

**Exercice de type « 2 ». Les mycorhizes : une association symbiotique**

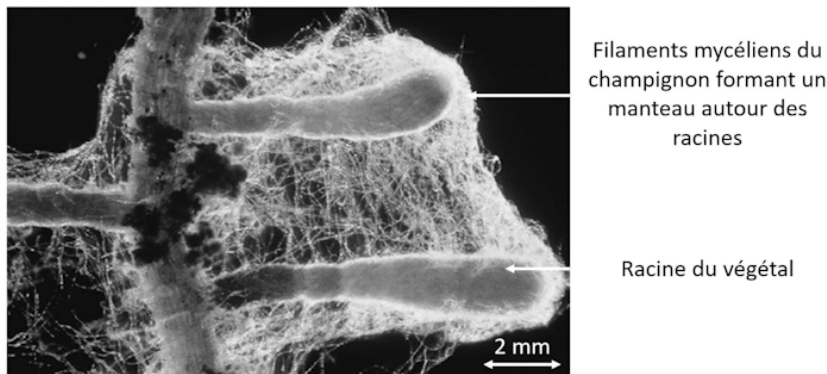
« 90 % des espèces de plantes actuelles sont en interaction avec des champignons au niveau de leurs racines. L'ensemble forme une structure mixte que l'on nomme la « mycorhize », du grec ancien myco, pour champignon, et rhize pour racine.

Source : d'après <https://www.pourlascience.fr>

**Montrer que l'association mycorhizienne entre un champignon et un végétal chlorophyllien profite aux deux partenaires.**

*Vous organiserez votre réponse selon une démarche de votre choix intégrant des données des documents et les connaissances utiles.*

**Document 1 : observation microscopique de mycorhizes**



Source : d'après Simon Egli/WSL

**Document 2 : comparaison de paramètres morphologiques racinaires et foliaires de plants de Rhododendron mycorhizés ou non**

On cherche à comparer les paramètres morphologiques racinaires et foliaires entre des plants de Rhododendron non mycorhizés (lot 1) et des plants de Rhododendron associés à un champignon mycorhizien (lot 2). Les mesures de la longueur des racines (figure 1) et du nombre de feuilles (figure 2) ont été réalisées après 20, 40, 60 et 120 jours.

Le début de l'expérience correspond au jour où les plants du lot 2 ont été mis en contact avec le champignon mycorhizien.

Figure 1 : évolution de la longueur des racines en fonction du temps

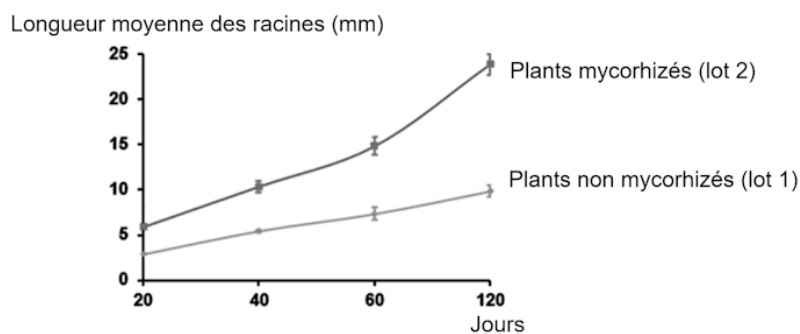


Figure 2 : évolution du nombre de feuilles en fonction du temps

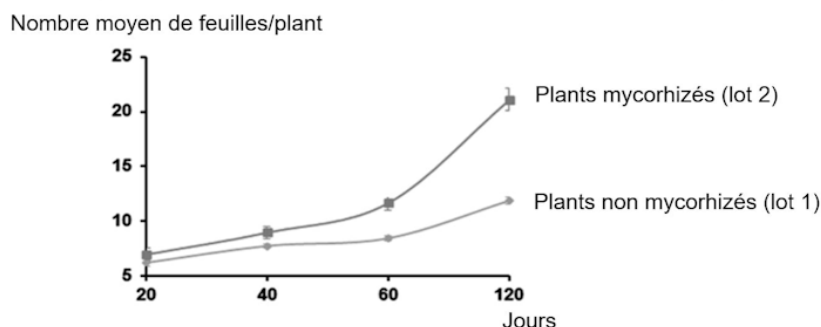
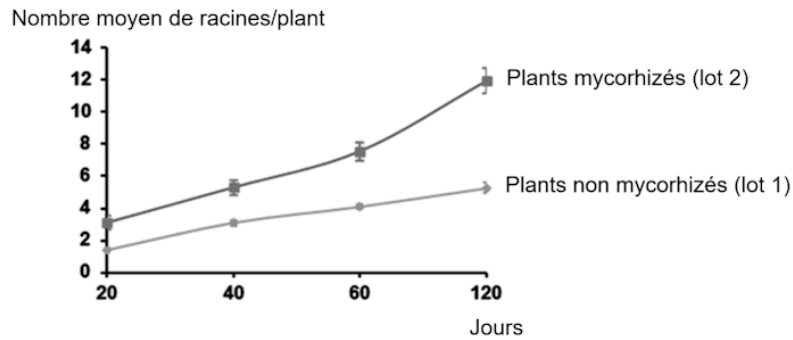


Figure 3 : évolution du nombre de racines en fonction du temps



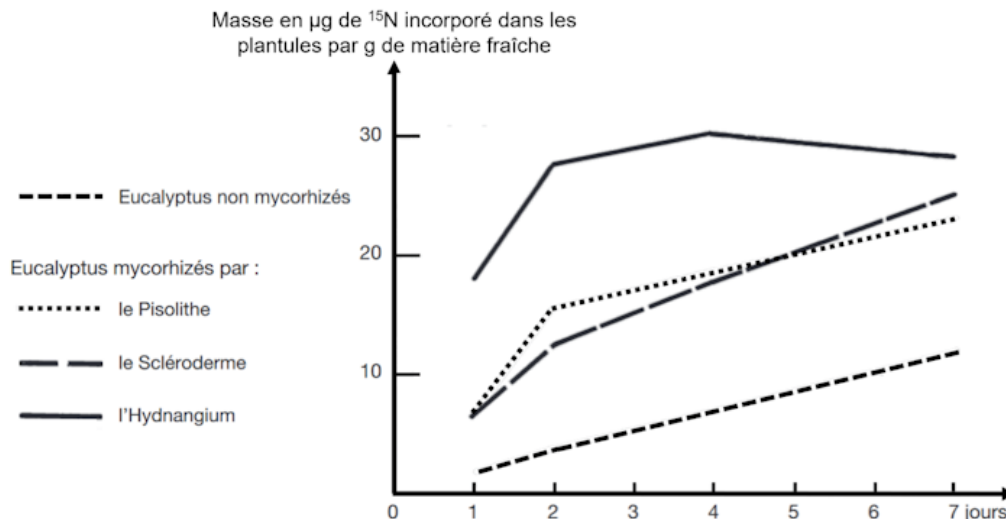
Les incertitudes sont dues à la variabilité des mesures effectuées sur les plants de Rhododendron.

Source : d'après <https://www.nature.com>

### Document 3 : des échanges de matières entre le champignon et le végétal

#### Document 3a : influence de la mycorhization sur l'absorption de l'ion ammonium par une espèce d'Eucalyptus

L'ion ammonium, de formule  $\text{NH}_4^+$ , contient de l'azote qui est l'un des principaux éléments nutritifs dont la plante a besoin. Pour tester l'influence de la mycorhization sur l'absorption de l'ion ammonium, de jeunes plantules d'Eucalyptus non mycorhizées ou mycorhizées par différents champignons (Pisolithe, Scléroderme, Hydangium), ont été alimentées pendant une semaine par une solution nutritive enrichie en  $^{15}\text{NH}_4^+$ . L'azote 15 ( $^{15}\text{N}$ ) est un isotope lourd de l'élément azote qui peut être quantifié après son incorporation dans les plantules par spectroscopie de masse. Les résultats de l'expérience sont présentés sur le graphique ci-dessous.

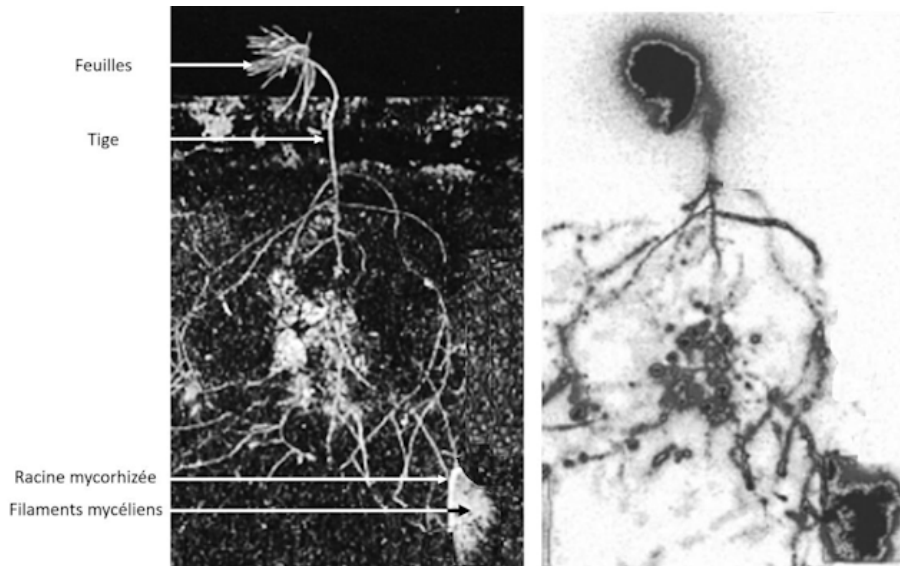


Source : <http://documents.irevues.inist.fr>

#### Document 3b : distribution du carbone atmosphérique au sein d'un pin mycorhizé

Pour pouvoir suivre la distribution du carbone atmosphérique au sein d'un végétal, les parties aériennes d'un pin mycorhizé ont été alimentées avec du  $\text{CO}_2$  atmosphérique marqué radioactivement au  $^{14}\text{C}$ . 48 heures après, une autoradiographie a été réalisée pour suivre la localisation du  $^{14}\text{C}$  dans le végétal. Les zones sont d'autant plus sombres sur le résultat de l'autoradiographie que la quantité de carbone radioactif est importante.

La photo de gauche correspond au végétal mycorhizé et la photo de droite au résultat de l'autoradiographie.



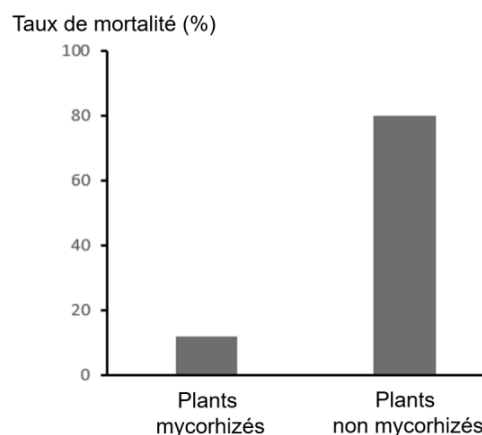
Source : d'après Tree Physiology

#### **Document 4 : la sensibilité des végétaux mycorhizés ou non face à des agents pathogènes**

##### **Document 4a : comparaison du pourcentage de mortalité d'une espèce de pin contaminée par *Phytophthora cinnamomi***

Le microorganisme *Phytophthora cinnamomi* compte parmi les agents pathogènes les plus redoutés à travers le monde. Il est à l'origine de maladies racinaires conduisant au dépérissement de nombreuses espèces végétales. Des chercheurs ont étudié l'influence de la présence de mycorhizes sur la sensibilité d'une espèce de pin.

##### Taux de mortalité des plants de pin 12 semaines après la contamination par *Phytophthora cinnamomi*



Source : d'après <https://hal.archives-ouvertes.fr>

##### **Document 4b : impact du manteau mycélien dans la défense des végétaux**

Le manteau mycélien peut envelopper les racines des végétaux de façon partielle ou totale. Pour déterminer l'impact de ce manteau dans la défense des végétaux, on met en contact *Phytophthora cinnamomi* avec des racines d'une espèce de pin dont le manteau mycélien est plus ou moins développé et on suit le pourcentage d'infection des végétaux.

##### Tableau présentant le pourcentage d'infection par *Phytophthora cinnamomi* de racines d'une espèce de pin

	Pourcentage d'infection 3 jours après la mise en contact avec <i>Phytophthora cinnamomi</i>	Pourcentage d'infection 10 jours après la mise en contact avec <i>Phytophthora cinnamomi</i>
Racine mycorhizée avec un manteau mycélien complet	0	6
Racine mycorhizée avec un manteau mycélien partiel	25	43
Racine non mycorhizée	100	100

Source : d'après <https://hal.archives-ouvertes.fr>

## Correction.

On cherche à établir que l'association symbiotique (une forme de mutualisme) entre des champignons et des racines de plantes profite aux deux partenaires. Pour cela, divers documents sont mis à notre disposition.

Le premier document nous propose une observation visuelle de cette interaction : on observe un lien étroit entre les filaments mycéliens (du champignon) qui forment un manteau autour des racines, et les racines du végétal : les deux partenaires semblent étroitement imbriqués.

Par la suite, on compare les paramètres morphologiques racinaires et foliaires pour deux lots de plantes de rhododendron : non mycorhizés (lot 1 ; lot témoin) et mycorhizés (lot 2). Le début de l'expérience correspond au jour où les plants du lot 2 ont été mis en contact avec le champignon mycorhizien.

On étudie tout d'abord la longueur des racines.

Pour le lot témoin, la croissance des racines est linéaire, et sur les 100 jours de mesure représentés la longueur des racines croît environ de 7 mm.

Pour le lot 2, mycorhizé, la croissance est supérieure, et elle augmente dans les 60 derniers jours de mesure : les racines grandissent d'environ 18 mm.

La croissance des racines est donc meilleure lorsque les plants sont mycorhizés (on peut d'ailleurs imaginer que les longueurs des racines étaient identiques au début de l'expérience).

On exploite ensuite un autre paramètre : le nombre moyen de feuilles par plant. Les résultats sont similaires : le nombre moyen de feuilles par plant passe de 6 à 13 pour les plantes témoins, alors qu'il passe de 7 à 22 pour les plants mycorhizés, et ce durant le même intervalle de temps. Là encore, le développement du végétal est optimisé en présence de mycorhizes.

On achève enfin l'expérience par l'étude du nombre moyen de racines par plant. A l'instar des autres résultats, le nombre moyen de racines par plant augmente d'environ trois pour le lot témoin, et d'environ 9 pour le lot mycorhizé. Le végétal a donc une meilleure croissance lorsqu'il est mycorhizé. Par ailleurs, l'augmentation du nombre de racines et de leur longueur permet aux végétaux de mieux prélever l'eau et les ions minéraux du sol ; l'augmentation du nombre de feuilles permet, quant à lui, une plus grande photosynthèse (le tout entraînant une meilleure croissance des végétaux...).

On étudie ensuite les échanges de matières entre le champignon et le végétal, et en premier lieu l'absorption de l'ion ammonium par une espèce d'Eucalyptus

Pour ce faire, on teste l'absorption de l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  (source d'azote) nécessaire à la plante c'est un des principaux éléments nutritifs dont la plante a besoin). De jeunes plantules d'Eucalyptus non mycorhizées ou mycorhizées par différents champignons ont été alimentées pendant une semaine par une solution nutritive enrichie en  $^{15}\text{NH}_4^+$  ( $^{15}\text{N}$  est un isotope lourd de l'élément azote qui peut être quantifié après son incorporation dans les plantules par spectroscopie de masse : c'est donc un traceur).

Pour le témoin non mycorhizé, la masse de  $^{15}\text{N}$  incorporé dans les plantules par g de matière fraîche croît linéairement, passant de 1  $\mu\text{g/g}$  à 10  $\mu\text{g/g}$  (soit 9  $\mu\text{g/g}$ ). Pour les eucalyptus mycorhizés, et ce quel que soit le champignon utilisé, la masse de  $^{15}\text{N}$  incorporé croît davantage dans la même période de temps : elle gagne entre 10 et 18  $\mu\text{g/g}$  environ (et l'incorporation est initialement plus élevée que le témoin). Ainsi, le prélèvement d'azote par la plante est supérieur lorsque ces dernières sont mycorhizées. Les mycorhizes apportent donc un avantage à la plante.

Lorsque l'on observe la distribution du carbone atmosphérique au sein d'un pin mycorhizé via un traceur qui est le  $\text{CO}_2$  marqué radioactivement au  $^{14}\text{C}$  et que l'on fait une autoradiographie 48 heures après pour suivre la localisation du  $^{14}\text{C}$  dans le végétal, on voit que les feuilles du végétal sont très sombres, signifiant que la quantité de carbone radioactif est importante. Il en est de même pour la tige et les racines : le  $\text{CO}_2$  radioactif est donc entré dans les feuilles par les stomates, ce qui a permis la synthèse de glucides radioactifs par photosynthèse. Les produits radioactifs ont ensuite été distribués au reste de la plante par le phloème. Cependant, on distingue aussi que les filaments mycéliens sont radioactifs : une partie des produits de la photosynthèse est donc aussi donnée aux champignons. On voit ainsi que les deux partenaires en tirent un avantage : c'est donc bien une symbiose.

On détermine enfin la sensibilité des végétaux mycorhizés ou non face à des agents pathogènes en comparant tout d'abord le pourcentage de mortalité d'une espèce de pin contaminée par le microorganisme *Phytophthora cinnamomi*, un des agents pathogènes les plus redoutés à travers le monde. Il provoque des maladies racinaires conduisant au dépérissement de nombreuses espèces végétales).

On voit que le taux de mortalité des plants de pin 12 semaines après la contamination est de 80 % chez les plants non mycorhizés, et qu'il est plus de cinq fois moindre chez les plants mycorhizés. Les mycorhizes semblent donc aussi protéger les plantes des agents pathogènes.

Lorsque l'on regarde l'impact du manteau mycélien (qui peut envelopper les racines des végétaux de façon partielle ou totale) dans la défense des végétaux (ici le pin), et notamment contre *Phytophthora cinnamomi*, on constate que :

- Si la racine est non mycorhisée, le pourcentage d'infection est total, quel que soit le jour d'observation ;
- Le pourcentage d'infection varie entre 25 (3 jours) et 43 (10 jours) : les racines sont donc partiellement protégées (manteau mycélien partiel) ;
- Le pourcentage d'infection est presque nul à 10 j quand les racines ont un manteau mycélien partiel.

Ainsi, ce sont donc bien les mycorhizes qui protègent les plantes, et qui leur apportent un bénéfice.

### Conclusion (réponse à la problématique).

Les mycorhizes sont une association étroite entre des filaments mycéliens (donc des champignons) et des racines (les filaments mycéliens formant un manteau). On constate qu'en leur présence, le développement du végétal est meilleur (plus de feuilles, plus de racines et racines plus longues). Cela peut notamment s'expliquer par le fait que les filaments mycéliens prélèvent de grandes quantités d'ions minéraux dans le sol par leur vaste surface d'échange, qu'ils transfèrent en partie à la plante. En contrepartie, la plante délivre aux filaments mycéliens l'excédent de matière organique synthétisée par photosynthèse. Par ailleurs, les filaments mycéliens apportent un autre avantage au végétal, en les protégeant de certains pathogènes.

Les deux partenaires en tirant un bénéfice, il s'agit bien d'une symbiose, soit d'une association durable à bénéfices réciproques.

**Démarche de résolution personnelle.** Une démarche est considérée comme cohérente si elle est logique et qu'elle permet de répondre au problème posé.

2	1	0
Construction d'une démarche <b>cohérente</b> bien adaptée au sujet	Construction <b>insuffisamment cohérente</b> de la démarche	<b>Absence de démarche</b> ou démarche incohérente

**Analyse des documents et mobilisation des connaissances, dans le cadre du problème scientifique posé.** Les informations extraites des documents sont utiles à la résolution du problème, elles sont complètes. Le candidat a su trier les informations utiles. Les connaissances mobilisées sont celles utiles à la résolution du problème.

4	3	2	1	0
Informations issues des documents <b>pertinentes, rigoureuses et complètes</b> et connaissances mobilisées <b>pertinentes et complètes</b> pour interpréter	<b>Informations</b> issues des documents <b>pertinentes, rigoureuses et complètes</b> mais connaissances à mobiliser <b>insuffisantes</b> pour interpréter	<b>Informations</b> issues des documents <b>incomplètes</b> ou peu rigoureuses et connaissances à mobiliser <b>insuffisantes</b> pour interpréter	Seuls quelques éléments <i>pertinents</i> issus des documents et/ou des connaissances	Absence ou très mauvaise qualité de traitement des éléments prélevés

**Exploitation (mise en relation/cohérence) des informations prélevées et des connaissances au service de la résolution du problème.** Les mises en relations opérées permettent de résoudre le problème. Il peut s'agir d'une mise en relation d'informations d'un document avec une ou des connaissances, d'une mise en relation entre des informations de différents documents, d'informations de différents documents et de connaissances, etc.

3	2	1	0
<b>Argumentation complète et pertinente</b> pour répondre au problème posé	<b>Argumentation incomplète ou peu rigoureuse</b>		<b>Argumentation absente</b> et/ou réponse explicative absente ou incohérente
Réponse <i>explicative cohérente et complète</i> avec le problème posé	Réponse explicative cohérente avec le problème posé	Absence de réponse ou réponse non cohérente avec le problème posé	

Une démarche est considérée comme cohérente si elle est logique et qu'elle permet de répondre au problème posé. L'ordre d'étude des documents dépendra de la démarche du candidat.