

Sécheresse et symbiose ectomycorhizienne

Impact prévisible de la sécheresse de 2003 sur la symbiose ectomycorhizienne des arbres forestiers

Contexte

Dans le cas des peuplements adultes, les arbres peuvent ne pas trop souffrir directement de la sécheresse (déficit de l'approvisionnement en eau) car ils disposent souvent de quelques grosses racines profondes permettant la capture d'eau dans les horizons profonds. Cependant, la très grande majorité des racines fines (le "chevelu", formant le tapis racinaire) sont très superficielles et localisées dans les dix à vingt premiers centimètres du sol ; Or, ce sont ces racines fines, toutes transformées en organes mixtes appelés **mycorhizes** par la symbiose avec des champignons, qui



Laccaria colonisant une racine de peuplier

explorent la zone la plus riche du sol et procurent aux arbres les éléments minéraux nécessaires à leur croissance et à leur développement (cations, et surtout azote et phosphore concentrés en surface du sol par le dépôt de litière). Mais ces racines fines sont très fragiles et meurent facilement dans un sol sec ou à température trop élevée, nécessitant pour l'arbre un investissement considérable pour les reconstituer lorsque les conditions redeviennent favorables. Indirectement, les forêts soumises à un déficit hydrique souffrent donc de carences minérales sévères dont les conséquences s'ajoutent aux effets néfastes directs des hautes températures et des chutes de turgescence cellulaire.

De nombreuses espèces de champignons mycorhiziens sont associées à un même arbre ; ce complexe symbiotique présente une grande diversité fonctionnelle, avec des types de mycorhizes complémentaires et spécialisés dans les diverses fonctions nécessaires au fonctionnement de l'écosystème : mobilisation et transport de l'azote, du phosphore ou des cations, protection des racines contre les agents pathogènes, extraction et transport de l'eau à bas potentiel, fourniture de régulateurs de croissance, etc. Mais c'est surtout la plus ou moins grande aptitude des différentes mycorhizes à survivre en conditions de stress hydrique et de hautes températures qui sont décisives en période de sécheresse.

Les très jeunes plantations forestières sont naturellement encore plus vulnérables aux effets de la sécheresse que les peuplements adultes ou même que les régénérations naturelles du même âge ou de la même taille, car leur système racinaire est réduit et confiné du fait de la transplantation. Ici encore, la qualité de la symbiose mycorhizienne (nature spécifique des champignons associés) est déterminante pour la reprise, la survie et la croissance, comme en témoignent de nombreux résultats expérimentaux et l'efficacité des techniques de mycorhization contrôlée.

Mycorhize : association symbiotique à bénéfice réciproque entre un champignon et les racines d'une plante.
Ectomycorhize : champignon ne pénétrant pas à l'intérieur des cellules de la racine.
Endomycorhize : champignon pénétrant à l'intérieur des cellules de la racine.

Conséquences prévisibles de la sécheresse de 2003

Les conditions climatiques inhabituellement sèche et chaudes de l'été 2003 vont modifier la structure et le fonctionnement du cortège mycorhizien des forêts les plus touchées de deux façons :

- **Directement au niveau des partenaires fongiques de la symbiose**, qui présentent des profils écologiques variés (températures et humidités optimales différentes)
- **Indirectement par l'intermédiaire de l'arbre-hôte** (tissus radiculaires en condition de stress hydrique, fourniture insuffisante de carbone du fait de la photosynthèse réduite).

Cette modification de la structure des communautés fongiques retentira très certainement en quantité et en qualité sur la fructification des champignons et perturbera le commerce des **espèces comestibles mycorhiziennes** telles que les cèpes, chanterelles, truffes, etc. A part le cas des truffes dont la production est déjà compromise à coup sûr du fait de la très longue durée de croissance des ascocarpes, il est malheureusement impossible de prédire dans quel sens ces perturbations auront lieu. En effet, les modèles de déterminisme climatique de la fructification actuellement disponibles, par exemple pour les cèpes, ne prennent pas en compte des situations aussi extrêmes. Il faut de toute façon s'attendre à une flambée des prix du simple fait du bouleversement des conditions habituelles.



Chanterelle en tube
(*Cantharellus tubiformis*)

De la même façon, il est difficile de prévoir quelle dérive fonctionnelle subira les cortèges mycorhiziens car les recherches dans ce domaine n'en sont qu'à leur début (voir les deux paragraphes suivants). Cependant un résultat récent de notre unité montre qu'un régime d'éclaircie vigoureux augmente significativement la diversité mycorhizienne dans une hêtraie, améliorant du même coup la diversité fonctionnelle et donc la résilience du peuplement soumis à un stress environnemental. Il est donc hautement probable que **les hêtraies gérées à forte densité souffriront beaucoup plus de la sécheresse que celles traitées avec des éclaircies fortes**.

Connaissances déjà acquises dans ce domaine par notre unité

Parmi les résultats pouvant directement intéresser les gestionnaires des forêts menacées, deux sont particulièrement significatifs et riches à terme de perspectives appliquées :

- **Dans les plantations de chêne**, le champignon mycorhizien *Paxillus involutus*, lorsqu'il est associé aux jeunes plants dès la pépinière (techniques de mycorhization contrôlée), confère aux arbres une croissance soutenue même pendant les années sèches.
- **Dans les peuplements feuillus de plaine**, le champignon mycorhizien *Cenococcum geophilum* permet aux racines absorbantes de rester fonctionnelles plus longtemps lorsque l'eau devient rare dans le sol. Il a un profil d'activité de type généraliste. Il a également la capacité de remplacer rapidement les autres symbiotes moins résistants et de pallier leur absence temporaire.
Pour ces raisons, toute technique sylvicole pouvant favoriser les mycorhizes de *C. geophilum* (particulièrement faciles à reconnaître sur des critères morphologiques) sont à privilégier.





Diversité des ectomycorhizes : deux types de couleur et de morphologie différentes sur une même racine de hêtre.
Le type noir est dû au champignon *Cenococcum geophilum*, cité dans le texte

Nous avons aussi à notre actif :

- L'identification de **marqueurs moléculaires du stress hydrique** dans les racines de peuplier.
- La mise en évidence de la diversité des **mécanismes impliqués dans l'amélioration de l'état hydrique des arbres par la symbiose mycorhizienne** : nutrition phosphatée, conduction de l'eau par le mycélium extra-radriculaire, régulation stomatique et osmotique.



Conclusions et perspectives de recherche

Les interrogations inquiètes des milieux forestiers quant aux conséquences de la sécheresse que la France subit en été 2003 soulignent une fois de plus la nécessité décisive, pour ne pas dire stratégique, de comprendre le mieux possible le fonctionnement de **l'interface sol-arbre**, c'est-à-dire des racines fines absorbantes et de leur indispensable composante fongique. C'est en effet à ce niveau, appelé rhizosphère, qu'est régulé en permanence le délicat équilibre entre les flux de matière (exsudation et respiration des photoassimilats, absorption d'eau et de solutés, altération des minéraux, décomposition de la matière organique, etc.) qui déterminent la pérennité et la production primaire de tout écosystème forestier. Cela est naturellement vrai pour ce qui concerne la **production de bois**, que l'on sait déterminée en partie par le statut mycorhizien des arbres, mais aussi pour la **production de champignons comestibles** nobles, qui constitue une ressource financière très importante dans beaucoup de régions forestières françaises.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut donc que prévoir des pertes de production de bois, des mortalités d'arbres et des perturbations dans le marché des champignons sylvestres, sans autre précision quantitative. Mais nous sommes à un stade auquel nos recherches sur l'écologie, la physiologie et l'écophysiologie de la symbiose mycorhizienne, bien que récentes, nous permettent de définir une stratégie finalisée pour mieux anticiper, ou même prévenir partiellement, les conséquences forestières de ce type d'événement qu'il faut peut-être replacer dans un cadre de changement climatique mondial.

Il est en particulier urgent de renforcer les approches suivantes :

- Compréhension des **mécanismes de la tolérance/résistance des mycorhizes au stress hydrique**, surtout du côté du champignon, afin de sélectionner les souches les plus aptes à protéger les jeunes plantations de la sécheresse (applications en mycorhization contrôlée).
- Recherche de **marqueurs biochimiques et/ou moléculaires** de l'état de "souffrance" hydrique de l'organe mixte, afin de pouvoir établir des diagnostics rapides.
- Description et classification en groupes fonctionnels de la **diversité des cortèges mycorhiziens dans les grands**

diversité des cortèges mycorhiziens dans les grands types de forêts françaises, afin de prévoir les effets de bouleversements de composition spécifique.

- Multiplication des **dispositifs expérimentaux** de terrain permettant de suivre le comportement des arbres et de leurs associés fongiques en fonction de modifications environnementales contrôlées (sylviculture, traitements du sol) et des événements climatiques fortuits tels que les sécheresses exceptionnelles.
- Mise en place d'au moins un dispositif lourd (type **site atelier**) maîtrisant les précipitations (interception/irrigation) et suivant sur plusieurs années les modification et le fonctionnement du cortège mycorhizien parallèlement au comportement écophysologique des arbres.



Unité mixte de recherches « Interactions arbres-microorganismes »

—
Centre INRA de Nancy - Université Henri Poincaré
août 2003