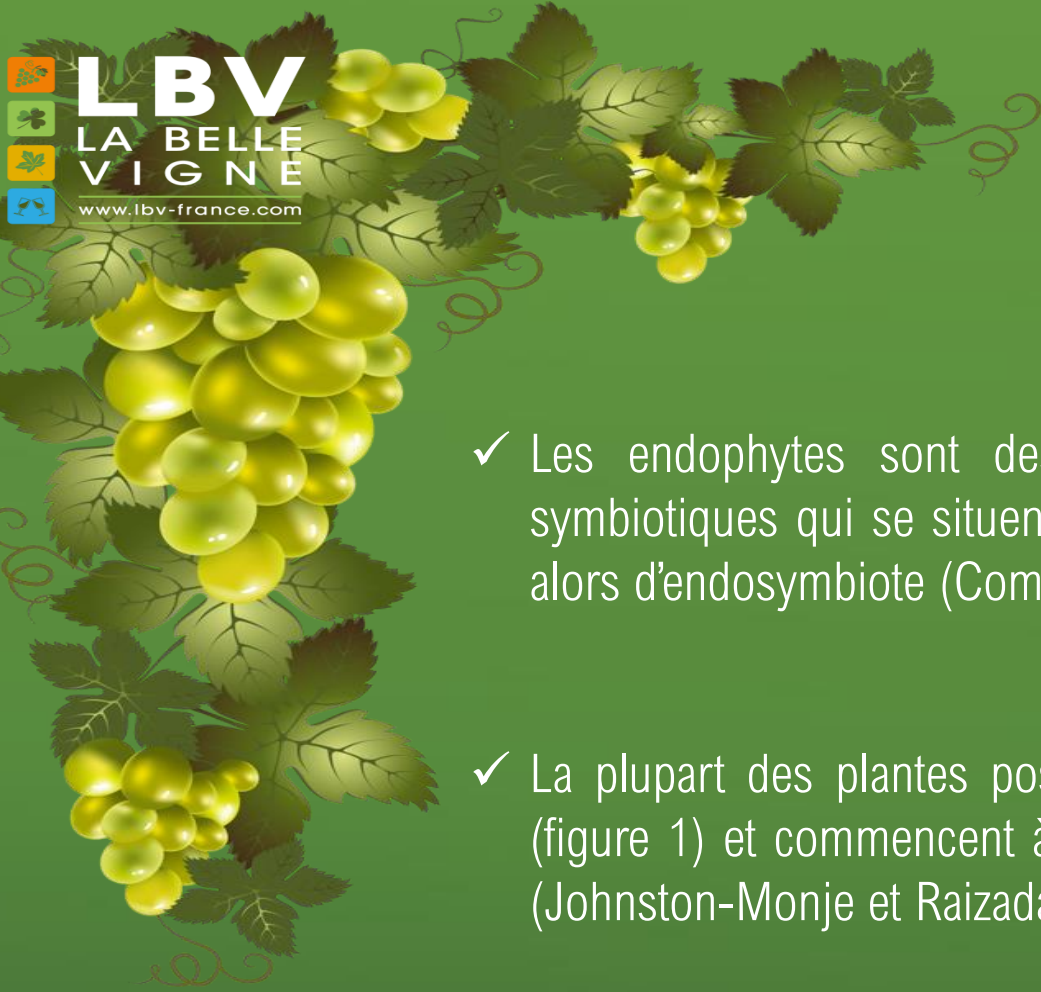


Partie I :

Les microorganismes endophytes et leurs actions sur la croissance des plantes





I) L' endophytisme chez les plantes

- ✓ Les endophytes sont des microorganismes (principalement des bactéries et des champignons) symbiotiques qui se situent dans les tissus internes de la plante sans provoquer de maladie : on parle alors d'endosymbiote (Compant et *al.*, 2010; Kandel et *al.*, 2017).
- ✓ La plupart des plantes possèdent des endophytes. Ils sont transmis généralement par les semences (figure 1) et commencent à favoriser la croissance et la santé des plantes dès que les graines germent (Johnston-Monje et Raizada, 2011; Verma et White, 2018).
- ✓ D'autres endophytes peuvent provenir du sol en étant tout aussi bénéfiques pour les plantes (Verma et White, 2018).

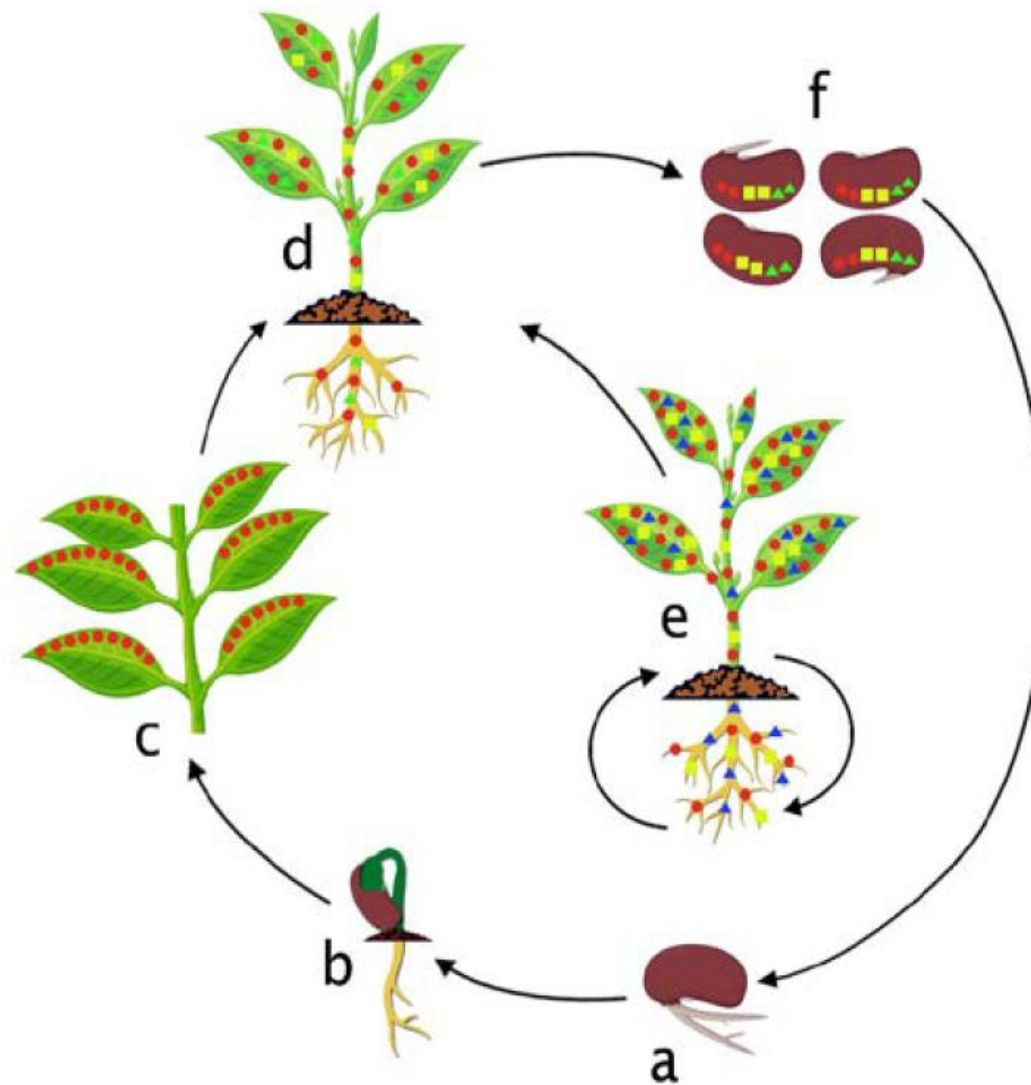
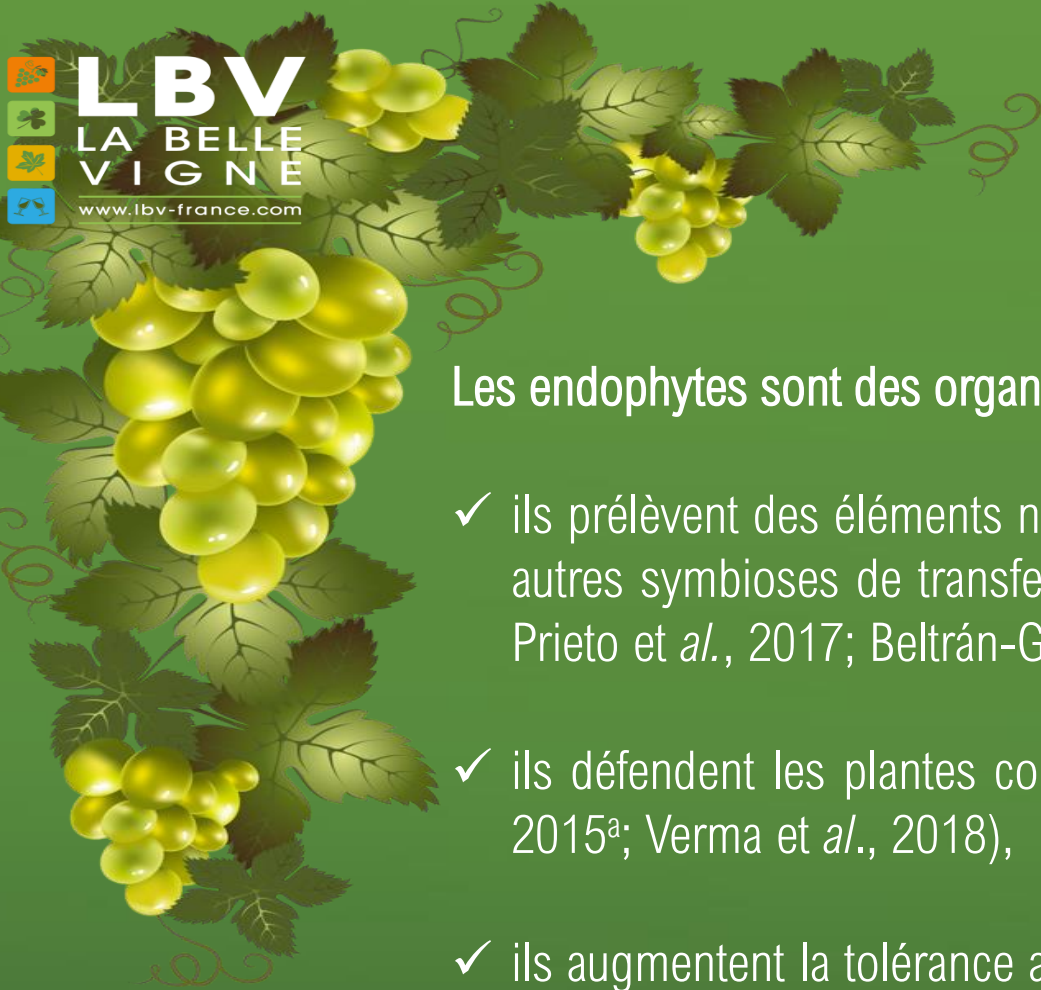


Figure 1: Hypothèse d'un cycle de colonisation des endophytes bactériens dans la plante hôte (Kandel et al., 2017).

- (a) Mobilisation des endophytes présents dans la semence au moment de la germination.
- (b) Recrutement d'endophytes étrangers du sol dans les plantules en développement.
- (c) Colonisation par des endophytes étrangers et héréditaires.
- (d) Colonisation de la plante entière par divers endophytes.
- (e) Variation des communautés d'endophytes dans la plante hôte en réponse à différents stress biotiques et abiotiques.
- (f) Transfert vertical d'endophytes.



Les endophytes sont des organismes importants pour les plantes et ils agissent de différentes manières :

- ✓ ils prélèvent des éléments nutritifs dans les sols et les transfèrent aux plantes dans le cycle rhizophage et autres symbioses de transfert d'éléments nutritifs (White et *al.*, 2012 ; Paungfoo-Lonhienne et *al.*, 2010; Prieto et *al.*, 2017; Beltrán-García et *al.*, 2014),
- ✓ ils défendent les plantes contre les agents pathogènes et les insectes (Soares et *al.*, 2015; Gond et *al.*, 2015^a; Verma et *al.*, 2018),
- ✓ ils augmentent la tolérance au stress des plantes (Redman et *al.*, 2002; Irizarry et White, 2018),
- ✓ ils suppriment la croissance des adventices (White et *al.*, 2017),
- ✓ ils dissuadent les herbivores de se nourrir (Panaccione et *al.*, 2014).





II) Effets des microorganismes sur la croissance de la plante

Les endophytes agissent sur le développement des racines de la plante:

- *Acquisition du gravitropisme* et développement des poils absorbants*

Des plantules de graminées nettoyées de la plupart de leurs endophytes perdent la réponse gravitropique de la racine et les plantules sont souvent de taille réduite (figure 2 et figure 3) avec une formation de poils absorbants réduite ou inexistante (Verma et *al.*, 2017^a ; Verma et *al.*, 2017^b).

La réinoculation d'endophytes sur des plantules stérilisées entraîne une réacquisition de la réponse gravitropique des racines ainsi qu'une augmentation de la stature de la plante et du développement des poils absorbants (Verma et *al.*, 2017^a; Verma et *al.*, 2017^b).

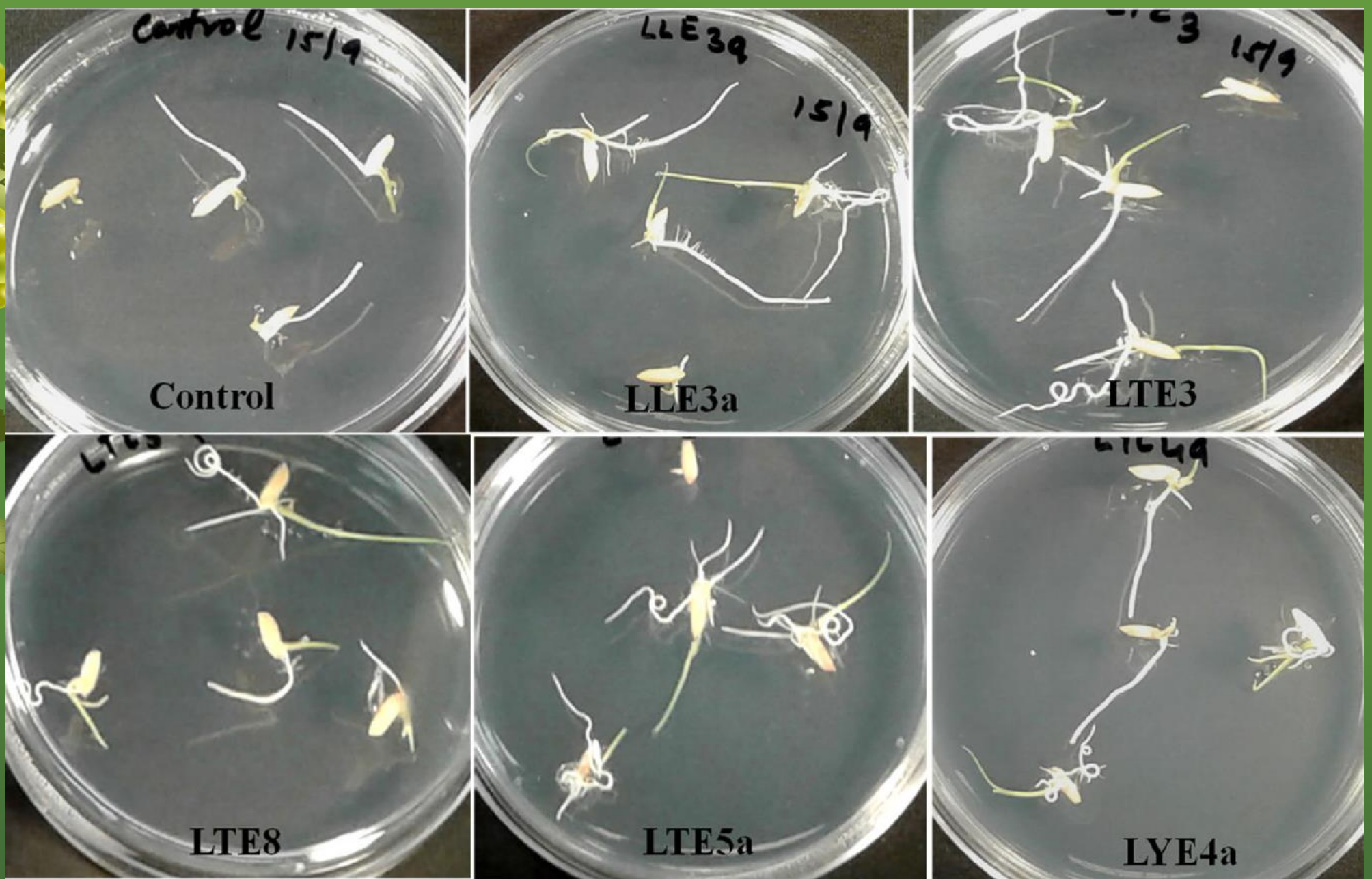


Figure 2: Effet de l'inoculation de bactéries endophytes associées aux semences sur le développement des plantules de riz après cinq jours d'incubation sur une plaque d'agarose à 0,7 %: Il y a une amélioration de la croissance des plantules dans tous les traitements avec l'inoculation de bactéries d'endophytes (LLE3a, LTE3, LTE8, LTE5a et LYE4a) par rapport au témoin sans inoculation de bactéries endophytes (Control) (Verma et al., 2017^b).

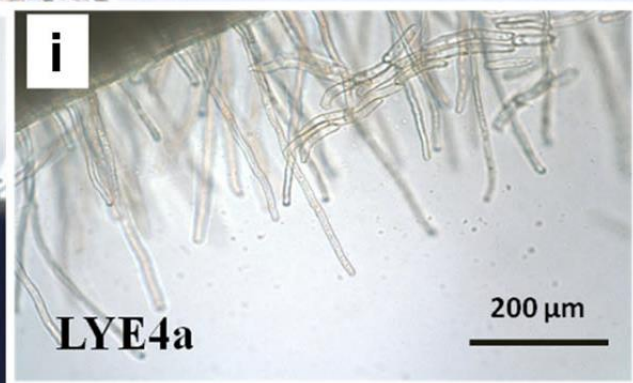
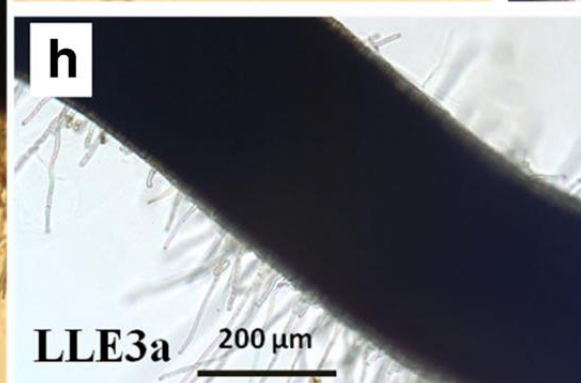
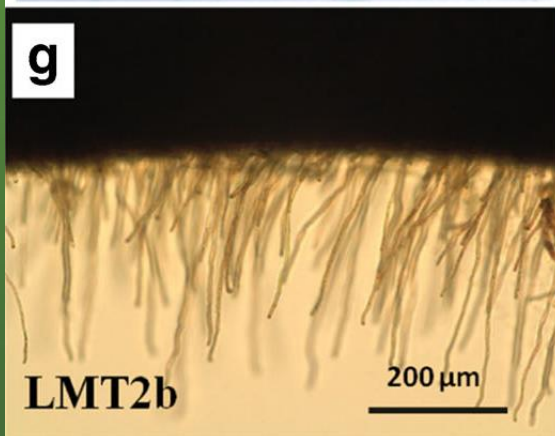
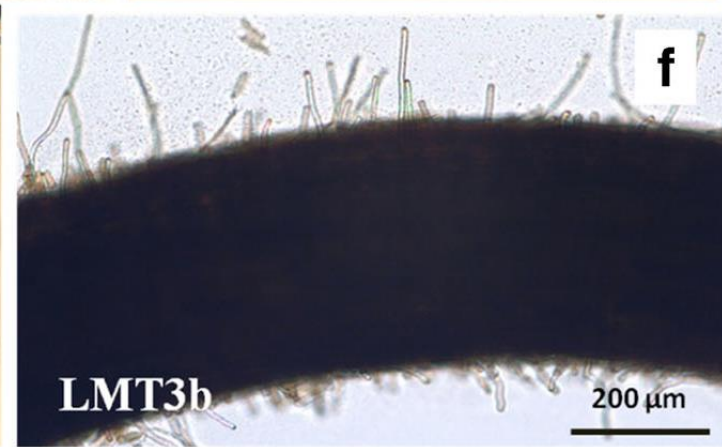
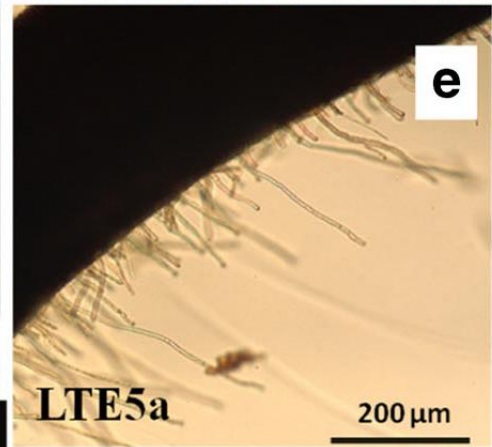
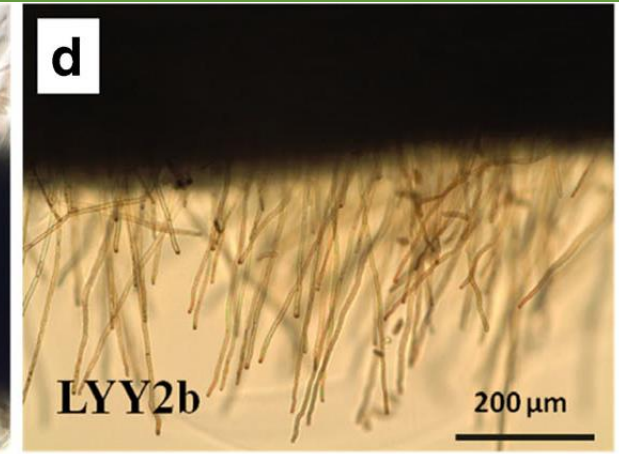
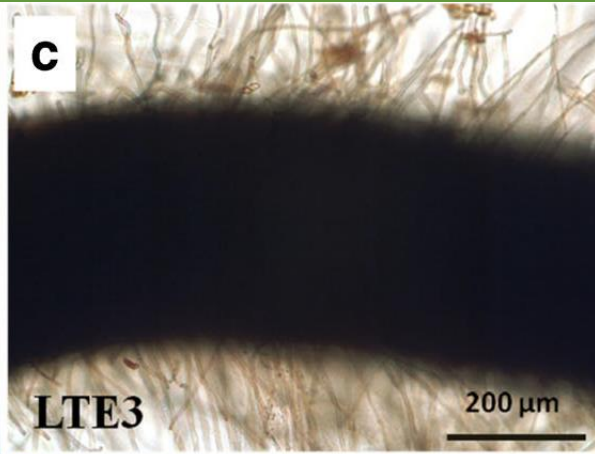
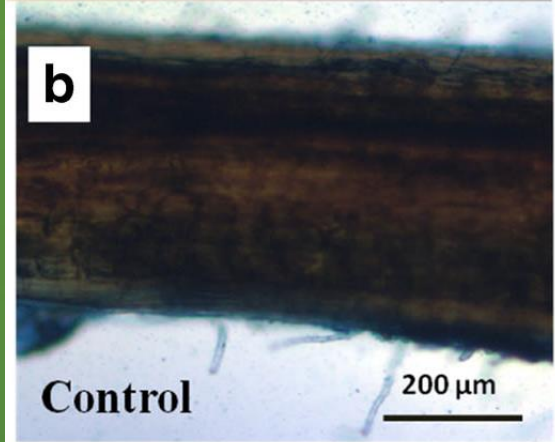
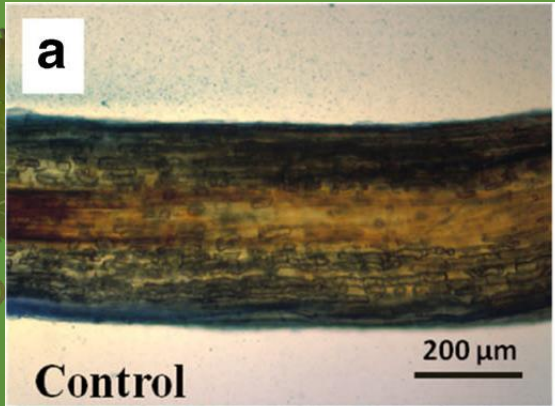


Figure 3: Effet des bactéries endophytes sur le développement des poils absorbants de la racine des plantules de riz . (a) et (b) sont des témoins (sans bactéries) avec peu ou pas de poils absorbants. (c), (d), (e), (f), (g), (h) et (i) sont inoculées avec des bactéries endophytes et ont développé des poils absorbants (Verma et *al.*, 2017^b)



- *Allongement des poils absorbants*

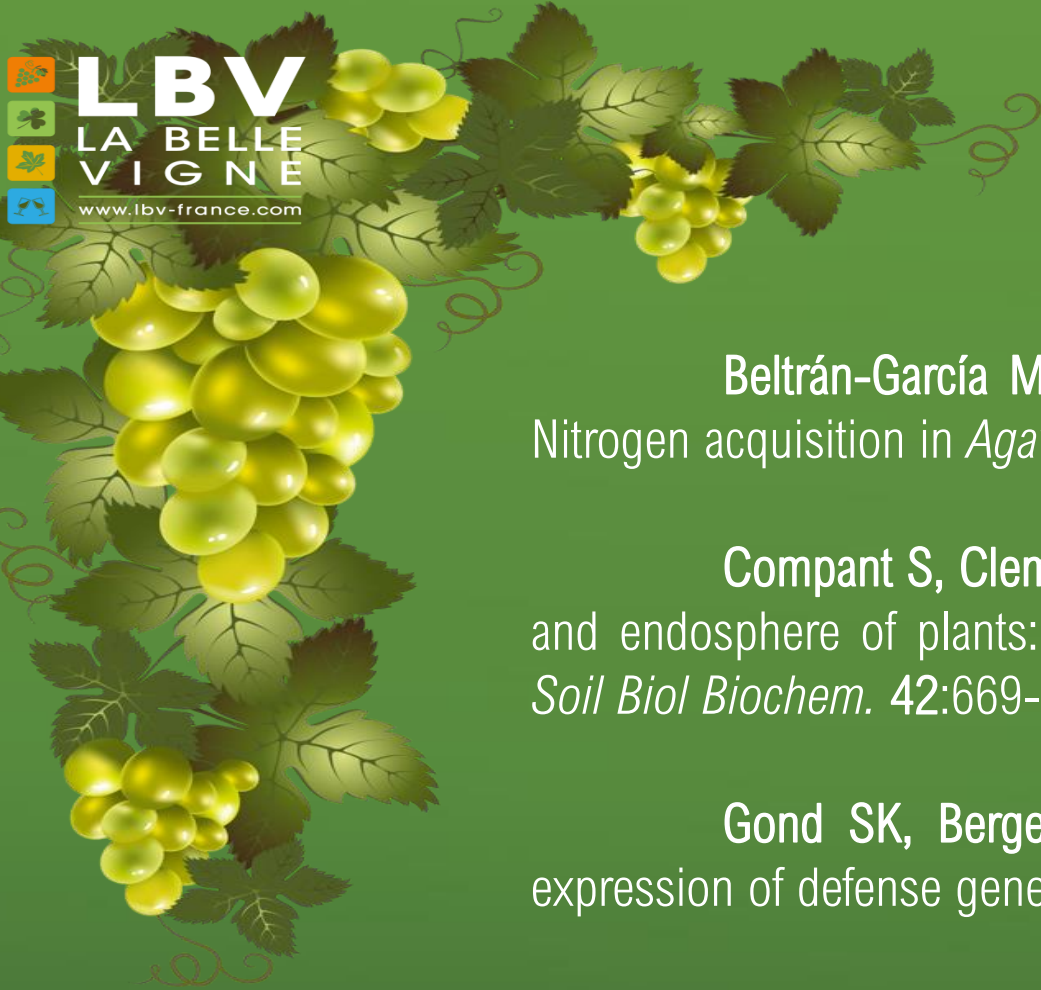
Les endophytes ont un effet sur l'allongement des poils absorbants des racines. Cet allongement peut être déclenché par la production d'oxyde nitrique ou d'éthylène par les protoplastes des endophytes qui se regroupent à l'extrémité des poils absorbants qui ainsi s'allongent (White et *al.*, 2018^b).

- *Amélioration de la croissance des racines et augmentation des ramifications racinaires*

Les endophytes des plantes permettent une amélioration de la croissance des racines et une augmentation des ramifications racinaires, entraînant ainsi une augmentation de la croissance des plantes (Compant et *al.*, 2010 ; Kandel et *al.*, 2017 ; Irizarry et White, 2018).

- Ces effets sur la croissance des racines sont généralement attribués à la production de régulateur de croissance (phytohormones) par les endophytes (White et *al.*, 2019^b).





Références bibliographiques

Beltrán-García MJ, White JF, Prado FM, Prieto KR, Yamaguchi LF, Torres MS et al. (2014). Nitrogen acquisition in *Agave tequilana* from degradation of endophytic bacteria. *Sci Rep.* 4:6938.

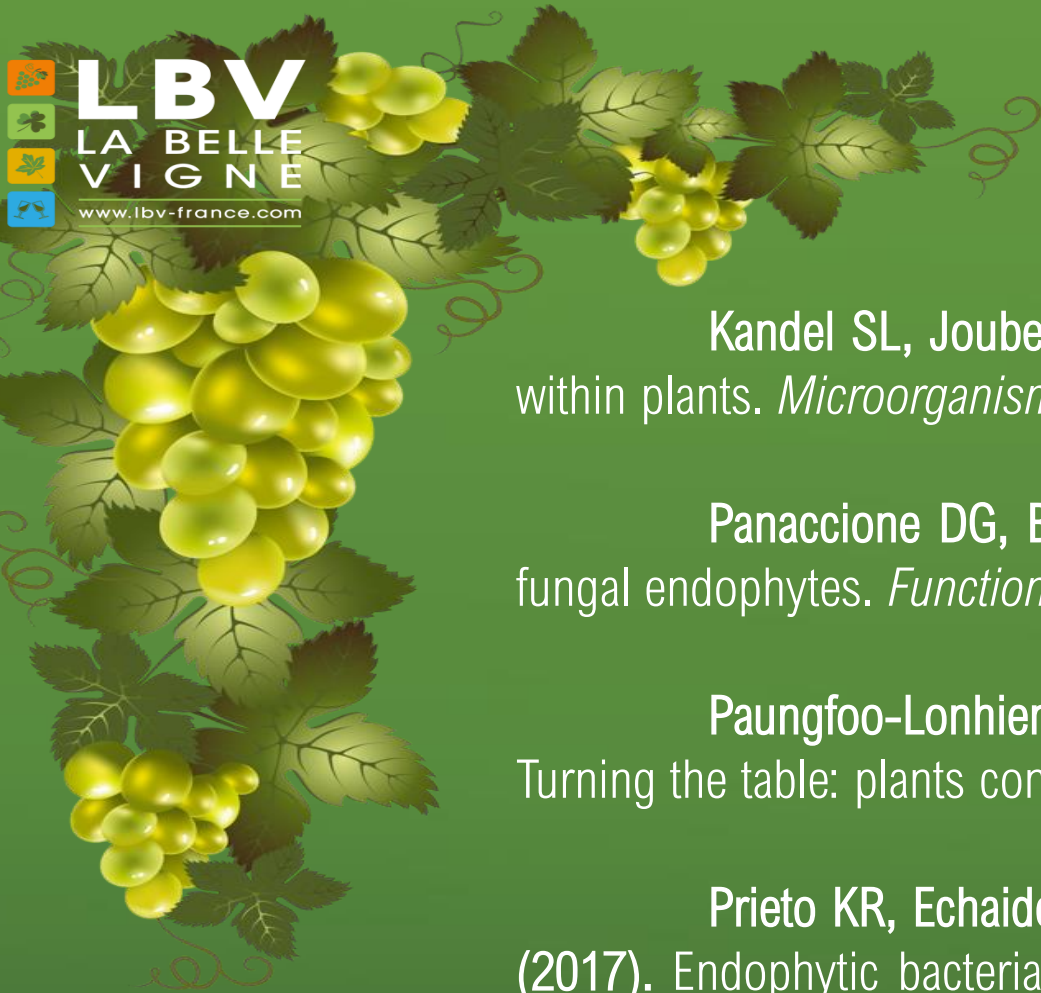
Compant S, Clement C and Sessitsch A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biol Biochem.* 42:669-678.

Gond SK, Bergen M, Torres MS and White JF. (2015^a). Effect of bacterial endophyte on expression of defense genes in Indian popcorn against *Fusarium moniliforme*. *Symbiosis.* 66:133-140.

Irizarry I and White JF. (2018). *Bacillus amyloliquefaciens* alters gene expression, ROS production, and lignin synthesis in cotton seedling roots. *J Appl Microbiol.* 124:1589-1603.

Johnston-Monje D and Raizada MN. (2011). Conservation and diversity of seed associated endophytes in *Zea* across boundaries of evolution, ethnography and ecology. *PLoS ONE.* 6:e20396.





Kandel SL, Joubert PM and Doty LS. (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. *Microorganisms*. 5:77.

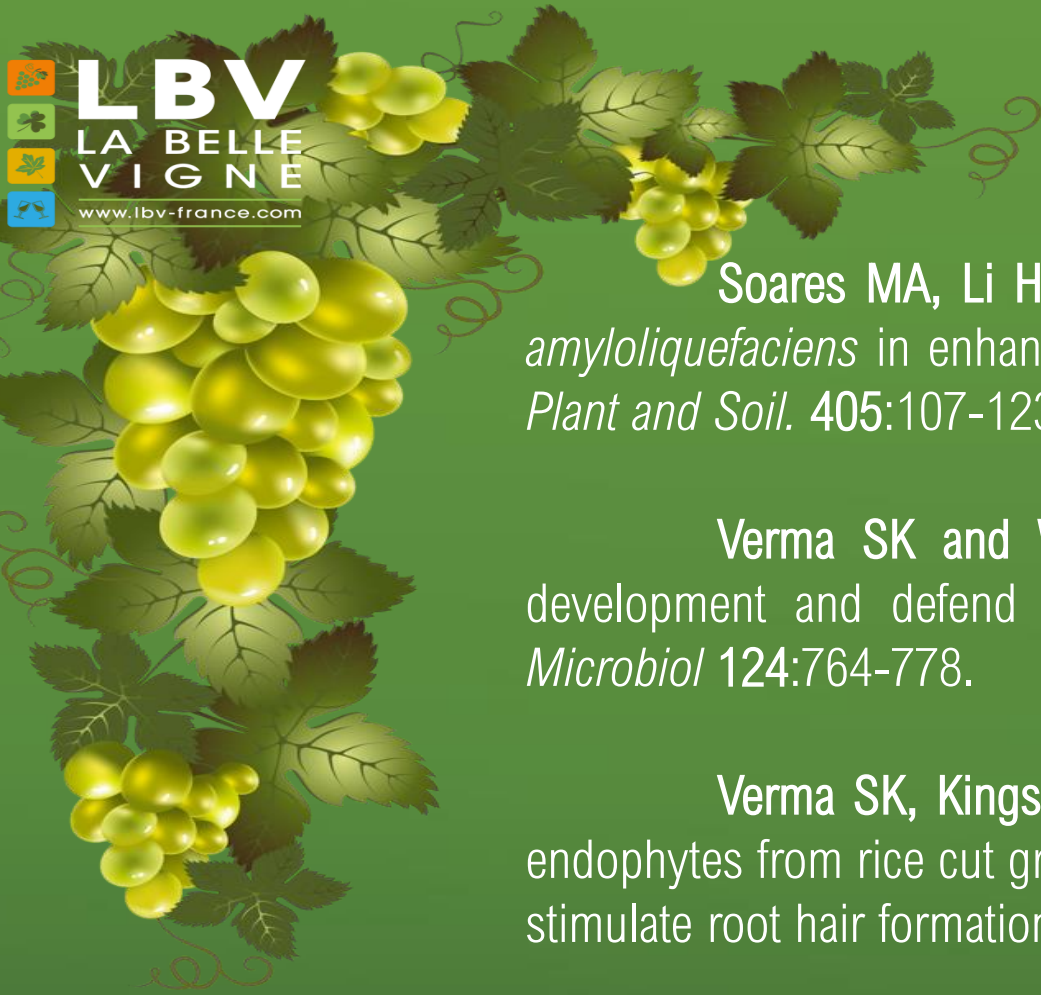
Panaccione DG, Beaulieu WT and Cook D. (2014). Bioactive alkaloids in vertically transmitted fungal endophytes. *Functional Ecol*. 28:299-314.

Paungfoo-Lonhienne C, Rentsch D, Robatzrk S, Webb RI, Sagulenko E, Nasholm T et al. (2010). Turning the table: plants consume microbes as a source of nutrients. *PLOS ONE*. 5:e11915.

Prieto KR, Echaide-Aquino F, Huerta-Robles A, Valerio HP, Macedo-Raygoza G, Prado FM et al. (2017). Endophytic bacteria and rare earth elements; promising candidates for nutrient use efficiency in plants, in *Plant Macronutrient Use Efficiency*, ed. by Hossain M, Kamiya T, Burritt D, Tram L-SP and Fujiwara T. Academic Press, Cambridge, MA, pp. 285-302.

Redman RS, Sheehan KB, Stout RG, Rodriguez RJ and Henson JM. (2002). Thermotolerance generated by plant/fungal symbiosis. *Science*. 298:1581.





Soares MA, Li H, Bergen M and White JF. (2015). Functional role of an endophytic *Bacillus amyloliquefaciens* in enhancing growth and disease protection of invasive English ivy (*Hedera helix* L.). *Plant and Soil*. 405:107-123.

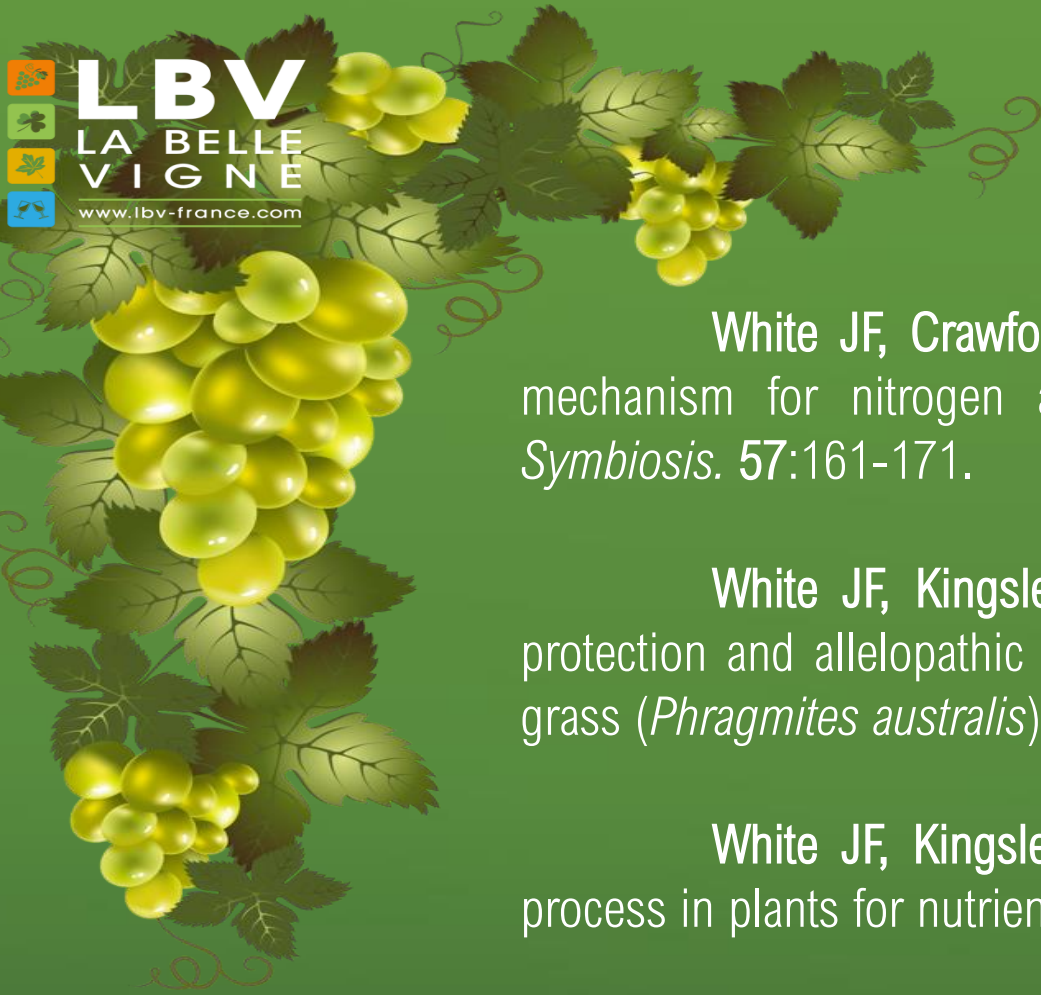
Verma SK and White JF. (2018). Indigenous endophytic seed bacteria promote seedling development and defend against fungal disease in browntop millet (*Urochloa ramosa* L.). *J Appl Microbiol* 124:764-778.

Verma SK, Kingsley K, Bergen M, English C, Elmore M, Kharwar RN et al. (2017^b). Bacterial endophytes from rice cut grass (*Leersia oryzoides* L.) increase growth, promote root gravitropic response, stimulate root hair formation, and protect rice seedlings from disease. *Plant Soil*. 422:223-238.

Verma SK, Kingsley K, Irizarry I, Bergen M, Kharwar RN and White JF. (2017^a). Seed vectored endophytic bacteria modulate development of rice seedlings. *J Appl Microbiol*. 122:1680-1691.

Verma SK, Kingsley KL, Bergen MS, Kowalski KP, White JF. (2018). Fungal disease protection in rice (*Oryza sativa*) seedlings by growth promoting seed-associated endophytic bacteria from invasive *Phragmites australis*. MDPI: Microorganisms.





White JF, Crawford H, Torres MS, Mattera R, Irizarry I and Bergen M. (2012). A proposed mechanism for nitrogen acquisition by grass seedlings through oxidation of symbiotic bacteria. *Symbiosis*. 57:161-171.

White JF, Kingsley KL, Kowalski KP, Irizarry I, Micci A, Soares MA et al. (2017). Disease protection and allelopathic interactions of seed-transmitted endophytic pseudomonads of invasive seed grass (*Phragmites australis*). *Plant Soil*. 422:195-208.

White JF, Kingsley KL, Verma SK and Kowalski K. (2018^b). Rhizophagy cycle: an oxidative process in plants for nutrient extraction from symbiotic microbes. *Microorganisms*, 6:95.

White JF, Kingsley KL, Zhang Q, Verma R, Obi N, Dvinskikh S, Elmore MT, Verma SK, Gond SK and Kowalski KP. (2019^b). Endophytic Microbes and Their Potential Applications in Crop Management. *Pest management science*. 75(10): 2558-2565.

