



WORKSHOP en TUNISIE, 15-17 Avril, 2024

sur

**Une nouvelle technologie en agriculture: application au
Figuier de Barbarie**

Lieux des meetings : INAT, Nabeul et Zaghouan

PRIMA workshop, Tunis, 15-17 Avril 2024

SG: 1er exposé



Qu'entendons-nous avec nouvelle technologie en agriculture ?

Dr. Silvio Gianinazzi

**Directeur de recherche émérite du CNRS
CEO Sacca sarl**

PRIMA workshop, Tunis, 15-17 Avril 2024



Brève histoire de l'agriculture

- L'invention de l'agriculture a transformé les humains de migrants en sédentaires.
- Les cultivateurs ont changé radicalement le paysage de la planète en la rendant plus productive pour la survie des humains.
- L'agriculture a permis à la population humaine de croître, mais sa faible productivité (basée uniquement sur le recyclage de la matière organique) en a limité la portée.



- **La situation changea radicalement suite à la découverte en 1909** de la manière de transformer l'azote présent dans l'air (78% de l'air est constituée d'azote) en une forme assimilable par les plantes.
- Ce processus, ensuite rendu industriel (procédé Haber-Bosch), a donné naissance avec la production industrielle d'engrais phosphatés à l'ère des fertilisants artificiels et avec elle **l'explosion de la production de nourriture** (environ 4 milliards de tonnes)
- L'effet sur la croissance de la population humaine fut immédiat, ce qui la propulsa dans une position dominante avec **une population actuelle de 8 milliards d'individus** (de 1 milliard en 1800, à 6 milliards en 2000 et à 8 milliards en 2020)



Les conséquences environnementales de la révolution verte

- L'impact colossal des fertilisants chimiques, et ensuite des pesticides industriels, sur la production agricole a eu malheureusement des conséquences dramatiques pour l'environnement: pollution, désertification, perte de biodiversité, changement climatique, *.....
- En outre il y a de plus en plus d'évidences que la production de nourriture basée sur l'agrochimie ait atteint un plateau (voir par exemple diminution du nombre de molécules actives pour le contrôle des bioagresseurs)

*L'utilisation intensive de fertilisants chimiques dans la production agricole est le principal facteur contribuant à l'émission globale de gaz à effet serre par l'agriculture

- De plus un tiers de la nourriture produite est gaspillé au niveau mondial (FAO 2011), ce qui représente environ 1,3 milliard de tonnes par an.
40% selon une étude WWF-Tesco réalisée aussi en 2021

> De nouvelles méthodes de production agricole, et de gestion de la chaîne alimentaire , sont nécessaires.



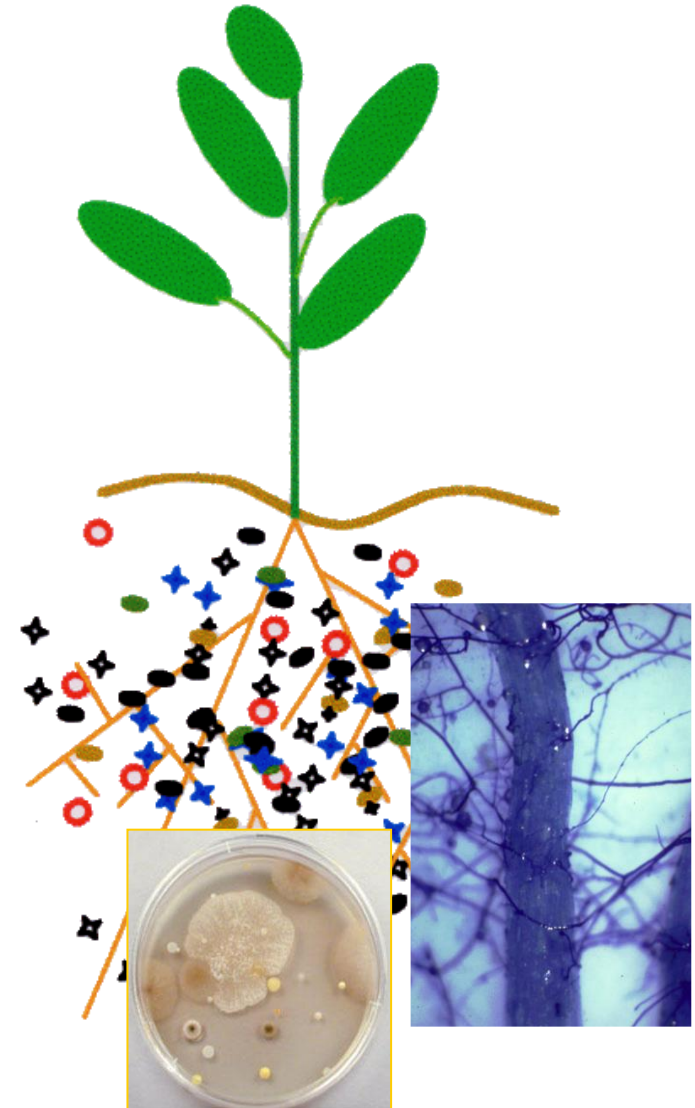
Le projet PRIMA se propose, en prenant la culture du Figuier de Barbarie comme modèle, de promouvoir des nouvelles méthodes de production non plus basées sur l'agrochimie, mais sur l'utilisation de bio-intrants**

****Tout produit naturel ou organisme vivant capable d'agir comme biostimulant, biofertilisant, ou bioprotecteur des plantes**



Comment s'en sortir?

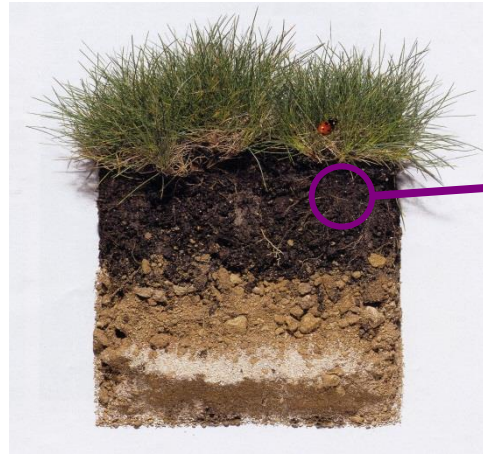
- Ces dernières décennies nos connaissances sur la biologie des plantes et des microorganismes qui leurs sont associés (**microbiote**) se sont considérablement améliorées
- Nous savons en effet que **les plantes vivent naturellement en associations avec leur microbiote** (au niveau racines et parties aériennes) et qu'elles en tirent un profit tout au long de leur développement et de la colonisation des espaces.





Soils : The Final Frontier, Science, 2005

La vie du microbiote des sols est particulièrement intense et diverse dans la rhizosphère, environnement riche en composés carbonés (exsudat des racines). **Certains des microorganismes constituant le microbiote** sont essentiels à la nutrition et à la santé des plantes, alors que d'autres peuvent avoir des effets délétères. Habituellement, dans la nature, la balance est en faveur des premiers, la communauté des plantes est stabilisée et la fertilité des sols durable.

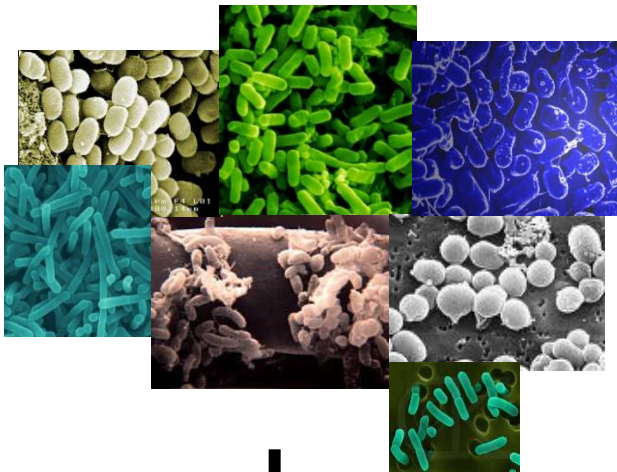


Dans 1g de sol

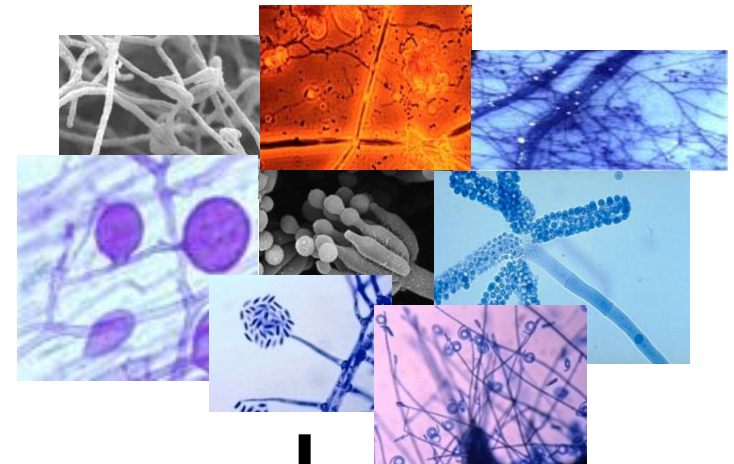


**1 milliard de bactéries
1 million d'espèces**

**1 million de champignons
1000 espèces**



1,5 tonnes/ha

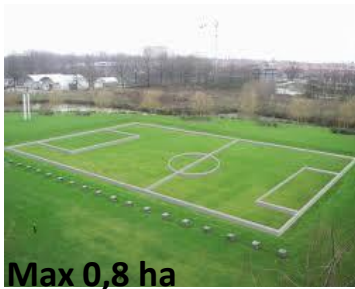


3,5 tonnes/ha

10 000 km d'hyphes/m³



Que fait-il ce microbiote dans un sol ?



Sur une surface équivalente à celle d'un champ de football, les microorganismes du sol produisent une quantité de matière organique équivalente au poids de 25 voitures





Rôle du microbiote bénéfique du sol dans la croissance des plantes



Meddad-Hamza et al., 2010



*En clair **il faut apprendre à utiliser le microbiote bénéfique du sol** afin de s'en passer des intrants chimiques de synthèse

*Il ne s'agit pas de revenir à des modes de production anciens, mais de **renverser la tendance** et promouvoir des modes de production innovants basés sur les services écologiques rendus par la biodiversité. Pour cela il ne faut pas considérer la plante comme un individu, mais comme une association d'individus (plante + microbiote), un **holobionte** (du grec holos 'tout' et bios 'vie').

*En d'autres termes:

Il faut un changement de paradigme de l'agriculture industrielle vers des systèmes agroécologiques diversifiés



Comment utiliser nos connaissances sur ces microorganismes bénéfiques du sol pour **développer une (ou de) nouvelle(s) technologie(s) en agriculture, non plus basée(s) sur l'agrochimie mais sur les bio-intrants microbiens ?**



Développer des stratégies de gestions du microbiote de l'holobionte des plantes cultivées. Trois approches sont nécessaires:

- **Connaitre les microbiotes concernés**
- **Mettre en place des stratégies de renforcement de leurs interactions avec les plantes cultivées,** notamment via le développement de **mosaïques** de culture (plantes cultivées/ plantes associées) adaptées au contextes locaux, et
- **Inoculer avec le (ou les) microbiote(s) approprié(s)**



WORKSHOP en TUNISIE, 15-17 Avril, 2024

sur

Une nouvelle technologie en agriculture: application au Figuier de Barbarie

Lieux des meetings : INAT, Nabeul et Zaghouan

PRIMA workshop, Tunis, 15-17 Avril 2024

SG: 2ème exposé



Où trouver des inocula pour le Figuier de Barbarie pour renforcer l'activité des microorganismes bénéfiques dans le sol ?

- Sur le marché des inoculants
- En créant une structure de production d'inoculants adaptés à l'agriculture du Maghreb,
 - > ce que le projet PRIMA veut promouvoir



Le marché des inoculants

Le marché des inoculants diffère selon qu'il s'agit de bactéries ou de champignons formant les mycorhizes, toutefois bien que leur nombre soit en croissance, les espèces contenues reste restreintes.



Le marché des inoculants

Par exemple dans le cas des champignons formant les mycorhizes quelques dizaine de producteurs d'inocula sont présent dans le monde et 90% leurs produits, actuellement sur le marché, sont sous une forme solide (granulés ou poudre), et seulement 10% ont une formulation liquide.





Le marché des inoculants

L'analyse de 68 de ces produits à base de champignons formant les mycorhizes montre que les espèces utilisées appartiennent toutes aux Glomeraceae (de zones tempérés), dont *Rhizophagus irregularis* (39%), *Funneliformis mosseae* (21%) et *Claroideoglomus etunicatum* (16%) et que deux tiers de ces produits contiennent un conglomérat d'espèces et qu'environ 20% contiennent aussi d'autres microorganismes bénéfiques (Salomon et *al.* 2022)





Le marché des inoculants

L'efficacité des inoculants à base de microorganismes est conditionnée par les caractéristiques du sol dans lequel ils se développent et les besoins de la plante cultivée

> Par conséquent, les inoculants du marché ne sont pas nécessairement bien adaptés à toutes les cultures





Le marché des inoculants

- > D'où la nécessité de développer des inoculants adaptés à l'agriculture du Maghreb, ce qui est un des objectifs du projet PRIMA**



Le Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) pousse dans des paysages souvent désertiques et très chaud.

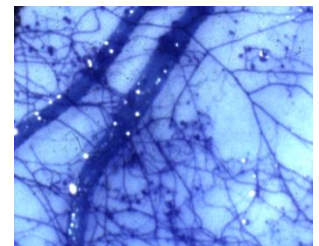
Il préfère des sols calcaires, bien drainés et de pH neutre, mais se développe également dans des sols pauvres, caillouteux ou argileux

L'appareil racinaire du Figuier de barbarie, très sensible au manque d'oxygène, est très étendu et se concentre dans les 30 premiers centimètres du sol et



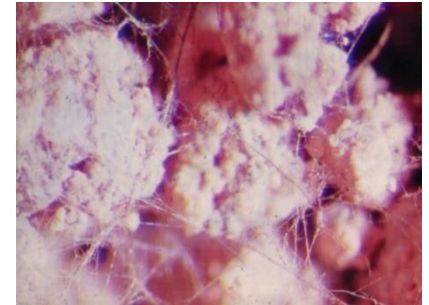
- Grace aux travaux notamment de notre projet PRIMA, nous savons que les sols où le Figuier de Barbarie se développe sont très réceptifs aux microorganismes bénéfiques, tels que des champignons formant des mycorhizes ou des bactéries fixatrices d'azote ou solubilisatrices de phosphates,
- Toutefois leur quantité dans les sols paraît insuffisante pour une stimulation optimale du développement du Figuier de Barbarie et le rendre plus résilient aux stress biotiques et abiotiques

> il convient donc d'inoculer

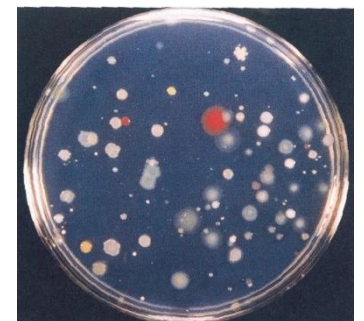




Technologies à mettre en œuvre pour la production d'inoculants



- Les technologies de production des inoculants diffèrent selon qu'il s'agit de bactéries, ou de champignons formant les mycorhizes.
- Les bactéries qui servent d'inoculants sont des microorganismes cultivables sur un milieu synthétique et peuvent donc être multipliées assez facilement dans un fermenteur, tandis que les champignons qui forment les mycorhizes chez le Figuier de Barbarie sont des biotrophes obligatoires et ne peuvent être cultivés que sur des racines vivantes



➤ Deux technologies différentes sont à mettre en œuvre



WORKSHOP en TUNISIE, 15-17 Avril, 2024

sur

Une nouvelle technologie en agriculture: application au Figuier de Barbarie

Lieux des meetings : INAT, Nabeul et Zaghouan

PRIMA workshop, Tunis, 15-17 Avril 2024

SG: 3ème exposé



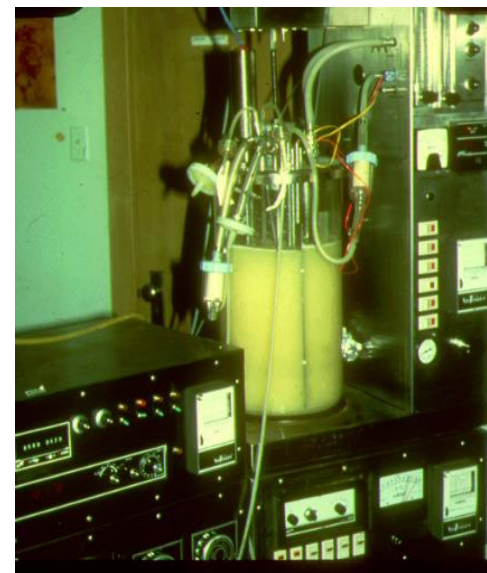
Guide pour la production d'inoculants à base de mycorhizes

PRIMA workshop, Tunis, 15-17 Avril 2024



Production d'inoculants de bactéries

- Isolement des bactéries d'intérêt du sol ou des racines
- Mise en culture des bactéries isolées sur des milieux synthétiques
- Multiplications en fermenteurs
- Formulation du produit (inoculants): solide ou liquide





Production d'inoculants à base de champignon formant les mycorhizes

Isolement des champignons du sol ou des racines



Mise en culture des champignons isolés sur **racines vivantes**



Production d'inoculum mère à partir des cultures sur racines

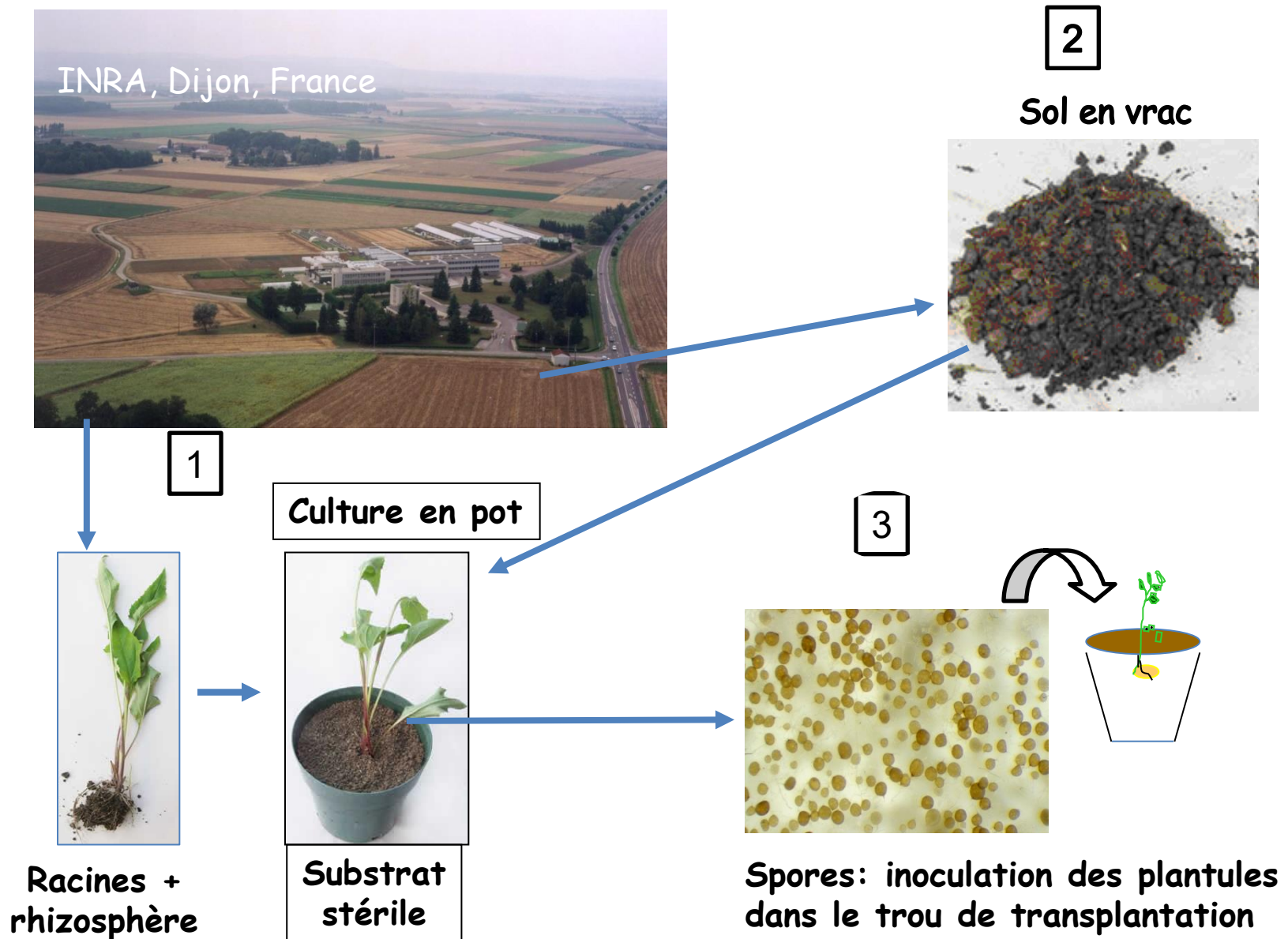


Production d'inoculum à grande échelle à partir d'inoculum mère



Formulation du produit (inoculants): très souvent solide et parfois liquide

Isolement des champignons formant les mycorhizes





Mise en culture des champignons formant les mycorhizes sur des racines vivantes





Production d'inoculum mère





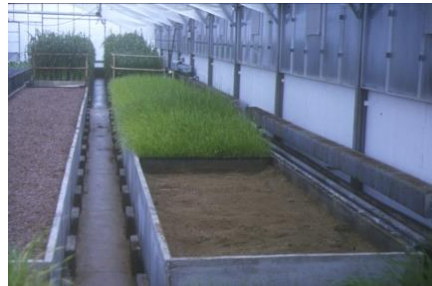
Production d'inoculants à grande échelle de champignons formant les mycorhizes

Différentes méthodes sont actuellement possibles:

- Micro parcelles en pépinière
- Containers en serre avec différents substrats et plantes
- Systèmes aéroponiques
et plus récemment :
- *in vitro* sur des racines transformées



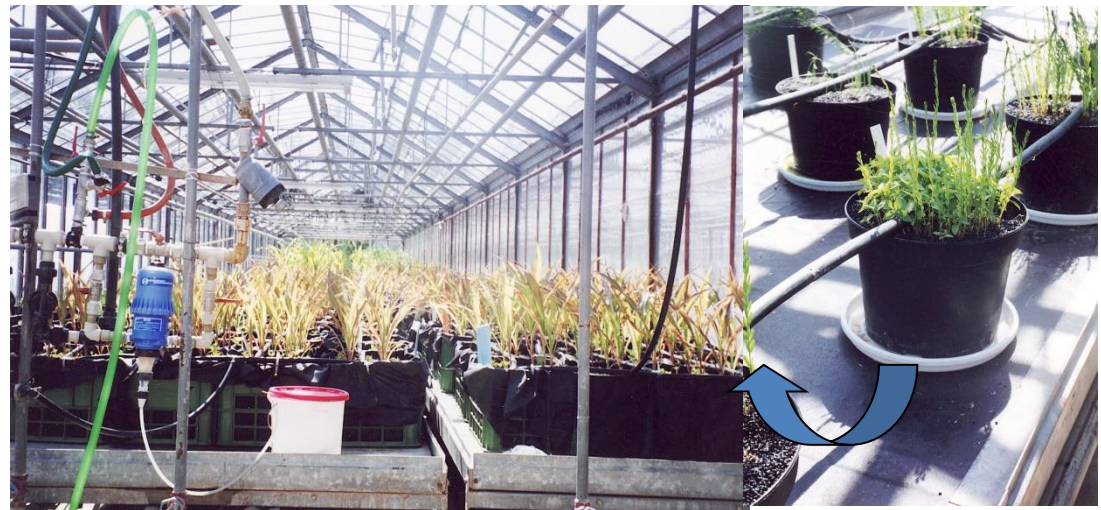
1 En micro parcelle protégée

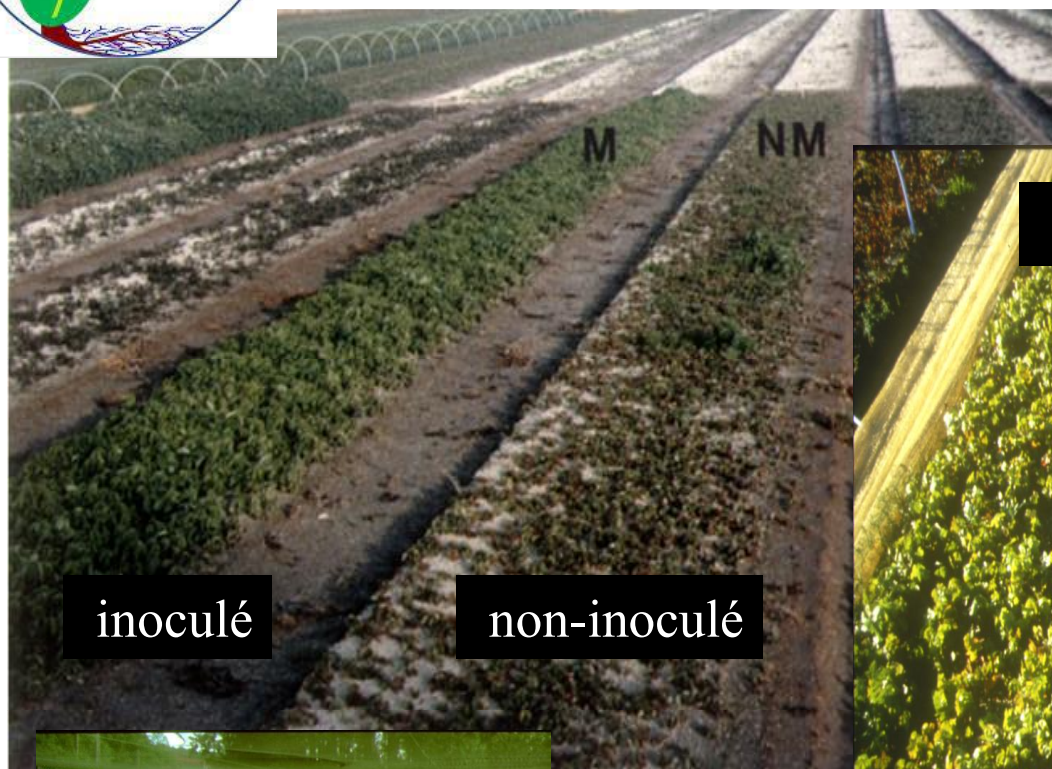


2 En container en serre



3 En caissons d'hydroponie





Levavasseur & Sébir Nurseries,
Ussy, F, 1988





Création d'une structure de production



La production d'inoculum peut se faire en serre insecte-proof dans des Bigbags de 400 L. contenant un substrat (pumice, sol désinfecté, zéolite, pouzzolane,...) apte à la culture de plantes mycorhizotrophes.



Effet nématocide



Tagetes erecta (Ta)

Système racinaires dense



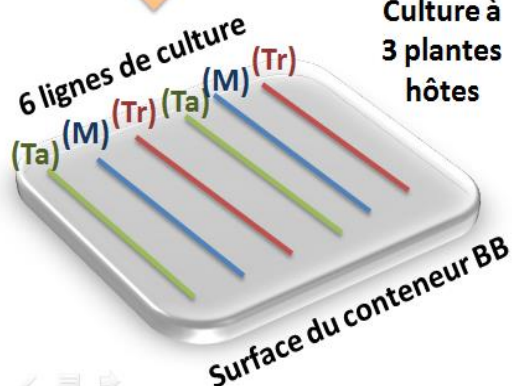
Zea mays (M)

Rhizobium



Trifolium pratense (Tr)

Mélange de 3 plantes-hôtes mycorhizotrophes dans le système de production PLANTAbiotek



Culture à
3 plantes
hôtes



Exemple de culture à 2 plantes hôtes

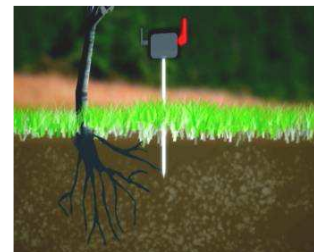
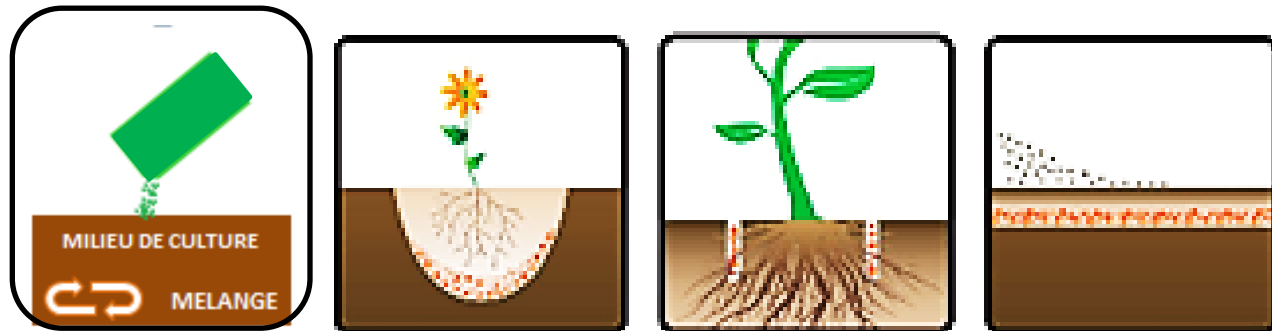


La partie aérienne est coupée et éliminée, les racines sont morcelées. Le substrat et les racines morcelées sont mélangés et le tout ensaché et prêt à être utilisé en production végétale





Comment inoculer

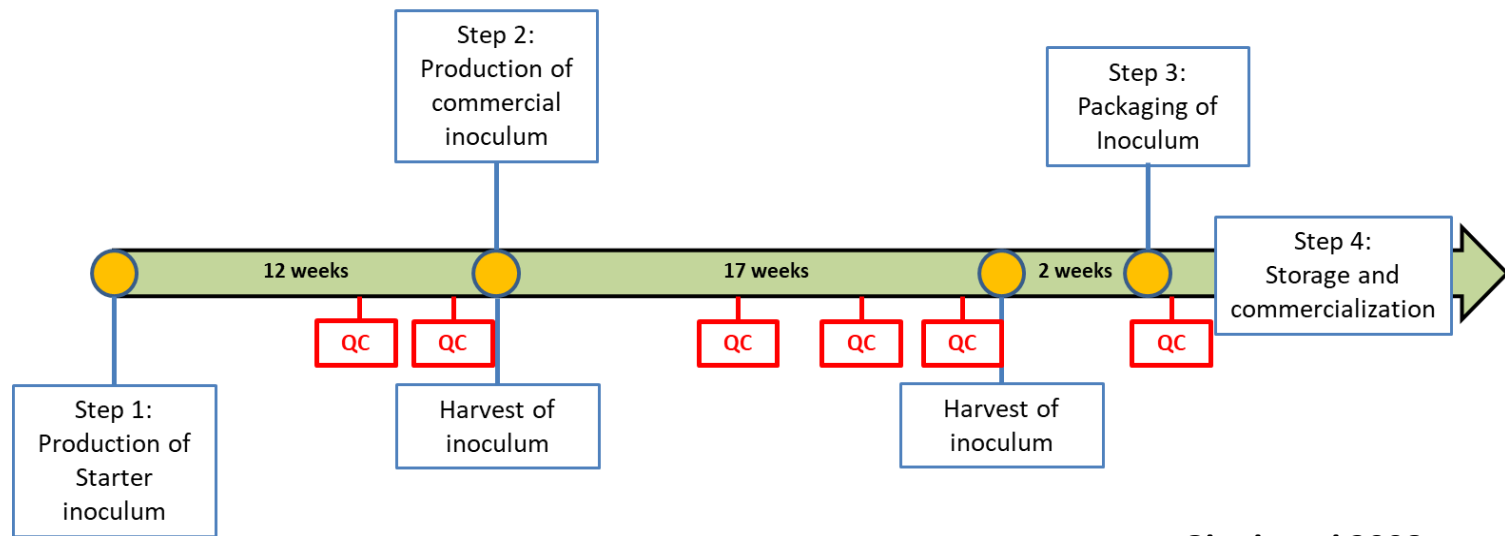


Cas des oliviers, Valencia, SP



GENOMYCA
QLK5-CT-2000-01319
NAS QLRT-CT-2001-02804





Gianinazzi 2008

Étapes et durée dans la production à grande échelle d'un inoculant à mycorhizes



CONTRÔLE DE QUALITE DES INOCULA DE CMA

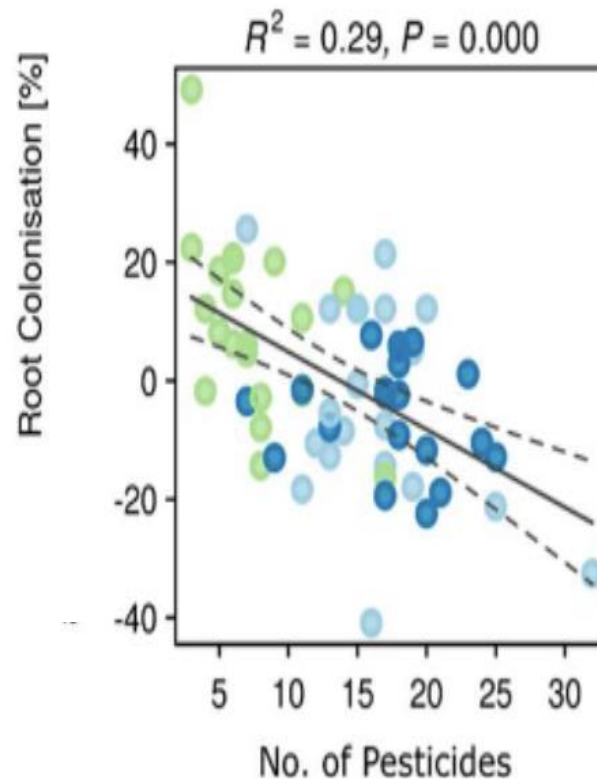
Paramètres (recommandations pour des standards de qualités)

- Propriétés physico-chimiques des inocula
- Densité des propagules fongiques formant les mycorhizes
- Garantie d'efficacité
- Absence de contaminants microbiens
- Conditions de stockage et d'utilisation
- Absence d'éléments transgéniques pour les inocula produits sur des racines transformées



Comment maintenir actifs les microorganismes bénéfiques dans les sols agricoles?

- Maintenir une couverture végétale du sol (système de culture associées)
- Rotation des cultures mycorhizotrophes
- Eviter d'apporter des engrais chimiques de synthèse, des fongicides et des biocides
- Ne pas désinfecter le sol
- Ne pas polluer les sols (déchets de composts, polluants industriels, métaux lourds, dérivés du pétrole,...)
- Limiter aux maximum les perturbations du sol
-





MERCI

