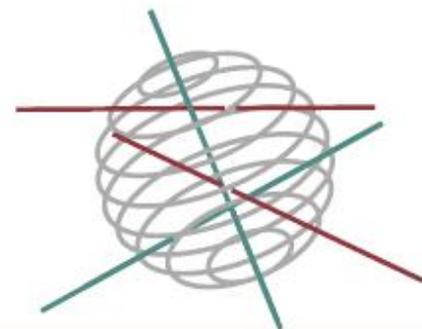


SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**IMPACT DES CHAMPIGNONS MYCORRHIZIENS A ARBUSCULES
SUR LA BIODIVERSITE ET LE CYCLE DU CARBONE DANS LES
ECOSYSTEMES PRAIRIE SOUS LA PRESSION DE CHANGEMENTS
CLIMATIQUES**

“MYCARBIO”

S. DECLERCK, R. CEULEMANS, I. NIJS, L. VOETS, H. DUPRE DE BOULOIS,
I. ENRIQUE DE LA PROVIDENCIA, C. ZAVALLONI, M. BÜSCHER



ENERGY 

TRANSPORT AND MOBILITY 

AGRO-FOOD 

HEALTH AND ENVIRONMENT 

CLIMATE 

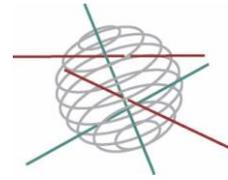
BIODIVERSITY 



ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS 



TRANSVERSAL ACTIONS 



Biodiversité



RAPPORT FINAL
RESUME

IMPACT DES CHAMPIGNONS MYCORRHIZIENS A ARBUSCULES SUR LA
BIODIVERSITE ET LE CYCLE DU CARBONE DANS LES ECOSYSTEMES PRAIRIE
SOUS LA PRESSION DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES

“MYCARBIO”

SD/BD/05

Promoteurs

Stéphane Declerck

Université catholique de Louvain (UCL)

Unité de Microbiologie

Croix du Sud 3, bt 6

1348 Louvain-la-neuve

Reinhart Ceulemans & Ivan Nijs

Universiteit Antwerpen (UA)

Auteurs

Stéphane Declerck, Liesbeth Voets, Ivan Enrique de la Providencia

Hervé Dupré de Boulois

(UCL)

Reinhart Ceulemans, Ivan Nijs, Costanza Zavalloni, Manu Büscher

(UA)

Janvier 2009



Avenue Louise 231
B-1050 Bruxelles
Belgium
Tel: + 32 (0)2 238 34 11 – Fax: + 32 (0)2 230 59 12
<http://www.belspo.be>

Contact person: Aline Van Der Werf
+ 32 (0)2 238 36 71

Project website : <http://emma.agro.ucl.ac.be/cesamm/projects/web/home.php?fichier=home.php>

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference :

Stéphane Declerck, Reinhart Ceulemans, Ivan Nijs, Liesbet Voets, Hervé Dupré de Boulois, Ivan Enrique de la Providencia, Costanza Zavalloni, Manu Büscher. ***Impact des champignons mycorrhiziens à arbuscules sur la biodiversité et le cycle du carbone dans les écosystèmes prairie sous la pression de changements climatiques “MYCARBIO”*** Rapport Final Résumé
Bruxelles : Belgian Science Policy 2009 (Research Programme Science for a Sustainable Development)

Le changement climatique a et continuera à avoir des effets profonds sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Il est ainsi impératif d'améliorer nos connaissances sur les réponses des écosystèmes aux changements climatiques. Ceci permettra de développer de nouvelles régulations nationales et internationales sur la séquestration du carbone et l'émission des gaz à effets de serre. Une meilleure gestion des prairies a été identifiée comme potentiellement utile pour lutter contre les changements climatiques en augmentant la séquestration de carbone dans les sols et dans la végétation, tout en préservant la biodiversité des ces écosystèmes. De récentes études ont montré le rôle fondamental joué par les communautés végétales et les micro-organismes du sol sur le fonctionnement et les propriétés des écosystèmes terrestres. Ainsi, la compréhension des liens entre ces communautés dans le cadre des changements climatiques (élévation de la concentration atmosphérique en CO₂ inclus) permettra d'avoir une nouvelle vision sur leur évolution future et sur le fonctionnement des écosystèmes terrestres.

Le projet MYCARBIO a pour objet l'étude de l'impact des champignons mycorrhiziens à arbuscules (CMA) sur la biodiversité et le cycle du carbone dans les écosystèmes prairie en Belgique sous la pression de changements climatiques. Afin d'atteindre cet objectif, cinq tâches ont été identifiées:

- (1) Evaluation de la biodiversité des CMA dans des prairies Belges représentatives,
- (2) Détermination du rôle des CMA dans l'établissement de jeunes plantules, la structure des communautés végétales, la diversité et la productivité des plantes de prairie ainsi que les effets rétroactifs sur les CMA,
- (3) Compréhension de l'impact de l'augmentation du CO₂, de la modification de la température et de la disponibilité en eau sur la biodiversité des CMA et des communautés végétales, sur les interactions CMA-plantes, et sur le cycle du carbone,
- (4) Evaluation de la signification écologique des interactions CMA-plantes sur leur biodiversité et le cycle du carbone,
- (5) Modélisation du cycle du carbone dans les écosystèmes prairies.

TACHE 1. Evaluation de la biodiversité des CMA dans des prairies Belges représentatives.

Suite à l'identification de prairies Belges représentatives, une évaluation de la biodiversité des CMA a été réalisée à partir de sol collecté sur cinq sites différents en région flamande et wallonne. Les analyses ont montré la présence de spores de CMA dans chacun des sols des différents sites. Vingt à cinquante spores par 100 g de sol sec ont pu être isolées. Les observations morphologiques ont révélées la présence de plusieurs espèces/souches de CMA sur chacun des cinq sites. Des cultures pièges réalisées à partir du sol collecté ont été établies sur *Allium porrum* L (poireau) et ont été maintenues sous serre afin de multiplier les CMA (spores et structures fongiques intraracinaires). Les spores de même morphotype ont été par la suite isolées et inoculées sur de nouvelles plantes de poireau afin de produire des cultures mono-spécifiques. Celles-ci seront utilisées pour l'identification et la préservation. Les caractéristiques morphologiques ont permis d'identifier les CMA au niveau du genre. Les souches collectées appartiennent toutes aux *Glomeraceae* et *Diversisporaceae*. Des nouvelles analyses taxonomiques et phylogéniques basées sur des outils morphologiques et moléculaires seront entreprises au-delà de la durée du projet. Des cultures *in vitro* des CMA seront initiées pour la conservation à long-terme. Ces cultures seront déposées dans la Glomeromycota *IN vitro* Collection (GINCO).

TACHE 2. Détermination du rôle des CMA dans l'établissement de jeunes plantules, la structure des communautés végétales, la diversité et la productivité des plantes de prairie ainsi que les effets rétroactifs sur les CMA.

Les CMA sont capables d'interconnecter différentes plantes entre-elles à travers un réseau mycélien commun (RMC). Ce RMC favorise le transport d'éléments nutritifs (ex : phosphore) et de carbone entre la plante et le CMA et pourrait également permettre leur transport de plante à plante. Il a été observé que des plantules s'établissent plus facilement lorsqu'un tel réseau est présent. Ceci pourrait

être dû à un accès rapide et direct à un large pool d'éléments nutritifs transporté par ce réseau mycélien, ou provenant d'autres plantes via ce réseau. En outre, les plantules pourraient de la même façon bénéficier du carbone provenant d'autres plantes. Ceci implique que le coût en carbone de la mycorrhization des plantules pourrait être fortement réduit ou même inexistant, favorisant d'autant plus l'établissement de ces dernières. Il est également postulé qu'au sein d'une communauté de plantes le carbone pourrait circuler d'une plante à une autre à travers un RMC suivant une relation source-puits.

Le transfert de carbone au sein d'un RMC entre une plante donneuse et une plante réceptrice de *Medicago truncatula* Gaertn. a été étudié dans des conditions strictement contrôlées. Deux scénarios ont été considérés :

- La plante réceptrice se développe en conditions de luminosité réduite,
- La plante réceptrice est une jeune plantule.

Après le marquage au $^{13}\text{CO}_2$ des plantes donneuses, un enrichissement en ^{13}C a été retrouvé dans les parties aériennes de ces plantes, dans leurs racines ainsi que dans le RMC et les racines des plantes réceptrices. L'analyse des acides gras dans les racines des plantes réceptrices a montré que l'enrichissement en ^{13}C se retrouvait dans des acides gras spécifiques aux CMA et pas dans ceux spécifiques aux plantes.

Nous pouvons ainsi conclure que :

- (1) Le carbone peut être transféré d'une plante donneuse à une plante réceptrice via un RMC, mais le carbone transféré demeure dans les structures intraracinaires des CMA et n'est pas transféré aux tissus des plantes réceptrices,
- (2) Le RMC ne soutient pas l'établissement d'une jeune plantule via le transfert de carbone,

TACHE 3. Compréhension de l'impact de l'augmentation du CO_2 , de la modification de la température et de la disponibilité en eau sur la biodiversité des CMA et des communautés végétales, sur les interactions CMA-plantes, et sur le cycle du carbone.

Du fait de leur position à l'interface entre le sol et les racines, il est essentiel de considérer les CMA dans les études sur l'impact des changements climatiques sur les communautés végétales. Ainsi, tout changement affectant les plantes pourra affecter les CMA et les interactions entre plantes et CMA. L'augmentation de la température, ou un changement du régime des précipitations pourrait ainsi avoir des effets directs sur les CMA et leurs plantes hôtes. Une élévation de la concentration atmosphérique en CO_2 pourrait avoir quant à elle un impact direct sur la fixation de carbone par les plantes et un impact indirect sur les CMA par une modification de la distribution du carbone vers les racines et la rhizosphère. Or, nous savons que les CMA contribuent à la séquestration de carbone C dans les sols. Il est donc essentiel de déterminer leur rôle dans le cycle de carbone sous l'effet des changements climatiques.

Deux expériences en microcosms conduites dans des conditions *in vitro* ont été réalisées afin d'investiguer l'effet d'une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température sur :

- le développement des CMA,
- le transport par les CMA de N et P

Les systèmes de cultures *in vitro* ont été placés soit en condition ambiante ($22/18^\circ\text{C}$ jour/nuit et 380 ± 15 ppm CO_2) ou en condition de CO_2 élevé (e CO_2 : 600 ± 15 ppm CO_2) et de température élevée (e $^\circ\text{T}$: ambiante $+3^\circ\text{C}$) – même photopériode (16/8h) et humidité relative (70%) pour les deux traitements. La longueur des racines et des tiges, leur biomasse fraîche et sèche, le nombre de feuilles, le nombre de spores, la longueur hyphale extraracinaire et la colonisation intraracinaire ont été mesurés.

Une étude sur une période de 16 jours et une autre sur 8 semaines ont été réalisées afin d'étudier l'évolution de la colonisation intraracinaire, et la production de spores ainsi que de la croissance du mycélium extraracinaire, respectivement. *M. truncatula* a été utilisé comme hôte et a été colonisé par

un CMA en introduisant ses racines dans un réseau mycélien établi. Pour l'étude menée sur une période de 16 jours, la croissance des plantes a été significative pour l'ensemble des paramètres mesurés, sauf pour la longueur des tiges. Aucune différence significative n'a été observée entre les plantes exposées aux deux conditions climatiques, sauf au jour 16 où la biomasse sèche des plantes exposées à des conditions de CO₂ et de température élevés était plus importante que celle des plantes exposées à des conditions ambiantes. Le nombre de spores et la longueur hyphale extraracinaire entre les deux conditions climatiques n'a pas différé significativement à aucun temps d'observation, sauf au jour 8 où le nombre de spores dans les systèmes exposés à des conditions de CO₂ et de température élevés était plus important que celui des systèmes exposés à des conditions ambiantes. Concernant la colonisation racinaire, aucune différence n'a été observée entre les plantes exposées aux deux conditions climatiques. Pour l'expérience de 8 semaines, les résultats obtenus sur la production de spores et du mycélium extraracinaire n'ont pas montrés de différences claires entre les deux traitements. Néanmoins, la longueur hyphale était plus élevée aux semaines 2, 6 et 8 de cette expérience lorsque les cultures se trouvaient en condition de CO₂ et de température élevées.

Ces résultats tendent ainsi à indiquer qu'eCO₂ et e°T pourraient influencer :

- (1) L'exploration du sol par les CMA et l'acquisition d'éléments nutritifs

Le fait que la production de spores n'a pas été affectée par eCO₂ et e°T, mais que la longueur hyphale a augmentée, montre que la capacité des CMA à explorer et exploiter de nouveaux environnements et à coloniser d'autres plants pourrait être accru. Ceci serait dû à :

- (1) Une augmentation de la dispersion des spores,
- (2) Une augmentation de la probabilité de coloniser les plantes environnantes et de créer des RMC.

Trois études en mésocosms ont été réalisées:

L'étude 1 avait pour but de déterminer :

- (1) Comment les changements climatiques et la présence de CMA peuvent affecter les flux de CO₂, la biomasse épi- et hypogée des plantes, et les relations entre les concentrations en azote et en phosphore au niveau des feuilles,
- (2) Si l'interaction entre changements climatiques et présence de CMA peut jouer un rôle significatif sur les flux de CO₂, la biomasse épi- et hypogée des plantes, et les concentrations en éléments dans le système CMA-plante.

L'étude 2 a été réalisée en utilisant un sol collecté dans une prairie Belge riche en CMA. L'objectif de cette étude était de déterminer les effets de changements climatiques sur la colonisation racinaire par les CMA, les flux de CO₂, la biomasse épi- et hypogée des plantes, et les relations entre les concentrations en azote et en phosphore au niveau des feuilles.

L'étude 3 portait sur l'influence d'une communauté de CMA sur la distribution de carbone et d'azote et sur la structure des communautés végétales sous l'effet de changements climatiques.

Pour ces études, des chambres de culture ont été exposées soit à une température actuelle de l'air (T_{air}) et une concentration de CO₂ de 380ppm (Amb) ou à une température plus élevée (T_{air} + 3°C) et une concentration de CO₂ de 610ppm (climat futur, T+CO₂). Les communautés végétales comprenaient six espèces pérennes, choisies du fait de leur présence simultanée dans les prairies Belges. Trois groupes fonctionnels ont été considérés : deux herbacées (*Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L.), deux dicotylédones fixatrices d'azote (*Medicago lupulina* L., *Lotus corniculatus* L.), et de deux dicotylédones non-fixatrices d'azote (*Rumex acetosa* L., *Plantago lanceolata* L.).

Pour l'**étude 1**, le sol a été pasteurisé (2 cycles de 8 heures à 90°C). Les communautés végétales ont ensuite été plantées dans un sol qui était soit (i) pasteurisé soit (ii) pasteurisé, puis inoculé par des CMA. Les communautés inoculées ont reçu 100 g d'inoculum contenant deux taxa de CMA : *Gigaspora margarita* et *Glomus intraradices*.

Pour l'**étude 2**, les communautés végétales ont été établies dans un sol non manipulé provenant d'une prairie Belge (sol naturel, non pasteurisé).

Dans le cas de l'**étude 3**, du sol pasteurisé et pasteurisé puis inoculé ont été utilisés. L'inoculum contenait deux taxa de CMA : *Glomus intraradices* et *Glomus fasciculatum*. Au cours de la saison, les communautés ont été marquées trois fois avec du ^{13}C et ^{15}N . Ceci avait pour but d'obtenir une information précise sur la distribution du C et de l'N vers les CMA et les différents compartiments des plantes.

Les conclusions pour l'**étude 1** sont:

- (1) Les flux de CO_2 d'une communauté nouvellement établit n'ont pas été affectés par les CMA dans les deux scénarios climatiques, bien que la colonisation des racines par les CMA soit plus importante dans le cas d'une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température simultanée,
- (2) Dans le scénario d'une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température, la productivité primaire brute (PPB) était légèrement supérieure avec une augmentation de la biomasse racinaire en présence de CMA. Ceci suggère une stratégie différente de distribution du carbone vers les racines en présence de CMA,
- (3) Sur le long terme, une distribution préférentielle de C vers les racines mycorhizées pourrait affecter des processus tel que la respiration du sol (R_{sol}) et par conséquent les flux de CO_2 .

Les conclusions pour l'**étude 2** sont:

- (1) Des prairies nouvellement établies pourraient bénéficier d'une augmentation de leur croissance totale par une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température,
- (2) le carbone a été alloué principalement à la partie aérienne des plantes, alors que la biomasse racinaire et des CMA n'a pas augmentée dans le cas d'une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température. L'augmentation de R_{sol} pour le traitement T+ CO_2 par rapport au traitement Amb tend à montrer qu'une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température pourrait avoir un effet négatif sur la séquestration de carbone dans les sols.

Les résultats de l'**étude 3** ne sont pas encore entièrement disponibles. Seuls les résultats sur la biomasse aérienne des plantes ont été analysés.

- (1) La biomasse aérienne des plantes a été positivement influencée par une augmentation de la concentration de CO_2 et de la température,
- (2) A la fin de la saison, les CMA ont positivement influencé la biomasse aérienne des plantes dans les deux scénarios climatiques.

De nouvelles conclusions seront émises après la fin de ce projet.

TACHE 4. Evaluation de la signification écologique des interactions CMA-plantes sur leur biodiversité et le cycle du carbone.

Cette tâche était planifiée pour la seconde phase du projet

TACHE 5. Modélisation du cycle du carbone dans les écosystèmes prairies

Le modèle ANAFORE (ANALysis of FORest Ecosystems) a été modifié pour simuler un écosystème de type prairie afin d'évaluer l'impact du climat sur les CMA et le cycle du carbone. ANAFORE comprend les effets de facteurs additionnels affectant la croissance des plantes comme l'élévation de la concentration atmosphérique de CO_2 , la fertilisation, la sécheresse, la concentration atmosphérique en ozone et les températures extrêmes. Les données collectées en 2007 et 2008 seront implémentées dans le modèle ANAFORE en 2009.