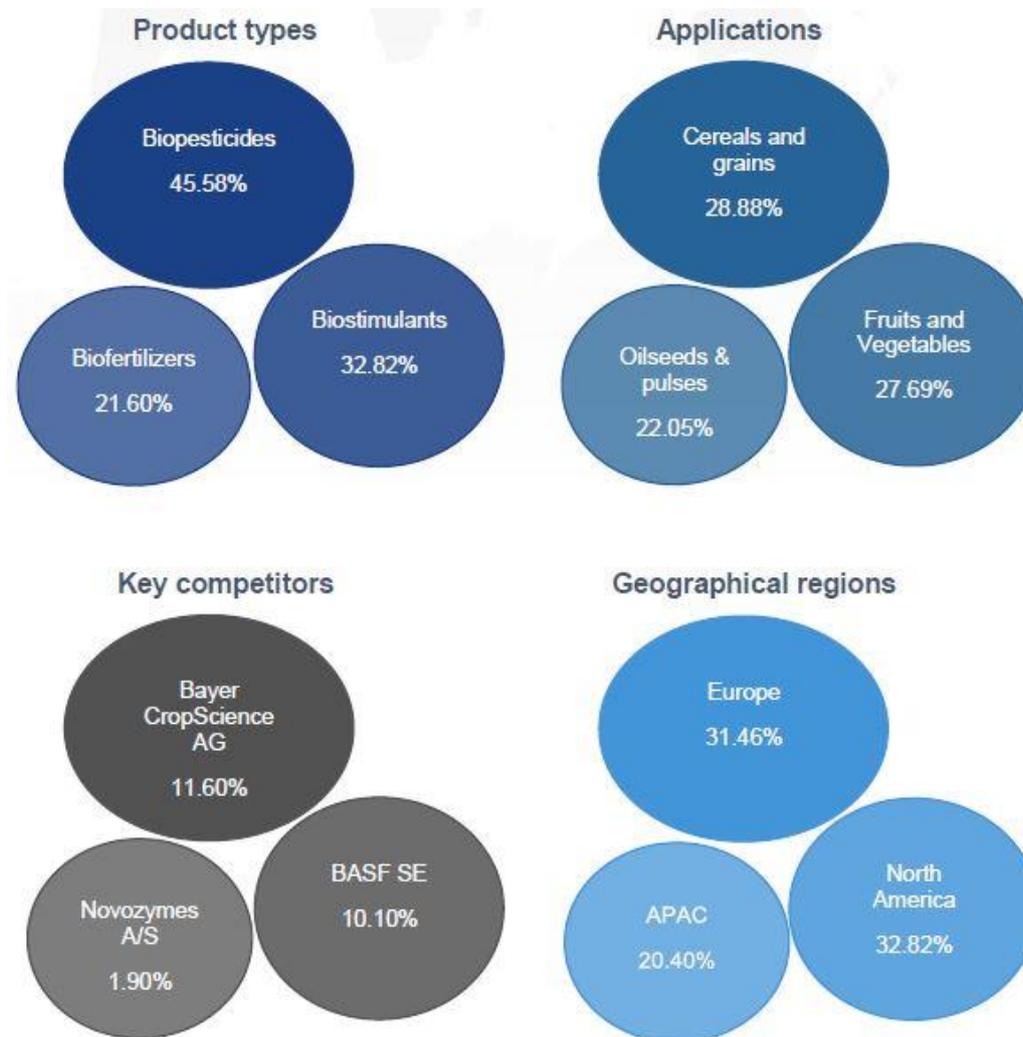
Source: Technavio

Evolution du marché par filière



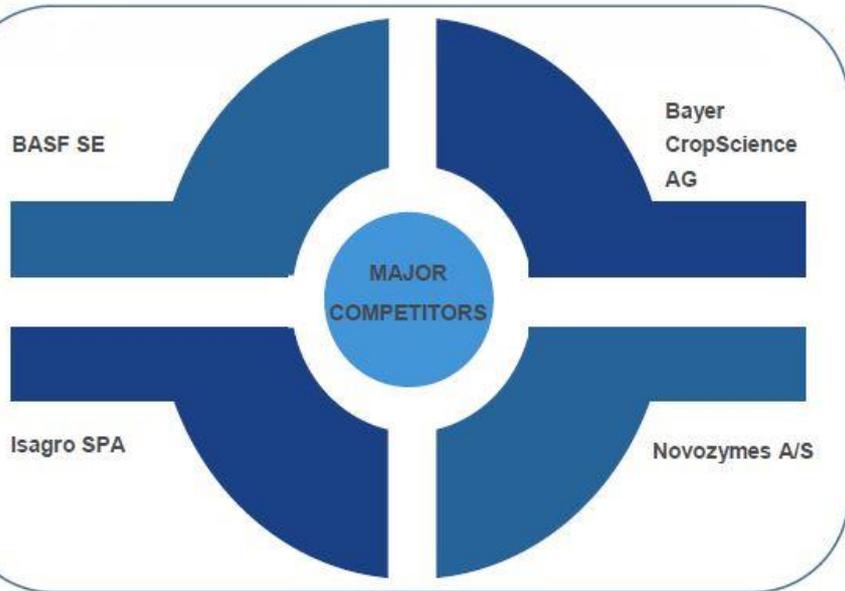
Source: Technavio

Segmentation des produits bio



The percentage of ellipses of some segmentations may not add up to 100. This is because the 'others' segment is not mentioned here but is explained in the segmentation. For key competitors, three (to maintain the consistency) companies with major market share are mentioned.

Compagnies clefs dans le contrôle biologique



Source: Tech

Bayer CropScience AG	
•Biopesticides	- Serenade, Sonata, and Requiem
BASF SE	
•Biopesticides	- Nemasys biocontrol series, VAULT HP insecticides & fungicides, Trichoplus biofungicide, Green Muscle, Green Guard, PLGold, Broadbrand, Beta-pro, and Nogall
•Biostimulants	- BioGain WSP, BioGain WSP + SPRINT 330, Salute WSP, and VigaROOT
Novozymes A/S	
•Biostimulants	- Ratchet, RhizoMyco, RhizoMyx, RhizoPlex, and Torque
•Biofertilizers	- Biofertility products, Biocontrol, and Bioyield enhancers
Isagro SPA	
•Biopesticides	- Bio Tam, Bioten, Radix, Remedier, and Tenet
•Biostimulants	- High Yield Technology (HYT) A, HYT B, and HYT C

Source: Technavio

Principale maladie de l'olivier: *Dacus oleae*

- Les principales maladies pour la production des fruits et légumes sont causées par les insectes, les bactéries, les champignons et les nematodes. Ces maladies phytopathogènes causent d'importants dégâts et des pertes en agriculture chaque année.
- La mouche de l'olive (*Bactrocera oleae*, *Dacus oleae*) est une espèce d'insecte qui appartient à la sous famille de Dacinae. C'est une espèce phytophage qui dépose ses oeufs dans l'olive et ses larves se nourrissent de la pulpe de l'olive. De ce fait, il est considéré comme une peste majeure en oléiculture.
- **Pour 2014, 90% de la production d'olive en France a été perdue définitivement à cause des attaques importantes de la mouche de l'olive.**

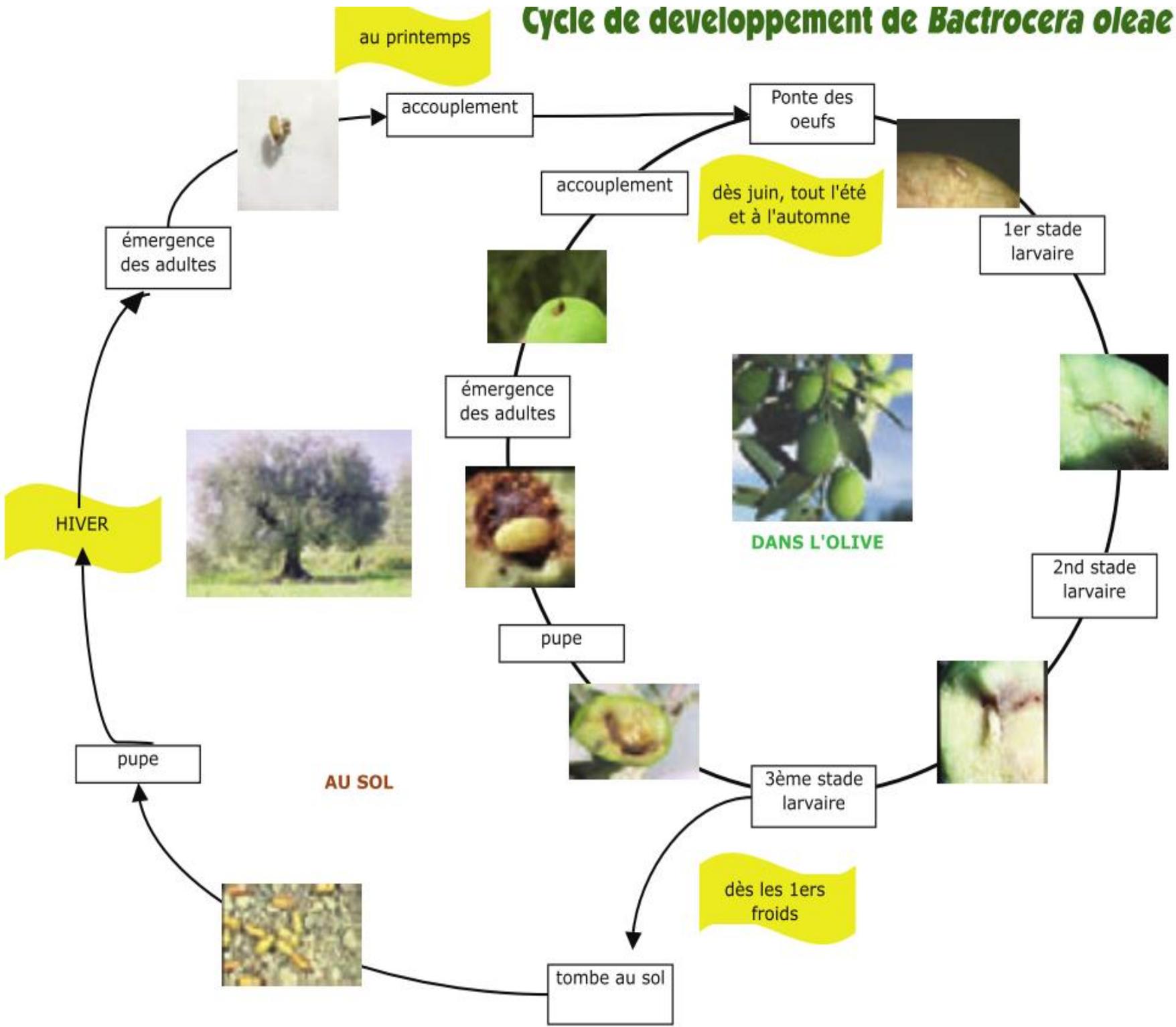


Pesticides chimiques pour contrôler les maladies

- Afin de contrôler les principales maladies de l'olivier, des produits chimiques sont couramment utilisés. A cause de leur haute capacité destructrice sur la biodiversité, l'environnement et sur la santé humaine, de nombreux produits ont été retirés du marché et dans le futur de plus en plus il y aura des produits enlevés du marché.
- Les traitements se réalisent par pulvérisation sur les oliviers avec des insecticides **diméthoate**, **deltaméthrin** et **phosmet**. Le diméthoate est couramment utilisé pour son efficacité et son faible coût. Il est préféré car il laisse très peu de résidus dans l'huile d'olive, étant donné qu'il est soluble dans l'eau et il est éliminé durant le lavage des olives.



Cycle de développement de *Bactrocera oleae*



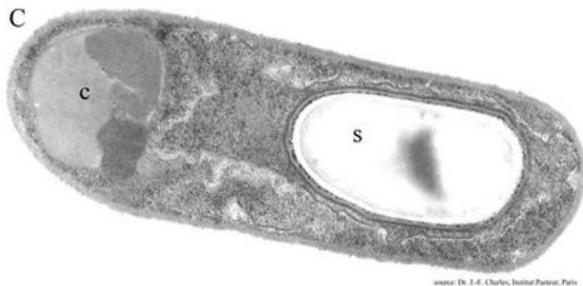
Antagonistes naturels sont: insectes, bactéries, virus, champignons



La mouche de l'olive

Une alternative avantageuse pour remplacer les pesticides chimiques consiste à utiliser des antagonistes naturels pour contrôler les maladies des plantes. Ces antagonistes peuvent être des insectes, des bactéries, des champignons filamenteux, mais aussi des phéromones, lesquels sont biodégradables, naturels, des toxines spécifiques contre les insectes.

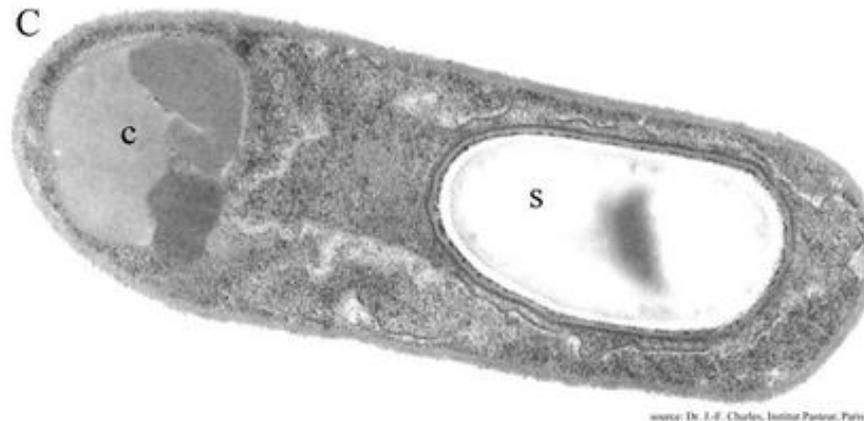
- Les micro-organismes pathogènes incluent des virus, bactéries et champignons. Ils tuent ou affaiblissent leur hôte et sont très spécifiques. Des maladies des insectes causées par des microorganismes peuvent être naturelles mais elles peuvent également être provoquées et utilisées comme des outils importants en contrôle biologique.



- Les bactéries utilisées pour le contrôle biologique infectent les insectes, via leur tube digestif. *Bacillus thuringiensis* est la bactérie la plus utilisée en contrôle biologique, car elle est très efficace et le mode d'utilisation est très proche de celui utilisé des produits chimiques de synthèse.

Bacillus thuringiensis: bactérie entomopathogène

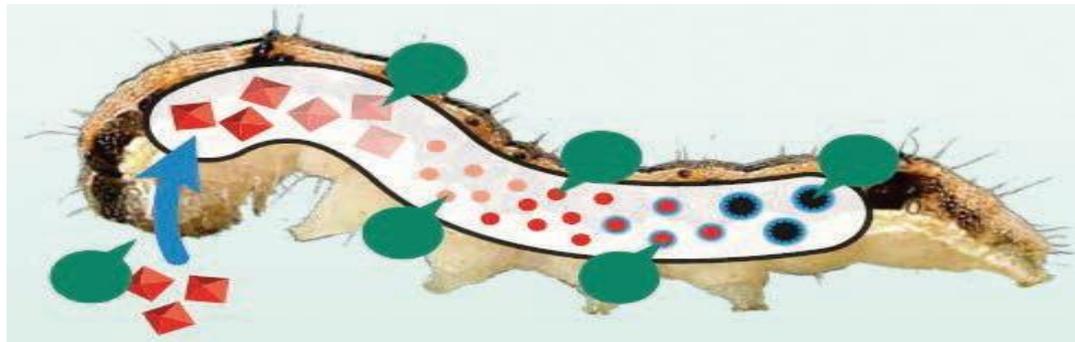
Parmi les bactéries entomopathogènes, *Bacillus thuringiensis* (Bt) est à la fois l'espèce la plus utilisée et celle qui offre les potentialités insecticides les plus intéressantes dans la protection des végétaux. *Bacillus thuringiensis* (couramment appelé Bt) est une bactérie gram + sporulée, que l'on trouve dans le sol, l'eau, l'air et sur le feuillage et qui est connue depuis le début du XXe siècle pour son activité insecticide contre les larves de certains lépidoptères.



Lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables, Bt entre dans un processus de différenciation, qui aboutit à la formation de cellules spécialisées, les spores, dotées d'une résistance accrue aux agents physiques et chimiques, et qui permettent à la bactérie de survivre dans un état de dormance. Au cours de ce processus, Bt synthétise également des protéines, appelées δ -endotoxines (ou protéines Cry) qui s'accumulent dans la cellule mère sous la forme d'une inclusion parasporale. Cette inclusion, de nature protéique (ou cristal), qui peut représenter jusqu'à 25 % du poids sec de la bactérie, est responsable de l'activité larvicide de Bt.

Mode d'action de la Bactérie entomopathogène: Bt

Les cristaux protéiques sont dissous dans le milieu alcalin de l'intestin de la larve et se fixent sur des récepteurs intestinaux spécifiques, entraînant des perforations dans la paroi du tube digestif. Il en résulte une paralysie de l'intestin, puis un arrêt immédiat d'alimentation (figure 3). Les bactéries se reproduisent alors à l'intérieur des chenilles, formant de nouveaux cristaux et spores qui entraînent de nouvelles infections. Les toxines de chaque sous-espèce de Bt n'agissent que contre une seule famille d'insectes spécifiques et préservent ainsi les auxiliaires :



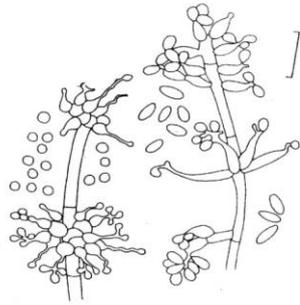
1. La larve ingère les toxines (cristal de protéine) et les spores ;
2. Le cristal de protéine est dissocié par le milieu alcalin de l'intestin de l'insecte ;
3. Les molécules de protoxines sont libérées à partir du cristal dissocié ;
4. Les molécules de protoxines sont activées par les enzymes digestives de l'insecte ;
5. Les δ -endotoxines activées se fixent sur leurs récepteurs des cellules de l'intestin ;
6. Les toxines détruisent les couches des cellules de l'intestin et en deux jours, l'insecte meurt.

Les champignons Entomopathogènes

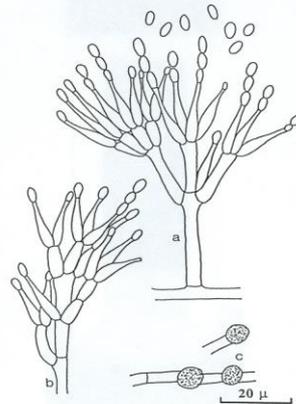
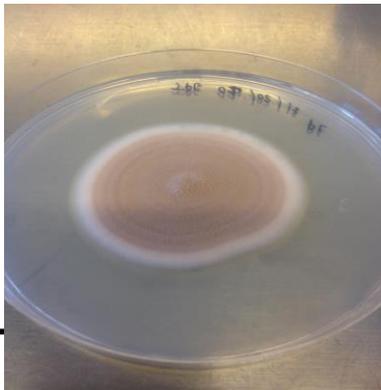
- *Beauveria bassiana* (contre les aleurodes, thrips, aphids et weevils)
- *Paecilomyces fumosoroseus* (contre les aleurodes, thrips et aphids)
- *Metarhizium* spp. (contre beetles, criquets et locusts, Hemiptera, araignées mites et autres pestes)
- *Lecanicillium* spp. (contre les aleurodes, thrips et aphids)
- *Cordyceps* espèces (incluants les teleomorphes: en particulier ceux capables d'infecter un grands pectre d'arthropodes)



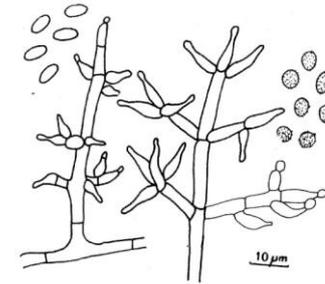
Trois champignons: *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Trichoderma*...



Beauveria basiana
Entomopathogène



Paecilomyces lilacinus
Nematophage

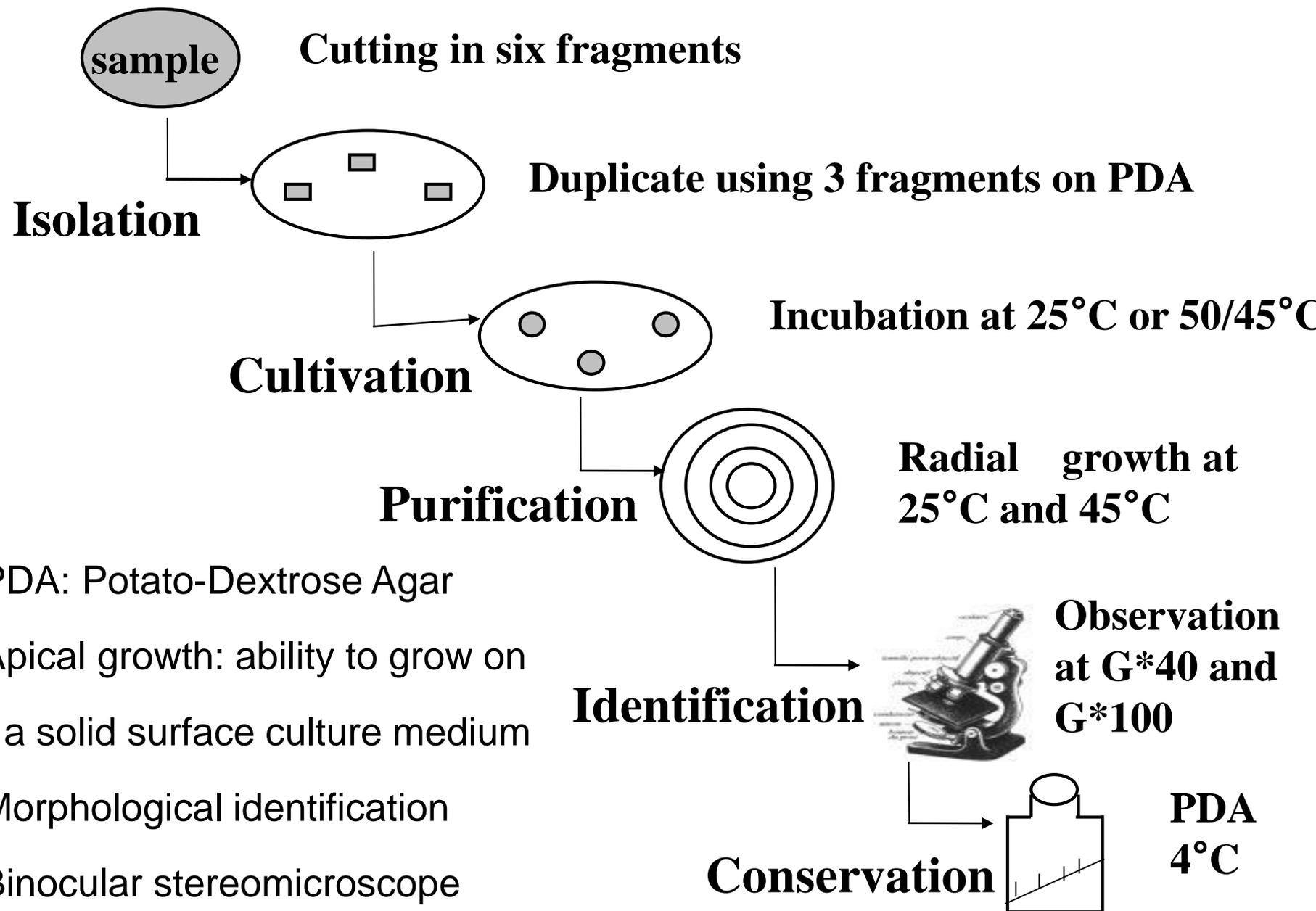


Trichoderma harzianum
Fongicide, bopesticide



Conidiospore représente la forme unicellulaire des champignons filamenteux

Isolement, domestication et production de biopesticides



- PDA: Potato-Dextrose Agar
- Apical growth: ability to grow on a solid surface culture medium
- Morphological identification
- Binocular stereomicroscope

Substrats Agro-industriels pour les FMS

Bagasse de
cane à sucre



20,8%

Son de blé



12,5%

Purée de patates



8,35%

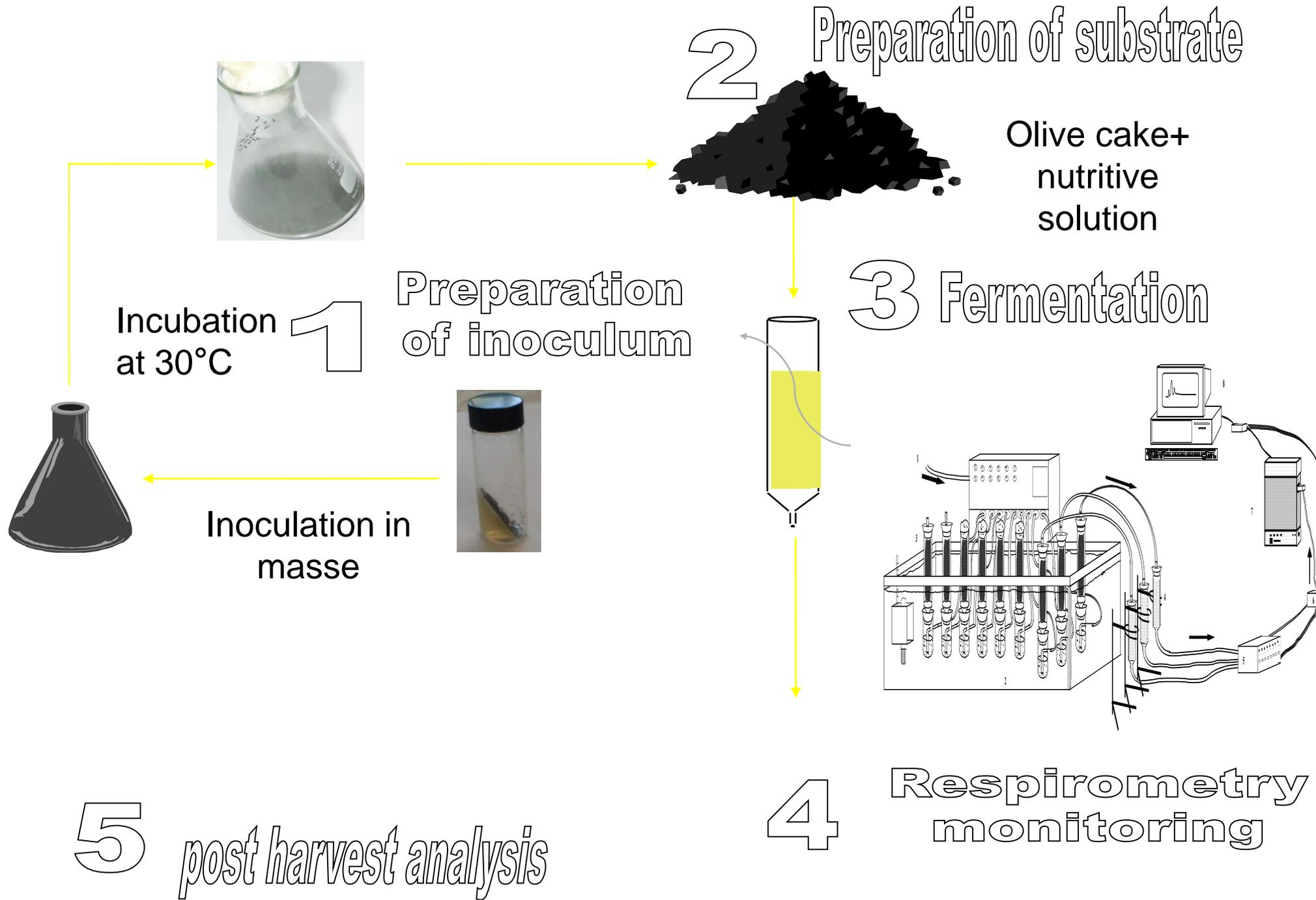
Chitine



8,35%

- Eau 50% pour humidifier avant stérilisation
- Inoculation avec une suspension de 2×10^7 spores/g SPS , pour obtenir 75% d'humidité finale du milieu de culture.

Protocole de production de conidiospores par FMS

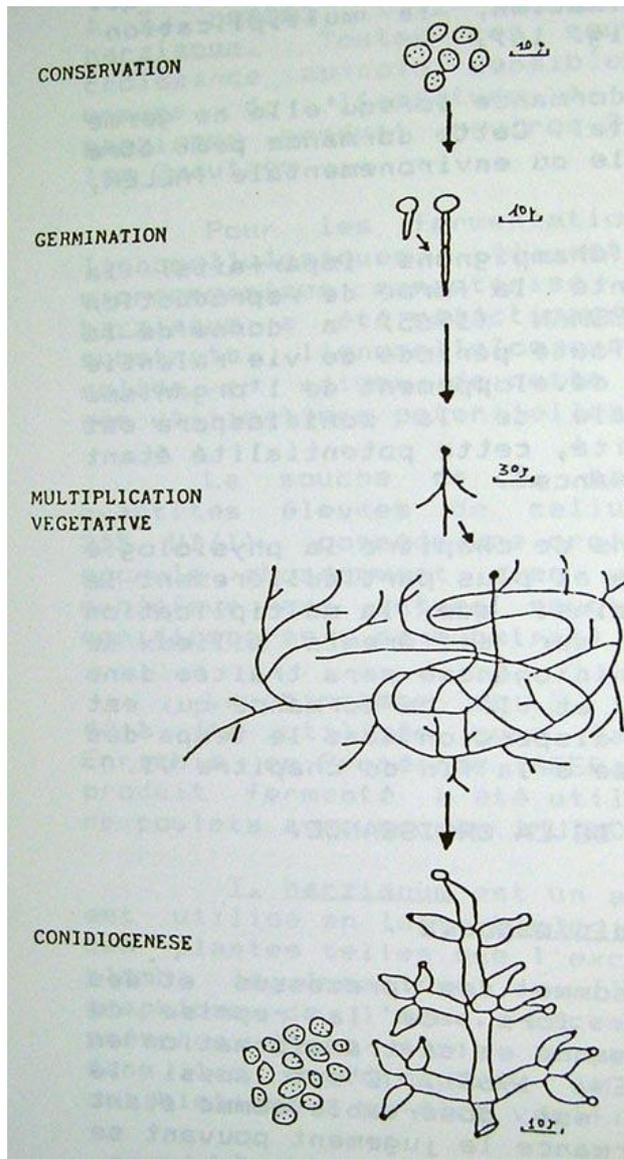




Les champignons filamenteux

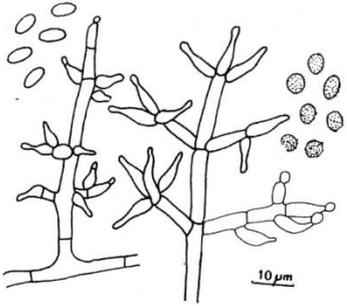
Trichoderma

Cycle de vie d'un champignon filamenteux

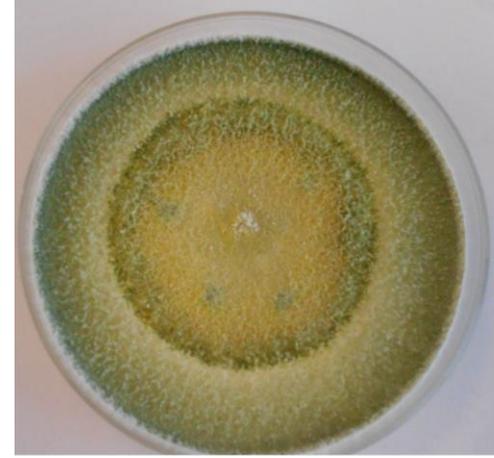


4 Etapes successives:

- 1: Dormance
- 2: Germination
- 3: Développement des hyphes-branchements
- 4: Conidiogenèse



Trichoderma



- Les *Trichoderma* sont des champignons cosmopolites et ubiquitaires, saprophyte en milieu extérieur. Ce sont des contaminants habituels des cultures mais sont peu pathogènes. Ils sont impliqués dans des allergies de type I et III et quelques rares cas de mycoses chez des individus immunodéprimés. Diverses espèces produisent des métabolites antifongiques tels que les trichoharzianines et de nombreuses mycotoxines (trichothécènes et peptides cycliques, gliotoxine, isocyanides, toxine T-2, trichodermine).
- Les *Trichoderma* ont un intérêt agro-alimentaire dans la production de cellulase et d'hémicellulase et comme exhausteur d'arômes. Certaines espèces sont utilisées en lutte biologique pour la protection d'arbres et cultures végétales contre l'attaque d'agents phytopathogènes.
- *Trichoderma* sont utilisés pour gérer certains phytopathogènes. *Trichoderma viride* a été utilisé contre la maladie de Dutch Elm, et *T.harzianum* est utilisé pour protéger la vigne contre *Botrytis cinerea*.
- Les principales espèces: *T.harzianum*; *T. atroviride*.

Biodiversité fonctionnelle: (obligatoire, induite)

Les champignons filamenteux:

- Phytopathogènes
- Entomopathogènes
- Nematophages
- Saprophytes (moisissures utiles y nuisibles)
- La même moisissure peut présenter différentes fonctions (*Trichoderma harzianum*)
 - antagoniste (*Botrytis cinerea*, *Myceliophthora*); Biopesticide
 - saprophyte (décomposition des composés lignocellulosiques...),
 - Aliments (6-pentyl pyrone),
 - Pharmaceutique (antibiotiques),
 - Industriel (enzymes lysozyme, cellulases, pectinases, amylases, protéases)

Biodiversité fonctionnelle de *Trichoderma*

Trichoderma : agent de bio-contrôle et facteur de croissance de plantes

Enzymes hydrolytiques

les cellulases, les protéases, chitinases

Conidies

Viabilité

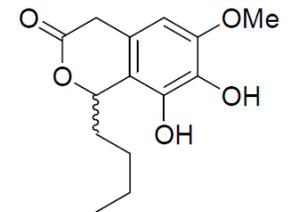
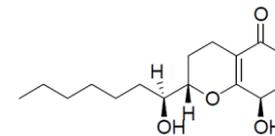
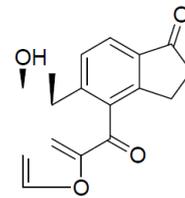
Molécules Bioactives : 6-PP

Peptaïboles

Viridines

Koninginines

Gliovirines

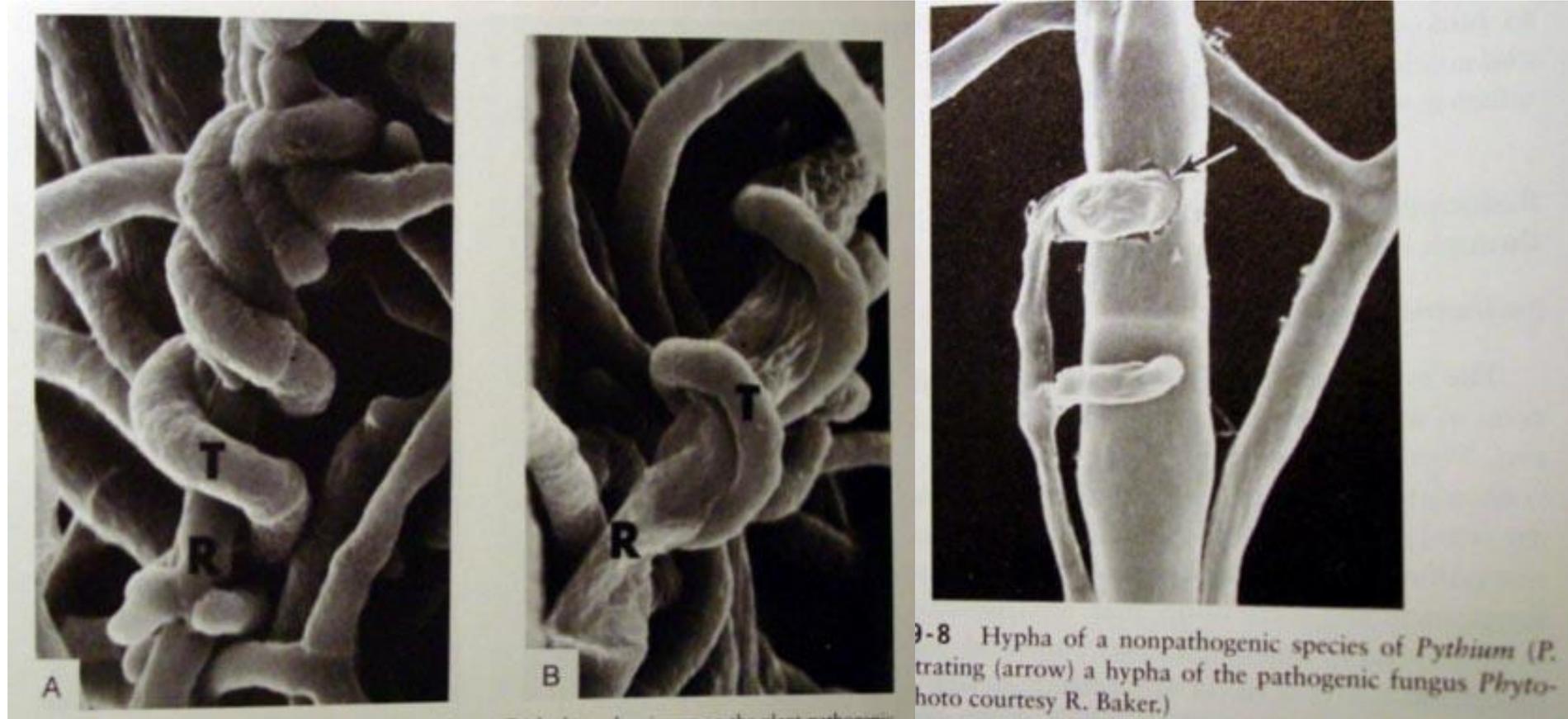


Collection de *Trichoderma harzianum* De Reynaldo Delacruz-Reyes



Trichoderma harzianum :

Utilisation comme fongicide

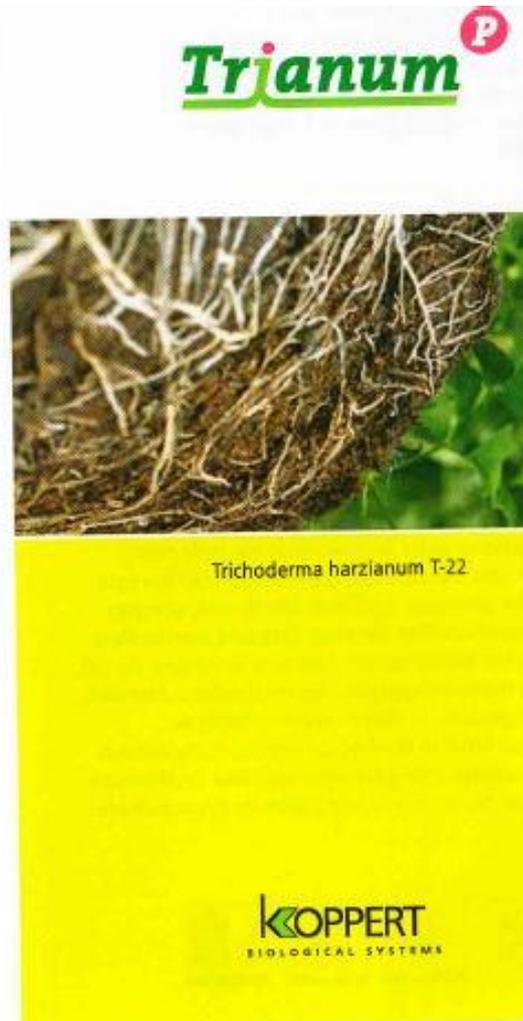
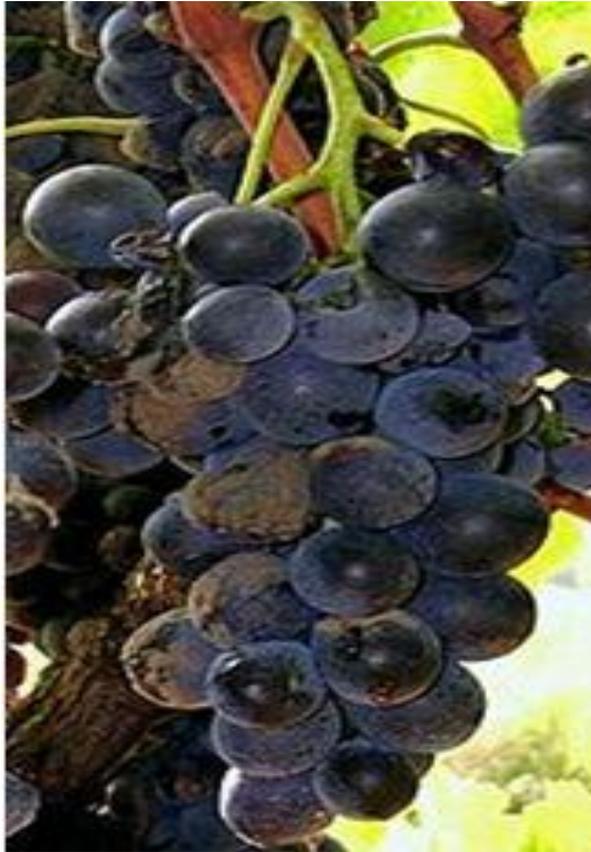


Trichoderma contre *Rhizoctonia* ; *Pythium* contre *Phytophthora*

Pourriture grise: Symptômes sur la vigne

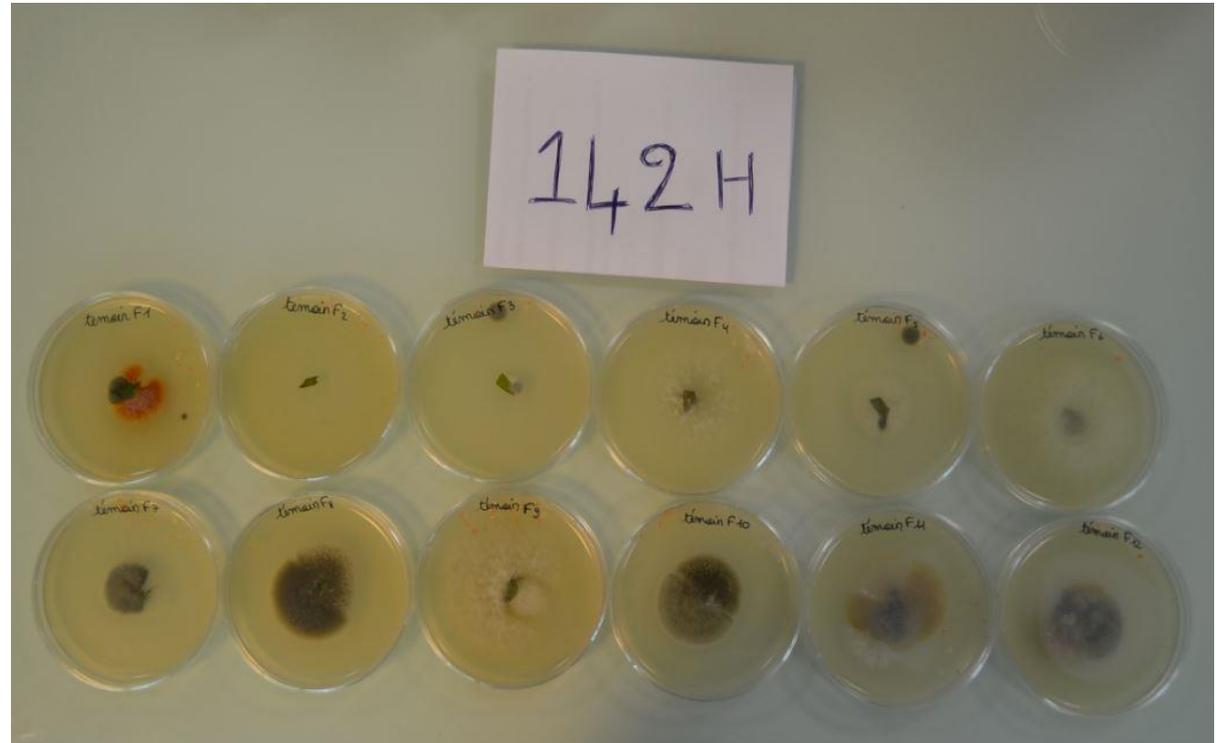


Trianium : produit commercial contre la Pourriture grise



Expérimentation au champs de vigne

Feuilles Témoins



Feuilles + *Trichoderma*





Racines saines

Femelle *Meloidogyne incognita*



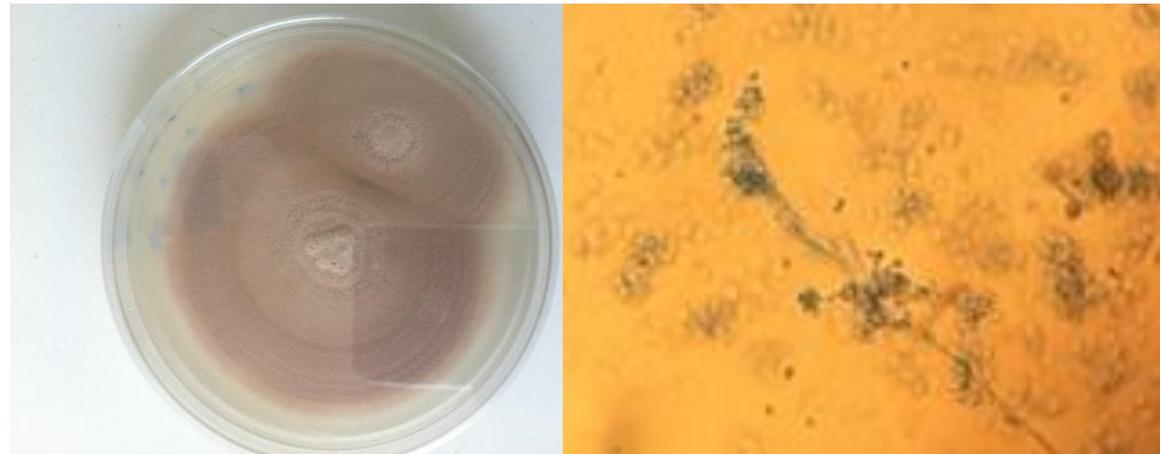
Racines contaminées
(galles)



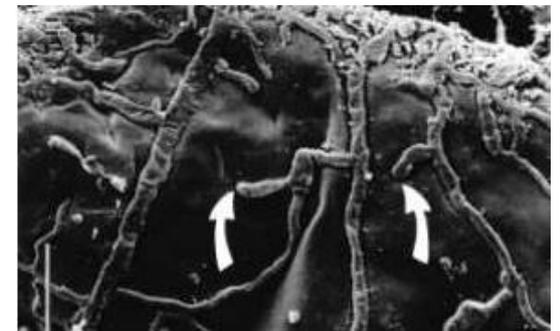
Deux champignons filamenteux : agents actifs contre les nematodes à galles



Trichoderma harzianum T-22
(Trianum)



Paecilomyces lilacinus (Bio-Act)



Beauveria bassiana et son développement sur des insectes

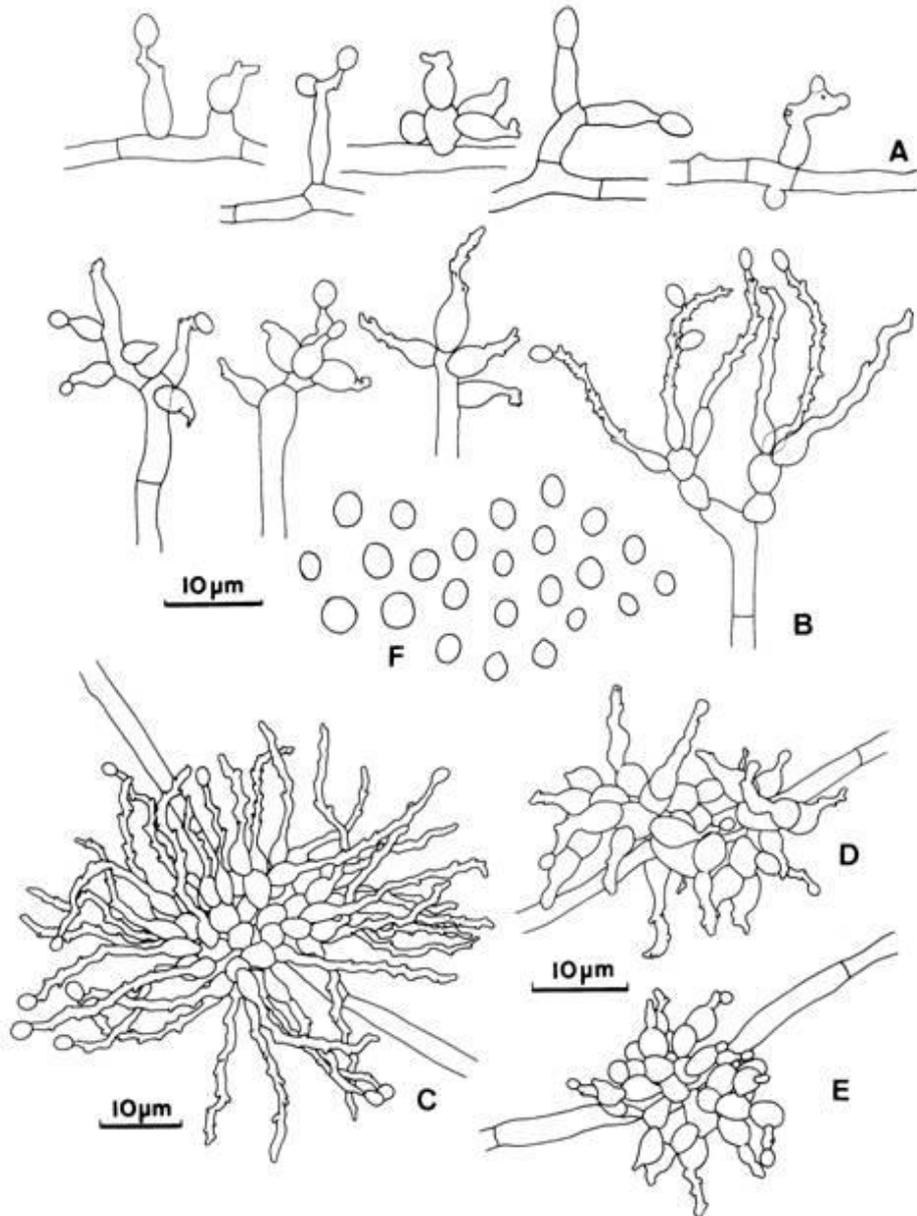


Le début de *Beauveria bassiana* sur une cigale Chorus (Taranaki Educational Resource: Research, Analysis and Information Network)



Beauveria bassiana sur l'hôte d'un longicorne (Taranaki Educational Resource: Research, Analysis and Information Network)

Description de *Beauveria bassiana*



Structures conidiogènes;

Phyalides:
conidiogènes

Cellules

Conidies

(Tzean S. S., 1997)

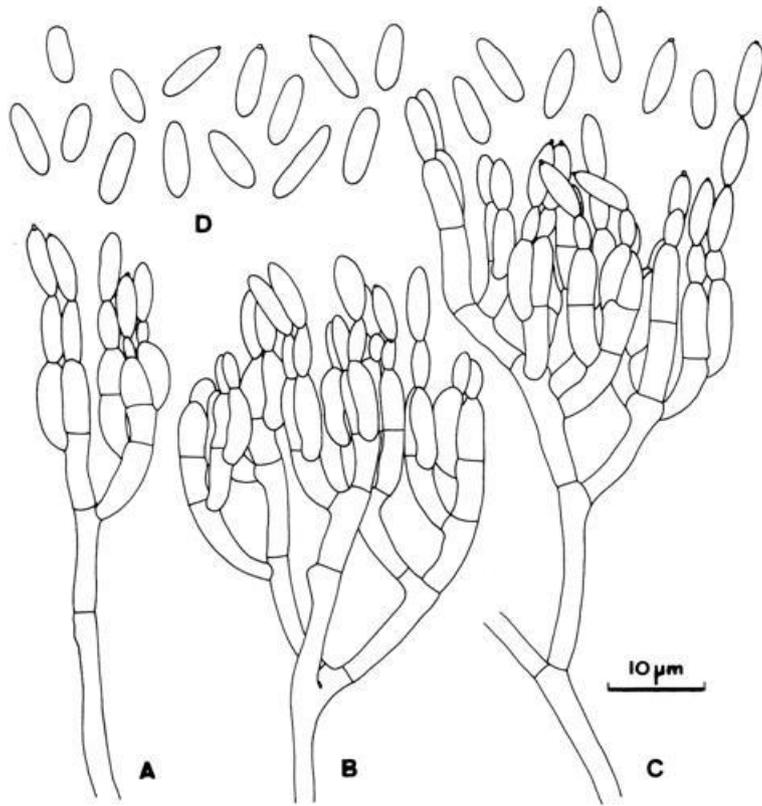
Metarhizium anisopliae: son développement sur des insectes



Description de *Metarhizium anisopliae*

Metarhizium anisopliae est un champignon hyphomycète qui est pathogène pour un large éventail d'ordres d'insectes.

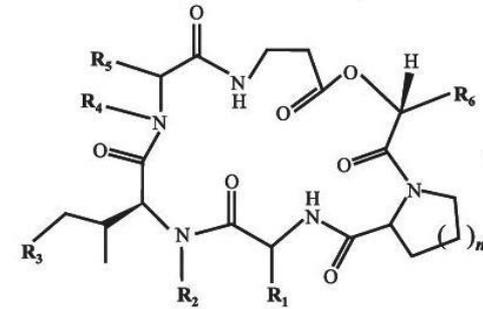
M. anisopliae est cosmopolite dans la nature comme saprophyte et les souches se produisent naturellement dans le sol (Bischof et al. 2009, Entz, 2005).



Mycotoxines produites par *Metarhizium anisopliae*

Les Destruxines sont des mycotoxines spécifiques constituées d'acides aminés. Une grande variation intraspécifique et interspécifique a été rapportée dans la production de destruxines par *M. anisopliae*, une toxine importante qui donne l'efficacité biologique de champignon comme insecticide (Liu et al. 2004 ; Valencia et al., 2011).

Les seules mycotoxines détectées dans l'insecte à des stades avancés de l'infection avec des quantités suffisantes pour causer la mort étaient les **destruxines** (dtxs) (Bing-Lan, et al., 2012).

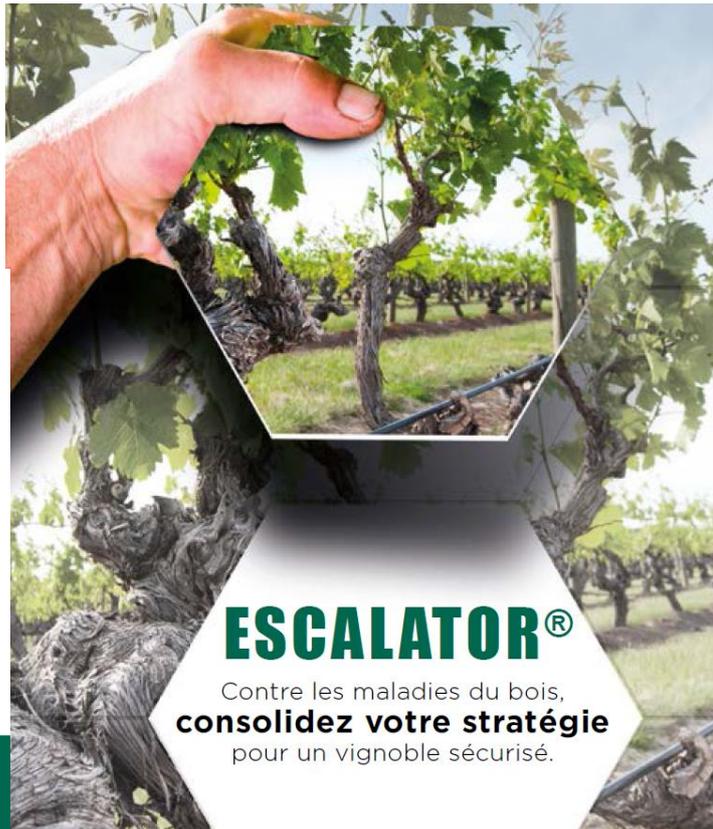


Utilisation commerciale de *Trichoderma asperellum*

PROTECTION DES PLAIES DE TAILLE



DE SANGOSSE



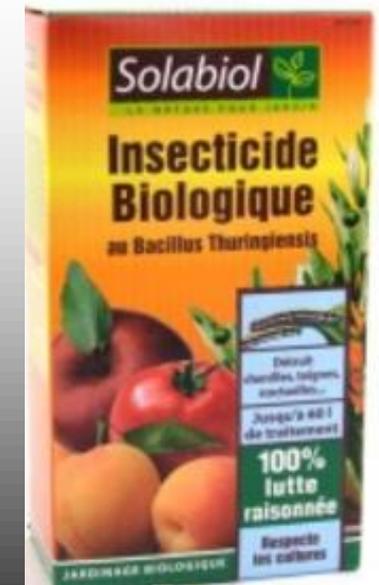
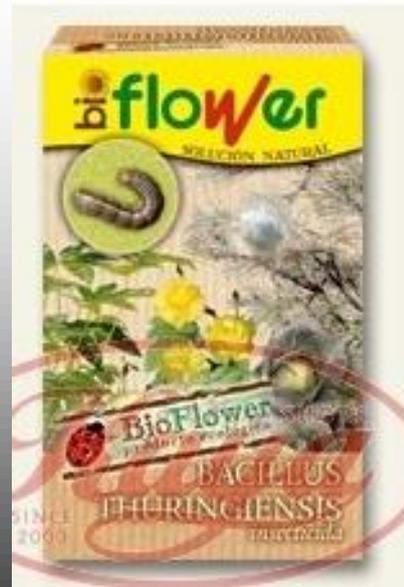
ESCALATOR®

Contre les maladies du bois,
consolidez votre stratégie
pour un vignoble sécurisé.



N° AMM	2180120
COMPOSITION	<i>Trichoderma asperellum</i> souche ICC012 + <i>Trichoderma gamsii</i> - souche ICC080
FORMULATION	Poudre mouillable (WP) 3 x 10⁷ CFU / g
USAGE	Vigne*Trt des Part. Aér* Esca Vigne*Trt des Part. Aér* BDA
CLASSEMENT	Non classé
ZNT AQUATIQUE	5 m des points d'eau
DRE	6 h
DAR	BBCH10
Nombre appli max	2 / ha / an
LMR	Exempt

Produits commerciaux à base de *Bt*



Les produits commerciaux homologués : Les Champignons filamenteux



Perspectives: Le marché des Biopesticides

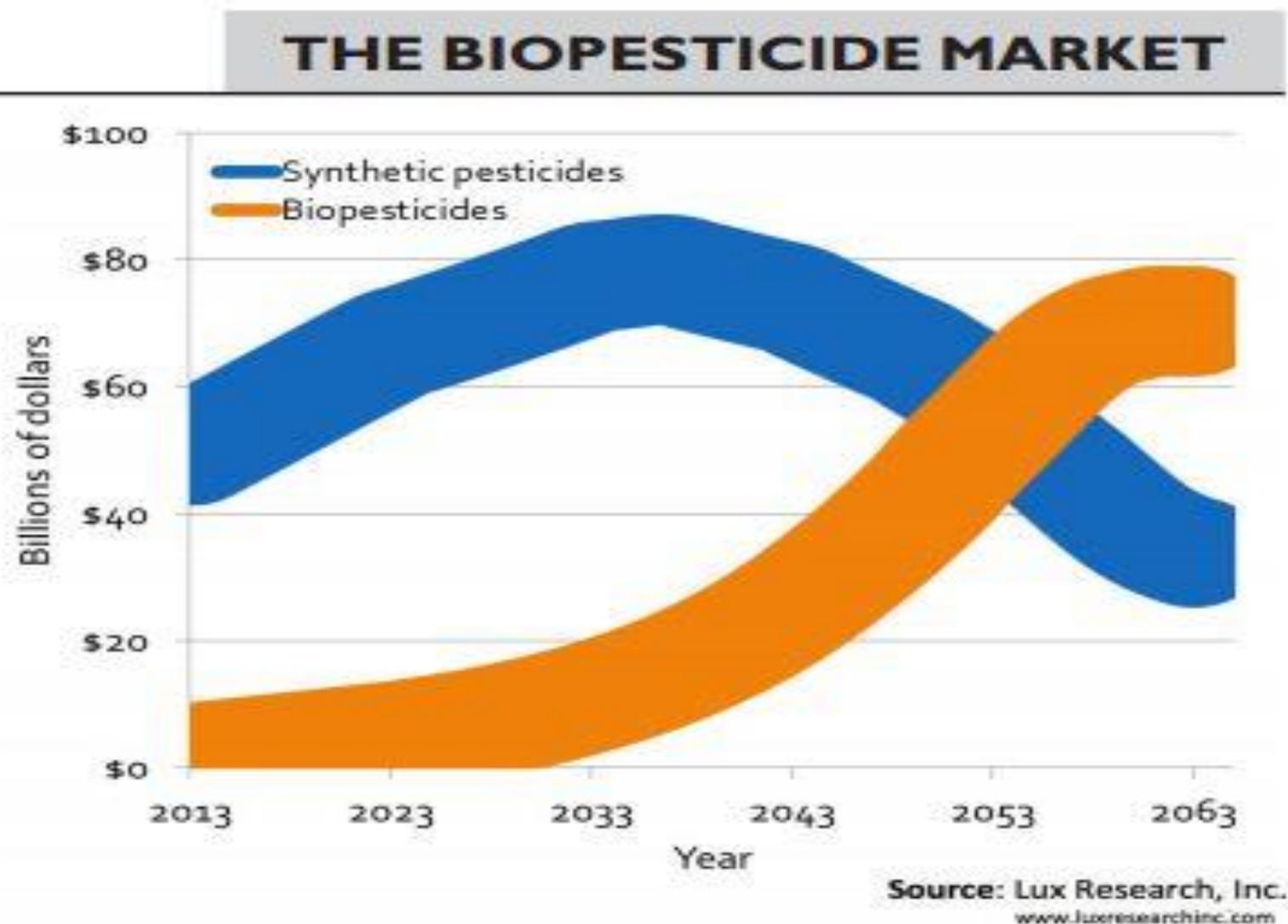


Figure 3. The biopesticide market will continue to grow as synthetic pesticides reach their apex and begin to contract; there is a high degree of uncertainty in this projection, demonstrated by the thickness of the lines.

Conclusions

- 1- L'aire de la révolution verte « tout pesticides » : fin proche ?
- 2- Le lobby très puissant des industries chimiques, est très actifs, mais,
- 3- Les associations s'organisent et attaquent les grandes firmes
- 4- Les politiques se réveillent, des nouvelles lois sont votées
- 5- Malheureusement peu des nouveaux produits BIOCONTROLE sont autorisés
- 6- **Comment nourrir la planète avec exclusivement du bio???**
- 7- **Biopesticides, Biofertilisants, Biostimulants: l'AVENIR**
- 8- **La France est un grand pays agricole et un grand utilisateur de pesticides**
- 9- Les « déchets/sous produits » agricoles et de la pêche nombreux, renouvelables
- 10- Ces Coproduits sont parfaits pour l'élaboration des ABC
- 11- Et vous, où se placent vos projets de recherche?
 - Biopesticides
 - Biofertilisants
 - Biostimulants
 - Substances naturelles et minérales
- 12- Création d'entreprises dans ces domaines pour la production, mais aussi la création des bureau d'études pour l'homologation et le contrôle.

Publications du groupe



Process Biochemistry 40 (2005) 1037–1042

PROCESS
BIOCHEMISTRY

www.elsevier.com/locate/procbio

Vol. 57, n. 8: pp. 831–841, November–December 2014
http://dx.doi.org/10.1590/S1518-8913201402540
ISSN 1518-8913 Printed in Brazil

BRAZILIAN ARCHIVES OF
BIOLOGY AND TECHNOLOGY
AN INTERNATIONAL JOURNAL

Effect of aeration and substrate moisture content on sporulation of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*

T. Arzumanov^{a,*}, N. Jenkins^a, S. Roussos^b

Commercial Biological Control Agents Targeted Against Plant-Parasitic Root-knot Nematodes

Marie-Stéphane Tranier^{1*}, Johan Pognant-Gros¹, Reynaldo De la Cruz Quiroz², Cristóbal Noé Aguilar González², Thierry Mateille³ and Sevastianos Roussos¹

Critical Reviews
in Biotechnology

<http://informahealthcare.com/bty>
ISSN: 0738-8551 (print), 1549-7801 (electronic)

Crit Rev Biotechnol, Early Online: 1–8
© 2013 Informa Healthcare USA, Inc. DOI: 10.3109/07388551.2013.857292

informa
healthcare

REVIEW ARTICLE

Challenges and opportunities of the bio-pesticides production by solid-state fermentation: filamentous fungi as a model

Reynaldo De la Cruz Quiroz¹, Sevastianos Roussos², Daniel Hernández³, Raúl Rodríguez¹, Cristóbal N. Aguilar¹



MICOLOGIA APLICADA INTERNACIONAL, 21(2), 2009, pp. 33–50
© 2009, BERKELEY, CA, U.S.A.
www.micaplint.com

Review

PRODUCTION OF FUNGAL BIOLOGICAL CONTROL AGENTS THROUGH SOLID STATE FERMENTATION: A CASE STUDY ON *PAECILOMYCES LILACINUS* AGAINST ROOT-KNOT NEMATODES

D. BRAND^{1,2}, C. R. SOCCOL¹, A. SABU^{2,3} AND S. ROUSSOS²

First step development of an effective biofungicide against *Lasiodiplodia spp.*: *In vitro* screening of *Trichoderma spp.* for biocontrol potential*

Introduction

Conclusion

Materials and methods

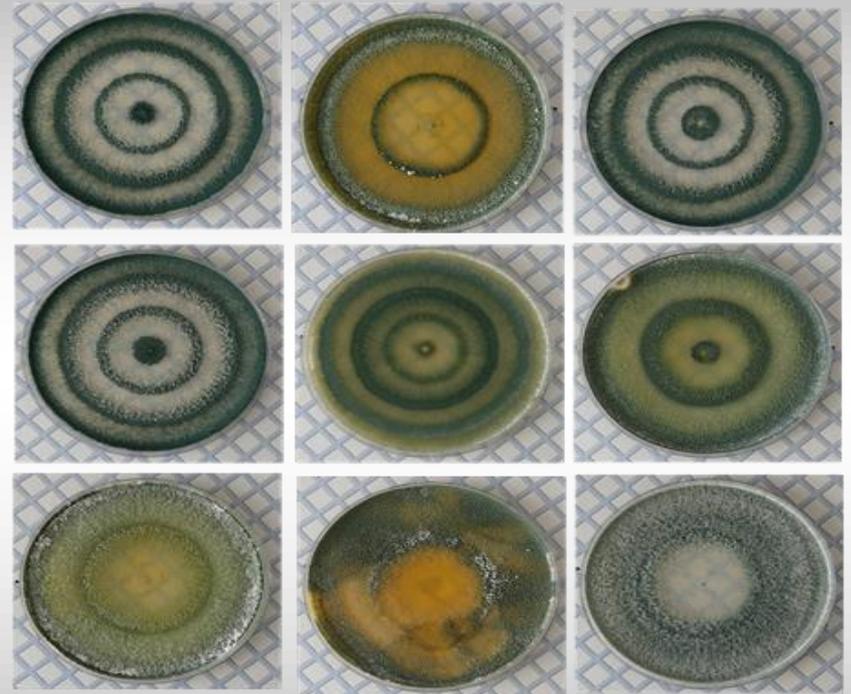
The present work was then designed to characterize and screen *Trichoderma* isolates with biocontrol ability for a biofungicide development prospect.

Nine (9) isolates were isolated from rhizosphere and characterized by studying their growth rate and sporulation

Antifungal activity of isolates was evaluated *in vitro* in Petri plate by measuring inhibition percentage of the plant pathogen.

The potent isolates showing the maximum inhibition on growth of *Lasiodiplodia spp.* was selected for further studies (Table 1).

Results



First step development of an effective biofungicide against *Lasiodiplodia* spp.: *In vitro* screening of *Trichoderma* spp. for biocontrol potential

Introduction

Conclusion

Aim of the study

Materials and methods

Results

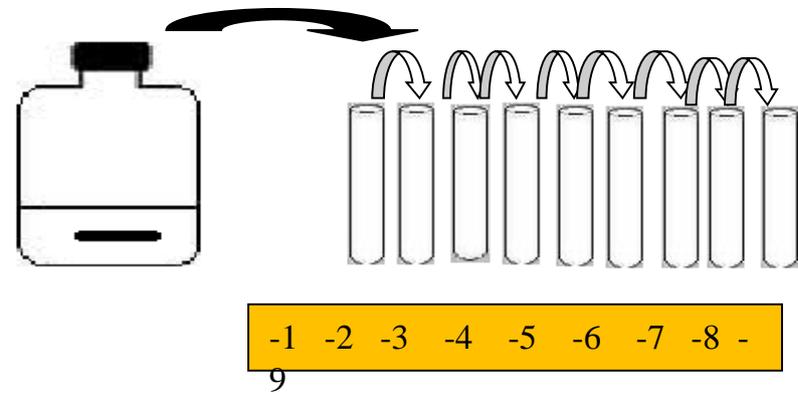
Discussion



- The results obtained (Fig. 4) could be explained by *Trichoderma*'s ability to compete for space and nutrients in ecological niche as it is known as a fast-growing fungus.
- Trichoderma* is also known to act against to plant pathogens by using various mechanisms such as the production of cell wall hydrolytic enzymes, antifungal metabolites, antibiotics, mycoparasitism (De la Cruz-Quiroz et al., 2018).
- These results suggest that the evaluated fungi are fast growing microorganisms with the ability to compete for space in ecological niches.

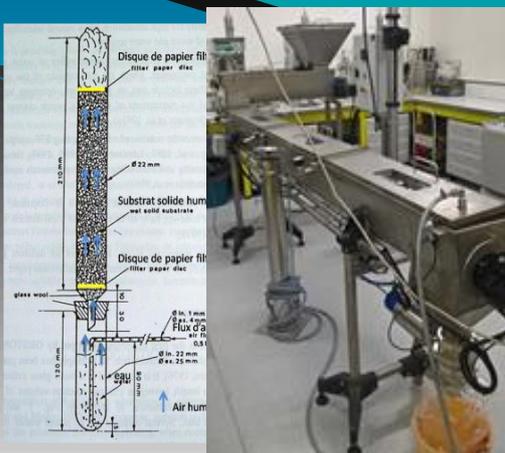
Figure 4. Selected isolates after 3, 6 and 9 days incubation during dual culture test. The first line shows the competition between *Lasiodiplodia* (left) and *Trichoderma* T1BB (right) while the second line shows the competition between *Lasiodiplodia* (left) and *Trichoderma* T7BB (right).

Viability, virulence, formulation of the products



Analysis were done and have permitted to measure the quantity of viable and virulent conidiospores over time and set up conservation conditions of biopesticides obtained by SSF in that new bioreactor.

FMS bioreactors
Biopesticide
Fungal inoculum
Olive waste Vermicomposting



Agrauxine: 2012
Idyl: 2013-2016
Soufflet: 2014
Vinovalie
Biovare



FMS- Single use
Spore production
Biopesticide

1 Patent 2014

1 PhD 2016



FMS-continuous
Enzymes, spores,
and secondary
metabolites

(1 Patent 2017)

1 PhD 2017



Respirometer
fungal growth
CO₂, O₂ analyser

1 Patent 2013



Biopesticide
Solid support
**Sugarcane
bagasse**

2 Patents 2015

1 PhD 2015



Vermicomposting
Olive mill waste
Biofertilizer

1 PhD 2018

New bioreactors for fungal growth in solid state

Pole: Expertise & knowledge transfer

Agro-industrial solid waste to high value products