

L'inoculation ectomycorhizienne : un allié de taille pour la correction de la carence en fer des plants en pépinière forestière

Mohammed S. Lamhamedi, ing.f., M.Sc., *Ph.D.*

J. André Fortin *Ph.D., professeur émérite*

mohammed.lamhamedi@mffp.gouv.qc.ca

Colloque: LES MYCORHIZES: la nouvelle révolution verte
21 octobre 2022, Québec

Votre
gouvernement



cef
Centre d'étude de la forêt

Québec



Plan de la présentation



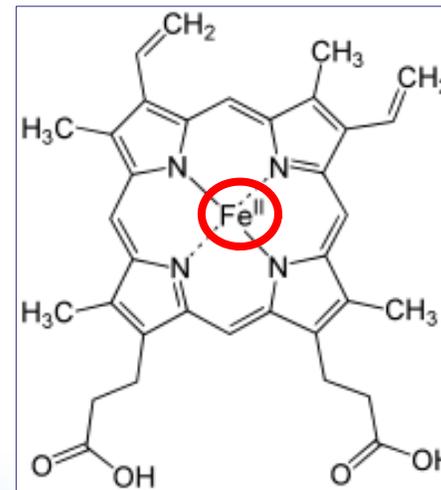
- 1- Principales caractéristiques de la carence en fer en pépinière forestière
- 2- Principales causes de cette carence en fer à une échelle opérationnelle
- 3- Exemples de carence en fer observée dans les pépinières forestières
- 4- Principales techniques culturales opérationnelles à la portée du pépiniériste pour corriger la carence en fer (ectomycorhization et autres)
- 5- Conclusion et recommandations opérationnelles

Principales caractéristiques de la carence en fer



Épinette de Norvège (Québec)

- Chlorose des jeunes aiguilles des apex (tige principale et branches latérales)
- Si la carence devient sévère et elle n'est pas corrigée rapidement, les jeunes aiguilles deviendront blanchâtres (photosynthèse) et se dessèchent
- Le fer est un élément peu mobile et indispensable à la formation et au fonctionnement du chlorophylle (cytochrome), d'où la chlorose observée dans les jeunes aiguilles.



Principales caractéristiques de la carence en fer



Pin pignon (Pinus pinea 1+0, 15-410)

Tunisie

- Si la carence n'est pas corrigée, on peut assister à une chlorose généralisée du plant (confusion avec la carence en azote), suivi d'un dessèchement des apex de la tige principale et des branches latérale (aiguilles blanches) et de leur mortalité

Eau d'irrigation riche en ions bicarbonates: HCO_3^-

Saturation du substrat en eau (excessive et prolongée: > 60%, v/v) :

- Granulométrie très fine du substrat
- Irrigation excessive
- Précipitations excessives
- Accumulation CO_2 dans la rhizosphère (respiration racines, microorganismes) et formation du HCO_3^- (400-500 ppm): pH élevé (fer), inhibition des racines, faible développement des chloroplastes (chlorophylle), d'où la chlorose (Prasad 2003).
- Saturation excessive du substrat: Effet négatif majeur sur la croissance (racines & partie aérienne) et la physiologie des plants.

Apport faible ou inexistant en fertilisant contenant du fer

Mauvais choix du fertilisant à base du fer

Principales causes de la carence en fer



pH:

Chaux calcique: CaCO_3

Chaux dolomitique: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

N- NO_3 , libération OH^- :

P:

K:

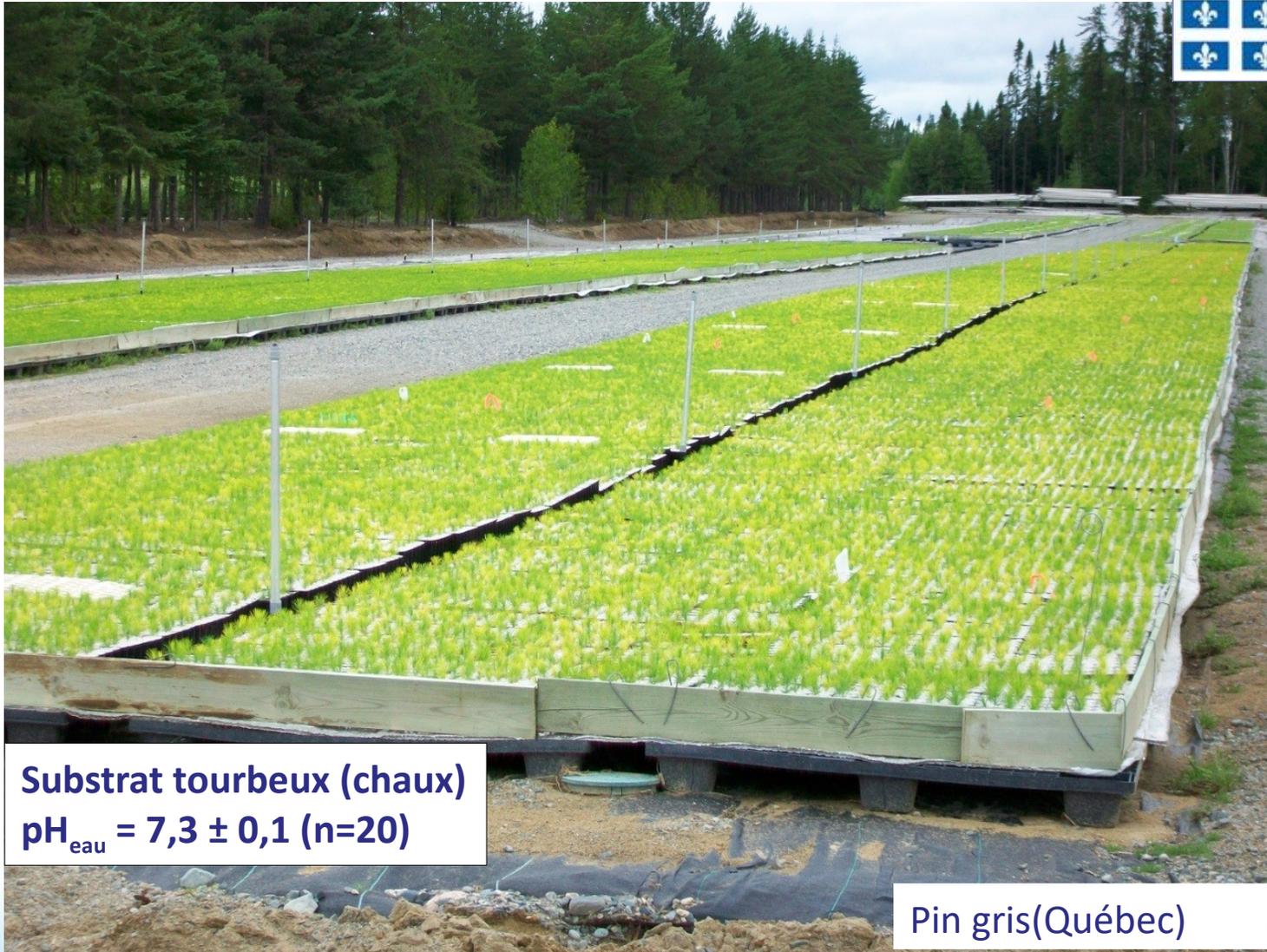
Ca:

Mn:

Cu:

Zn:

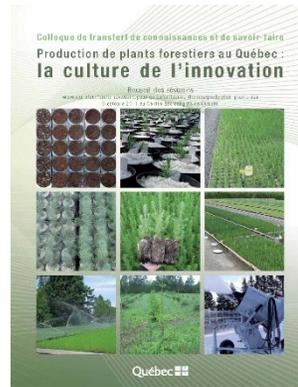
Exemples de carence en fer observée dans les pépinières forestières



Substrat tourbeux (chaux)
 $\text{pH}_{\text{eau}} = 7,3 \pm 0,1$ (n=20)

Pin gris(Québec)

Photos: M. Lamhamedi



LAMHAMEDI, M.S., M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2011. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières.* Dans : Colas, F.; Lamhamedi, M.S. (éds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), 140 p. pp : 33 – 45.

Exemple d'une carence en fer des apex des plants d'épinette blanche (1+0) due uniquement à un excès d'irrigation (Québec)



Épinette blanche



Photos: M. Lamhamed

LAMHAMED, M.S., M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2011. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières*. Dans : Colas, F.; Lamhamed, M.S. (éds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), 140 p. pp : 33 – 45.



En présence d'un substrat standard (tourbe-vermiculite, pH acide) saturé en eau de façon excessive, la concentration du CO₂ augmente (respiration des racines et des microorganismes) et favorise la formation du bicarbonate (**HCO₃⁻** : 400-500 ppm) (Prasad 2003). Le bicarbonate augmente le pH dans la rhizosphère et rend le fer non disponible, ce qui favorise la chlorose. De plus, le manque d'oxygène **bloque** la conversion de l'ammonium en nitrates. Ainsi, l'ammonium cumulé devient toxique et inhibe la croissance des racines.

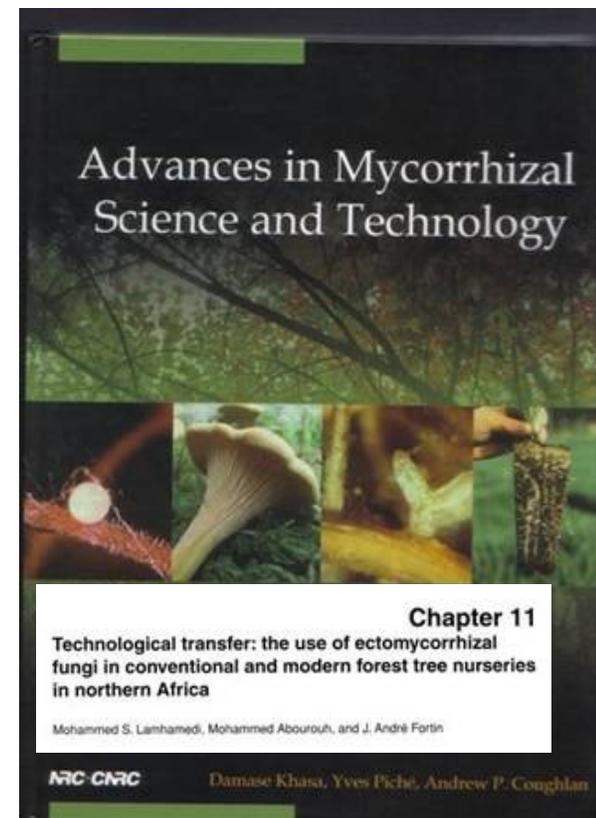
Carence en fer au Nicaragua (*Pinus oocarpa*)



pH substrat =
7,2 à 7,9



Photos: M. Lamhamedi

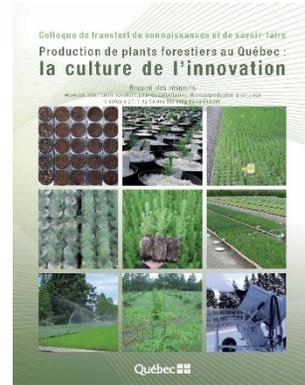
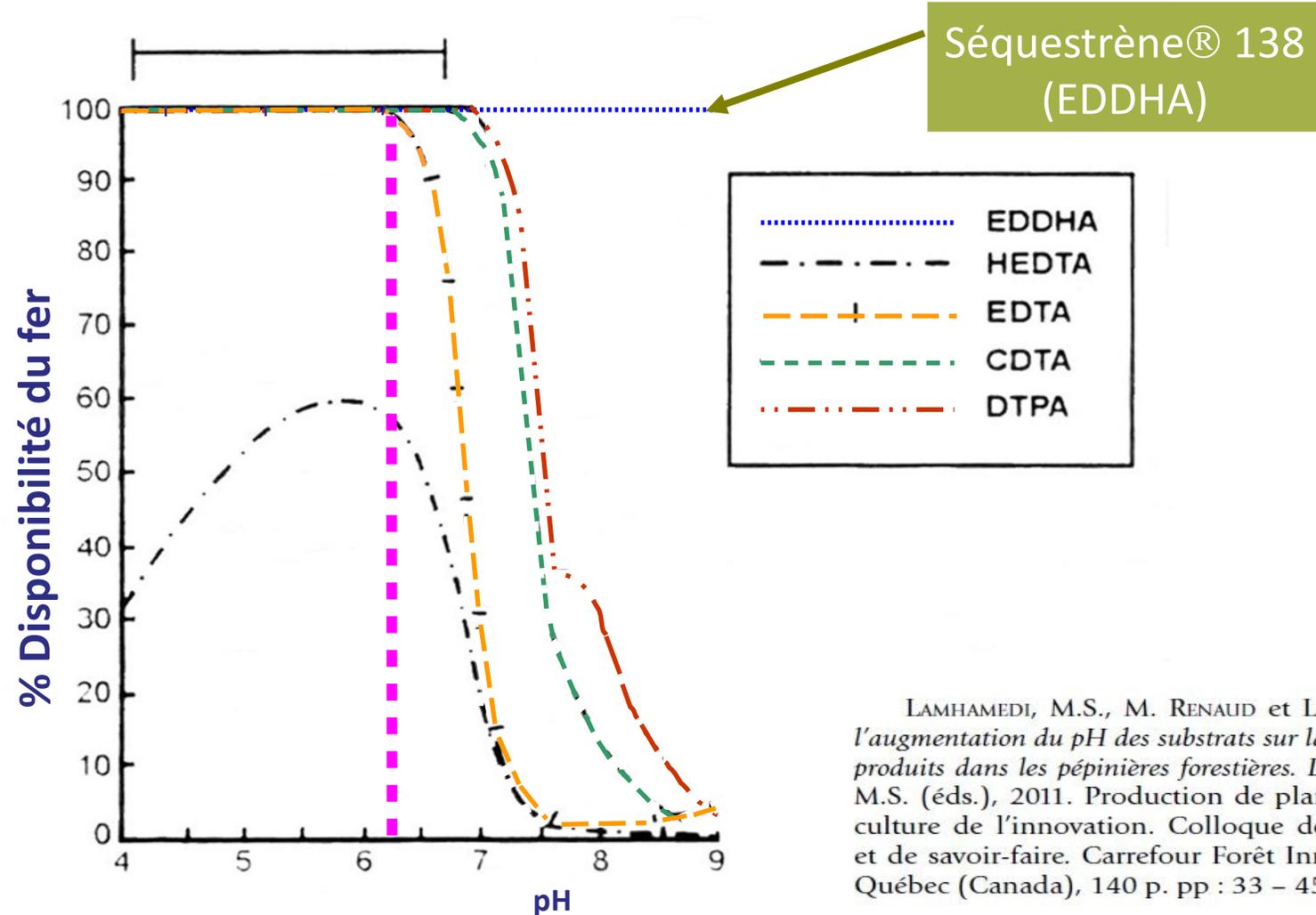


Lamhamedi, M. S., Abourouh, M. and J. A. Fortin. 2009. Technological transfer: The use of ectomycorrhizal fungi in conventional and modern forest tree nursery in northern Africa. In: Advances in mycorrhizal science and technology. Khassa, D., Y. Piché and A.P. Coughlan (Eds.). NRC Research Press, Canada. pp: 139-152.



Principales techniques culturales à la portée du pépiniériste pour corriger la carence en fer

Technique culturale 1 (choix du fertilisant): Disponibilité du fer en fonction du pH

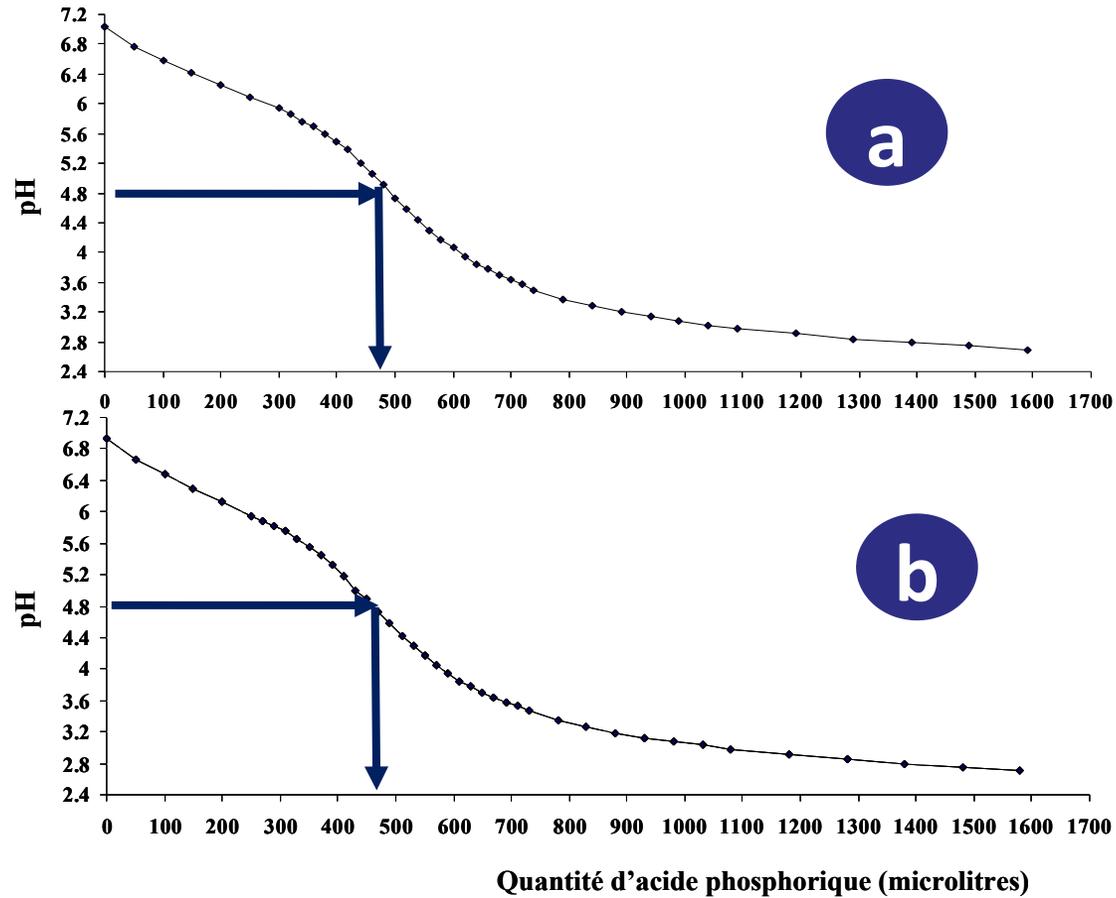


LAMHAMEDI, M.S., M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2011. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières.* Dans : Colas, F.; Lamhamedi, M.S. (éds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), 140 p. pp : 33 – 45.

Adapté de Landis (1997)

Technique culturale 2: Acidifier la solution du substrat ou l'eau d'irrigation:

Courbes de titration: acide phosphorique H_3PO_4



LAMHAMEDI, M.S., M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2011. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières*. Dans : Colas, F; Lamhamedi, M.S. (éds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), 140 p. pp : 33 – 45.



Technique culturale 3: Inoculation des plants en pépinière forestière à l'aide des spores de *Rhizopogon* sp



Photo: M. Castellano
(Oregon, USA)



- Inoculum « spores » :1g =10⁹ spores: nombre de souches très diversifiées génétiquement
- Sécher les carpophores à l'abri des poussières, à une température ambiante (20-25°C).
- Tamisage des spores pour éliminer les particules qui pourraient obstruer les asperseurs.
- L'inoculation a été effectuée en utilisant le système de fertigation (diamètre spores < 50 µm, passage à travers les filtres et les asperseurs).
- Quantité: 40 à 60 ml de spores sont suffisants pour inoculer 100 000 plants.
- Avant l'inoculation, arroser les plants (durée : 2 min) afin d'éviter l'adhérence des spores aux aiguilles ou aux feuilles. Par la suite, inoculer les plants par les spores et terminer par un rinçage des plants (durée : 2 min).

Contraintes (Tunisie): pH du substrat, pH eau d'irrigation et bicarbonates.....



Pin pignon (Pinus pinea 1+0, 15-410), Tunisie



Pin d'Alep (Pinus halepensis 1+0, 15-410), Tunisie

Photos: M. Lamhamedi

Advances in Mycorrhizal Science and Technology

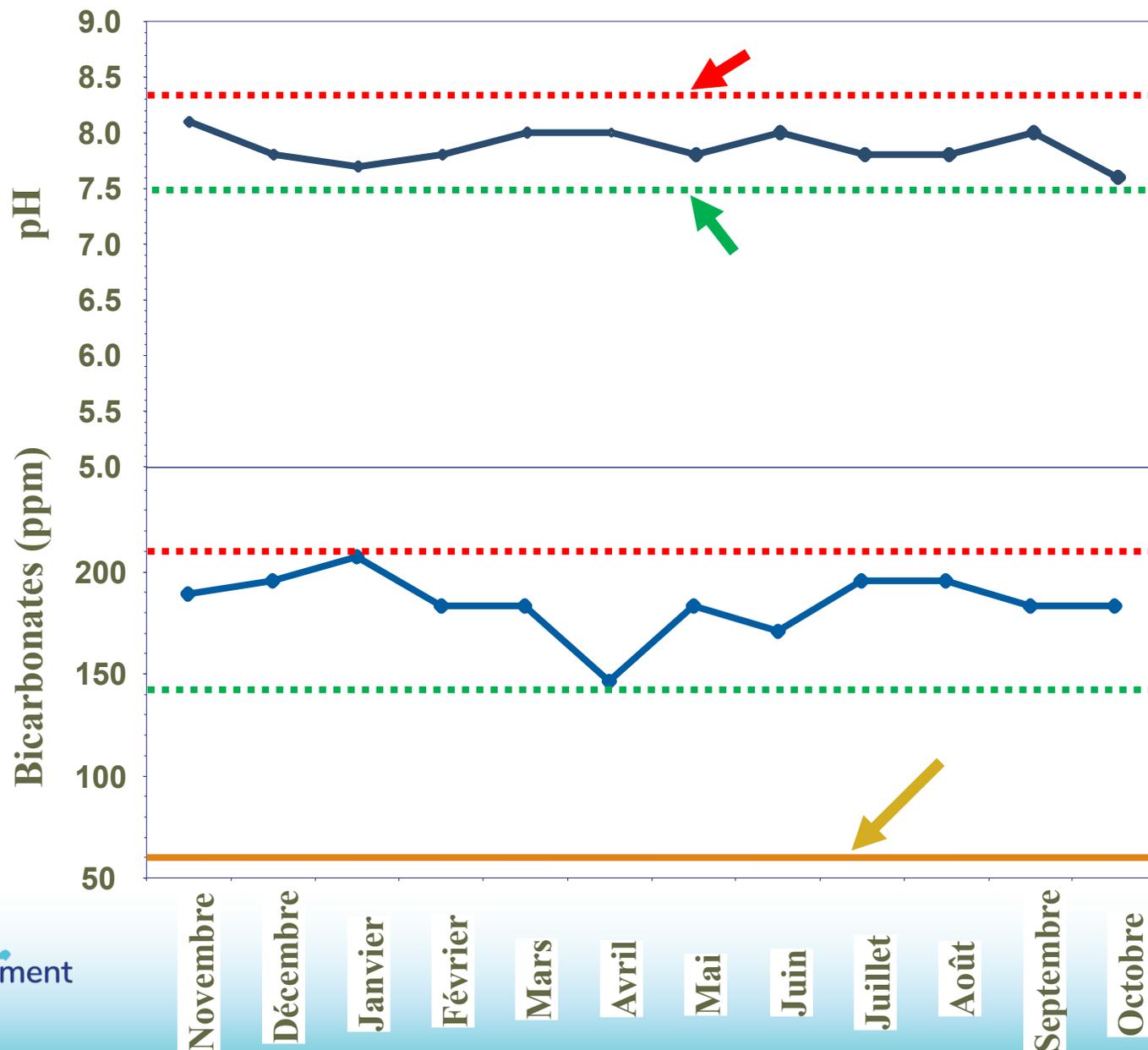
Chapter 11

Technological transfer: the use of ectomycorrhizal fungi in conventional and modern forest tree nurseries in northern Africa

Mohammed S. Lamhamedi, Mohammed Abourouh, and J. André Fortin

Lamhamedi, M. S., Abourouh, M. and J. A. Fortin. 2009. Technological transfer: The use of ectomycorrhizal fungi in conventional and modern forest tree nursery in northern Africa. In: Advances in mycorrhizal science and technology. Khassa, D., Y. Piché and A.P. Coughlan (Eds.). NRC Research Press, Canada. pp: 139-152.

Qualité de l'eau d'irrigation (Tunisie): pH et bicarbonates



LAMHAMED, M.S., M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2011. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières.* Dans : Colas, F; Lamhamedi, M.S. (éds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), 140 p. pp : 33 – 45.



Correction de la carence en fer par l'inoculation ectomycorhizienne



Mycorhization: Moyen de correction de la carence en fer.....



Épinette blanche
L. bicolor

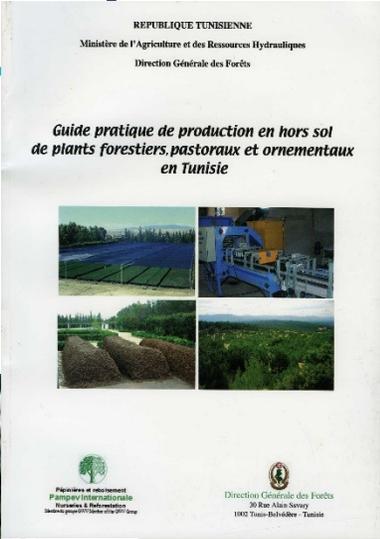
Photo: M. Lamhamedi

- Augmentation de la surface de contact et du nombre de points d'entrée (200 points/mm racine), ainsi que l'extension de la surface racinaire (10 m à 80 m d'hyphes/ cm de racines);
- Production d'acides organiques et plus particulièrement l'acide oxalique, ce qui acidifie la mycorhizosphère . La concentration de cet acide est augmentée par les nitrates, le Ca et l'ion bicarbonate HCO_3^- ;
- Production de sidérophores (hydroxamate). Ces sidérophores agissent comme chélateur et comme réservoir du fer. La stabilité de ces sidérophores (10^{30}) est plus élevée par comparaison à celle du fer chélaté qui se vend comme fertilisant.

Qualité morpho-physiologique des plants (Tunisie)



Photos: M. Lamhamedi



Inoculation en pépinière par les spores au Québec (Denis Lavallée).....



- 7 Tunnels
- Essences: Epn, Epb, Epr, EpO, sapin
- Inoculum: *L. bicolor* et *Hebeloma longicaudum*
- Nbre de récipients évalués/tunnel: 210 à 600
- Densité des carpophores: 1 à 14,5 car./m²
- Nbre de carpophores/tunnel: 61 à 744



Épinette de Norvège (2+0), 15-320

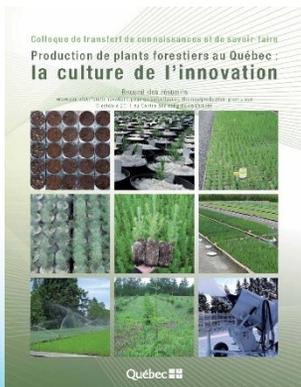


Épinette rouge (1+0), 15-320



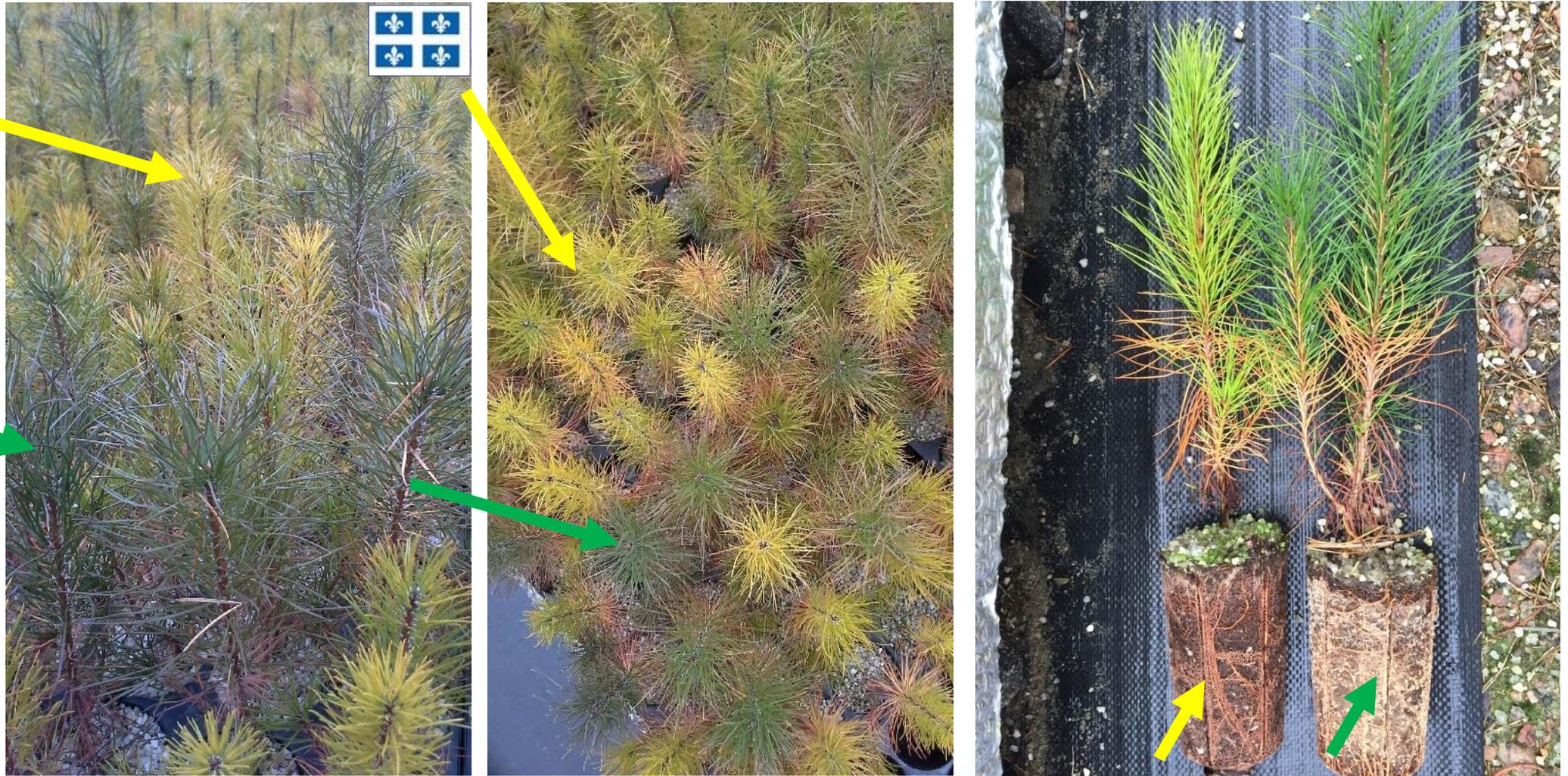
Sapin (2+0)

Photos: Denis Lavallée
Bertrand Fecteau et Luc Godin



Gagnon, J., Lamhamedi, M. S. 2011. L'inoculation des plants résineux en récipients par des spores de champignons ectomycorhiziens à l'automne pourrait-elle contribuer à réduire les problèmes d'insuffisance racinaire dans les pépinières forestières du Québec ? Dans : Colas, F., Lamhamedi, M. S. (eds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), 140 p. p : 27-32.
[\(PDF\) L'inoculation des plants résineux en récipients par des spores de champignons ectomycorhiziens à l'automne pourrait-elle contribuer à réduire les problèmes d'insuffisance racinaire dans les pépinières forestières du Québec ? \(researchgate.net\)](#)

Variabilité de la qualité des plants selon la mycorhization naturelle en pépinière (exemple: pin gris au Québec)



Mêmes régions de culture: irrigation, fertilisation, etc.

Conclusion & recommandations opérationnelles

- 1- Déterminer les propriétés physico-chimiques initiale des substrats et leur évolution (ajout de la chaux calcique ou dolomitique), ainsi que leur optimisation selon les exigences de l'essence forestière;
- 2- Dans les pépinières forestières situées dans les zones arides et semi-arides, tenir compte de l'évolution de la qualité de l'eau et de son statut nutritionnel (pH, bicarbonates, salinité, éléments minéraux, etc.)
- 3- En plus des pratiques culturales usuelles (choix du fertilisant et acidification de l'eau d'irrigation ou de la solution du substrat), l'inoculation des plants à l'aide de champignons ectomycorhiziens permet de corriger la carence en fer, améliorer la qualité morpho-physiologique des plants en pépinière et leur performance en site de reboisement.



Photo: M. Lamhamedi