

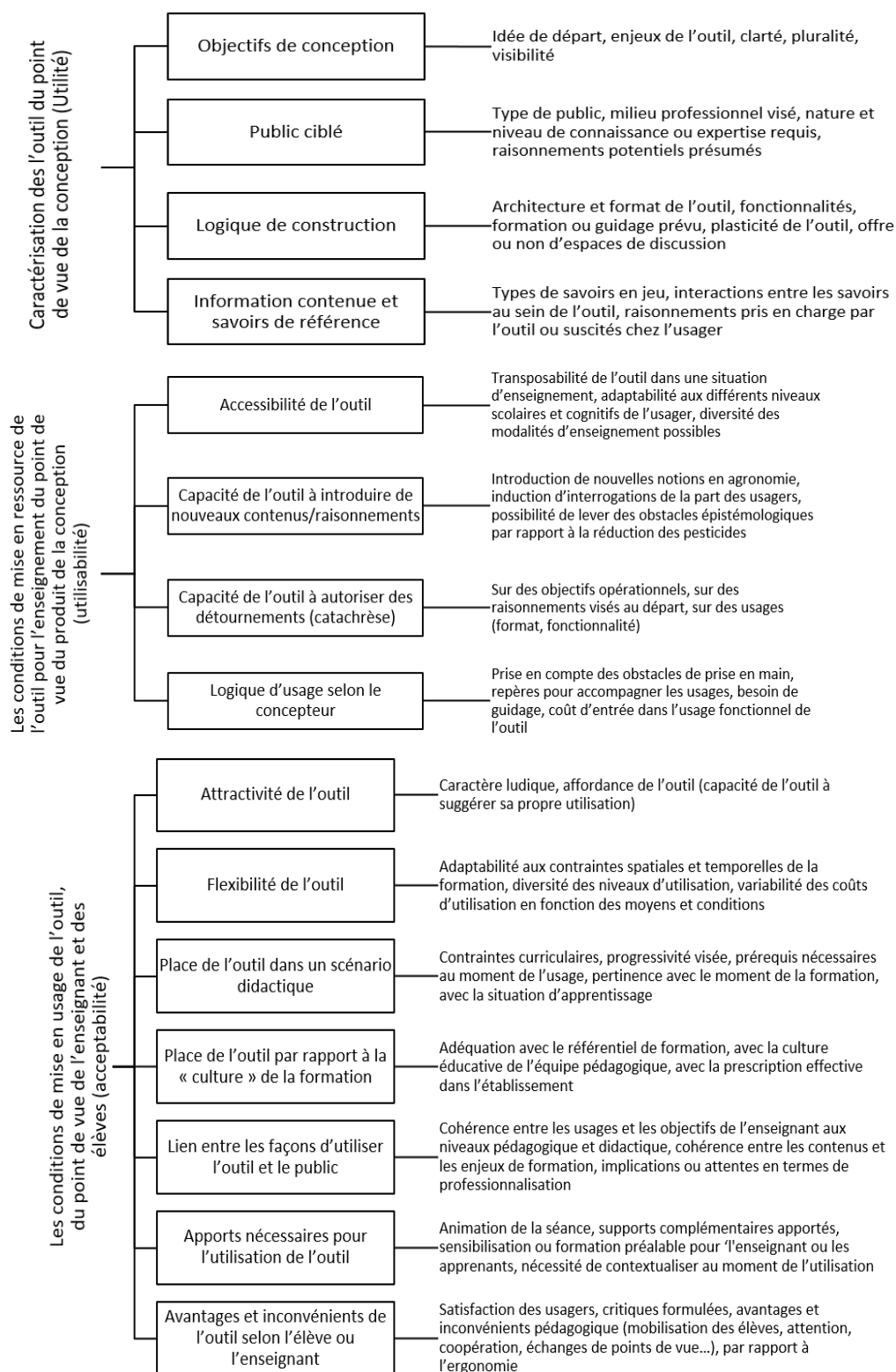
L'annexe 1 contient uniquement les données brutes non indispensables à la compréhension du texte. Les annexes 2 et 3 présentent une partie des résultats qui n'apparaissent pas dans le mémoire ainsi que des informations complémentaires qui pourront aider à la compréhension du sujet. L'annexe 4 présente le dispositif MYMYX.

## Table des matières

<b>ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES</b>	<b>2</b>
Grille Fanny Chrétien	2
Codage données qualitatives	3
Guides d'entretiens	4
Lycées agricoles participants à l'étude	14
<b>ANNEXE 2 : RESULTATS</b>	<b>15</b>
Itinéraires pédagogiques des lycées agricoles	15
Cartes mentales des lycées	19
Fiches méthodologiques	23
Script vidéo	25
<b>ANNEXE 3 : DOCUMENTS COMPLEMENTAIRES</b>	<b>28</b>
Informations relatives à l'enseignement agricole en France	28
L'enseignement agricole : Des formations de la 4 <sup>ème</sup> au doctorat	29
Evolution entre les plans EPA 1 et EPA 2	31
<b>ANNEXE 4 : MYMYX</b>	<b>33</b>
Mycorhize	33
Les endomycorhizes, c'est quoi ?	33
Enjeux autour des champignons mycorhiziens à arbuscules	34
Production de mycorhizes	34
Ressources bibliographiques	36
Présentation du dispositif MYMYX utilisé lors de l'atelier collaboratif par Marie Chave et Valérie Angeon	38
Le manuel MYMYX	42

# ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES

## Grille Fanny Chrétien



Grille descriptive et multicritère de l'artefact

Source : Fanny Chrétien 2019

## Codage données qualitatives

Type de document	Catégorie	Répertoire
<b>A</b>		<b>Entretiens / Enregistrements</b>
	A.1	Entretiens enseignants
	A.2	Entretiens élèves
	A.3	Entretiens autres : directeur, inspecteur, chef d'exploitation, membres du personnel, ...
	A.4	Enregistrements divers
<b>B</b>		<b>Notes / Observations</b>
	B.1	Notes personnelles
	B.2	Notes Caroline
	B.3	Notes Marie
	B.4	Autre
<b>C</b>		<b>Discussions entre acteurs</b>
	C.1	Rencontre <i>ante</i> stage
	C.2	Vidéo
<b>D</b>		<b>Autre</b>
	D.1	Rapport
	D.2	Diaporama / Présentation
	D.3	Synthèse
	D.4	Fiches
<b>E</b>		<b>Documents scientifiques en rapport avec MYMYX</b>
	E.1	Article
	E.2	Autre

# Guide d'entretien

**Enseignant.e (Valence)**

Nom et prénom :	Enseignement :
Date :	<input type="radio"/> Téléphone
Lieu :	<input type="radio"/> Skype
	<input type="radio"/> Face à face

Rappel :

- Entretien réalisé dans le cadre de mon mémoire
- Entretien enregistré et retranscrit. Certains passages pourront être cités dans le mémoire
- Préciser le droit à l'anonymat

\*\*\*\*\*

*Première question : Pouvez-vous m'expliquer comment vous avez découvert l'outil MYMYX ?*

## - Le dispositif MYMYX -

### PRESENTATION DE MYMYX

- La façon dont le jeu a été présenté :
  - Avez-vous participé à une réunion de présentation ? Découverte de façon indépendante ?
  - Quelle vision aviez-vous sur le jeu ? Bonne, mauvaise, quelques appréhensions, ...
  - Clarté des règles
- Quelle vision du jeu

### PREPARATION

- Avez-vous mobilisé d'autres ressources pour préparer l'animation en classe ? Pourquoi
- Y a-t-il eu des difficultés dans la préparation ?
- Aviez-vous des appréhensions par rapport aux élèves ?

## ANIMATION

- Les imprévus /difficultés
  - o Avez-vous rencontré des difficultés particulières lors d'une séquence ?
- Les échanges en classe
  - o Quelle question a suscité le plus de débat selon vous ?
  - o Les élèves ont-ils participé facilement ?
  - o Les élèves ont-ils fait un lien entre les connaissances apprises et le territoire dans lequel ils vivent ?

## INTEGRATION AU SEIN DU COURS

- Lien avec le programme
  - o De quelle manière MYMYX s'intègre dans les référentiels
  - o A quels modules fait-il référence ?

## **- Enseigner l'agroécologie / Produire autrement -**

## LES EXISTANTS

- Profil du professeur
  - o Vous a-t-on enseigné des connaissances en agroécologie ?
  - o Avez-vous des outils/ ressources qui vous permettent d'aborder le thème de l'agroécologie ou des transitions ?

## LE DISPOSITIF MYMYX

- Lien entre mycorhizes et agroécologie
  - o Quelle connaissance aviez-vous sur les mycorhizes ?
  - o Quels liens faites-vous entre les mycorhizes et l'agroécologie ?
- L'agroécologie / Produire autrement
  - o Avez-vous déjà abordé le thème de l'agroécologie lors de vos cours ? Si oui comment est-il compris par les élèves ?
  - o Avez-vous des difficultés pour enseigner ce concept ?
  - o MYMYX permet-il d'introduire le concept d'agroécologie ? En avez-vous parlé avec vos élèves ? L'ont-ils évoqué ?
- Projection dans un métier
  - o Les élèves arrivent-ils à se projeter dans un métier à travers cet outil ?

J'ai fait le tour des questions que j'avais à vous poser, souhaitez-vous ajouter quelque chose ou revenir sur un élément évoqué précédemment ?

## **- Interaction avec les élèves -**

- Le profil
  - Pouvez-vous donner la proportion d'élève issu du milieu agricole vs citadin ?
  - Quelle est la moyenne d'âge dans la classe ?
  - Certains élèves sont-ils en reconversion professionnelle ?
  
- La perception
  - Avez-vous fait une synthèse avec les élèves sur leur apprentissage ?
  - Quelle a été leur réaction par rapport à l'animation donnée ?
  - Trouvez-vous que les élèves sont plus sensibles aux questions d'agroécologie maintenant ?
  - Avez-vous eu des remarques de la part d'autres professeurs ou de parents d'élèves ?

Remerciement et salutations

\*\*\*\*\*

**Commentaires et remarques durant l'entretien**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Guide d'entretien

## Enseignant.e (Matiti)

Nom et prénom :	Enseignement :
Date :	<input type="radio"/> Téléphone
Lieu :	<input type="radio"/> Skype
	<input type="radio"/> Face à face

Rappel de début d'entretien :

- Entretien réalisé dans le cadre de mon mémoire
- Entretien enregistré et retranscrit. Certains passages pourront être cités dans le mémoire
- Préciser le droit à l'anonymat

Même soucis avec la barrière de la langue ?

\*\*\*\*\*

## - Enseigner l'agroécologie / Produire autrement Quelles difficultés -

*Je m'intéresse aux difficultés rencontrées par les enseignants en prenant soin de n'introduire aucune réponse. Je laisse l'interlocuteur s'exprimer librement.*

QUESTION GENERALE : Quelles difficultés pensez-vous rencontrer par rapport au plan « Enseigner à produire autrement » ?

Pouvez-vous me décrire de quel ordre sont ces difficultés ?

*Si aucune des réponses ne concerne la biodiversité du sol / son fonctionnement alors je passe à la question suivante*

### LA BIODIVERSITE-DU SOL

- De manière générale de quelle manière abordez-vous cette thématique ?
- Sur une année combien de séance en classe consacrez-vous à cet enseignement ?
- Est-ce une thématique que vous abordez facilement ? Rencontrez-vous des difficultés ? Si oui lesquelles ?
- Lien entre mycorhizes et agroécologie
  - ☐ Connaissez-vous les mycorhizes ?
  - ☐ De quelle façon l'enseignez-vous à vos élèves ?
  - ☐ Rencontrez-vous des difficultés dans l'enseignement de ce sujet ?

- Est-ce un sujet pertinent à enseigner selon vous ?
- Faîtes-vous un lien entre les mycorhizes et l'agroécologie ?
- L'enseignement
  - Est-ce que vous mobiliser des jeux dans votre enseignement (par rapport à cette thématique ou de manière générale) ? lesquels ? pourquoi faire ?

## L'AGROECOLOGIE / PRODUIRE AUTREMENT

- De manière générale quels changement apporte le plan « enseigner à produire autrement » dans vos cours ?
- Les référentiels vous semblent-ils satisfaisants par rapport à l'AE / la biodiversité l'environnement ? Sont-ils réalistes (atteignables) ?
- Comment les faire évoluer ?
- Avez-vous déjà abordé le thème de l'agroécologie lors de vos cours ? Si oui comment est-il compris par les élèves ?
- Avez-vous des difficultés pour enseigner ce concept ?
- Avez-vous des outils/ ressources qui vous permettent d'aborder le thème de l'agroécologie ou des transitions ?

## - Les élèves -

### QUESTION GENERALE :

- En matière de biodiversité du sol, quelles sont les compétences à acquérir par les élèves ?
- Rencontrez-vous des difficultés avec vos élèves pour leur faire acquérir ces compétences ? de quel ordre ?

### LE PROFIL

*Aller questionner en demandant, « qu'est-ce qui vous fait dire ça ? »*

- Pouvez-vous donner la proportion d'élève issu du milieu agricole vs citadin / locaux vs étranger ?
- Quelle est la moyenne d'âge dans la classe ?
- Certains élèves sont-ils en reconversion professionnelle ?
- Globalement vos élèves sont-ils de natures à participer ?
- Les échanges et débat en classe sont-ils favorisés ?
- Les élèves créent-ils des projets au sein de l'établissement ? De quelle manière sont-ils impliqués ?
- Est-ce que les élèves sont sensibles aux questions d'agroécologie ?
- Pensez-vous que le format d'un « jeu sérieux » puisse les intéresser ?



## **- Projection avec MYMYX -**

*Bref rappel de MYMYX si nécessaire*

### **PRESENTATION DE MYMYX**

- La façon dont le jeu a été présenté :
  - o Quelle vision aviez-vous sur le jeu ? Bonne, mauvaise, quelques appréhensions, ...
  - o Clarté des règles
- Craintes appréhensions
  - o Avez-vous des appréhensions par rapport aux élèves ?
  - o Ressentez-vous des difficultés potentielles pour son éventuelle mise en place ? Si oui lesquelles ?

### **INTEGRATION AU SEIN DU COURS**

- Pensez-vous que MYMYX puisse vous être utile dans votre enseignement ? Si oui de quelle manière envisagez-vous d'utiliser MYMYX ? Avec d'autres ressources, en pluri, séances de TP, ... Pourquoi, qu'est-ce que cela pourrait vous apporter ?
- Lien avec le programme
  - o De quelle manière MYMYX s'intègre dans les référentiels
  - o A quels modules pourrait-il faire référence ?

## **- Profil du professeur -**

### **QUESTIONS GENERALES :**

- Quel est votre parcours professionnel ?
- Lors de votre apprentissage, vous a-t-on enseigné des connaissances en agroécologie ?
- Êtes-vous à l'aise dans l'enseignement de cette notion ?

J'ai fait le tour des questions que j'avais à vous poser, souhaitez-vous ajouter quelque chose ou revenir sur un élément évoqué précédemment ?

Remerciement et salutations

\*\*\*\*\*

**Commentaires et remarques durant l'entretien**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Guide d'entretien

## Elève

Nom et prénom :	Niveau :
Date :	<input type="radio"/> Téléphone
Lieu :	<input type="radio"/> Skype
	<input type="radio"/> Face à face

Rappel :

- Entretien réalisé dans le cadre de mon mémoire
- Entretien enregistré et retranscrit. Certains passages pourront être cités dans le mémoire
- Préciser le droit à l'anonymat

\*\*\*\*\*

*Première question : Est-ce que tu peux m'expliquer ce qui t'intéresse (les cours que tu préfères) dans ton BTS ?*

## - Le profil de l'élève -

### SCOLAIRE

- Quelles études as-tu faites jusqu'ici ?
- Quelles sont les raisons qui t'ont poussé à choisir ce BTS ? Qu'est-ce qui te plaît ?
- De façon générale, est-ce que tu dirais que tu as des difficultés pour apprendre un cours, une notion ?

### LIEN AVEC L'AGRICULTURE

- As-tu des proches qui travaillent dans le milieu agricole ? Si oui que font-ils ?
- Depuis quand t'intéresses-tu au milieu agricole ? Pourquoi, qu'est-ce qui te plaît ?

## **- L'outil MYMYX -**

### **L'ANIMATION**

- Le rapport à l'outil
  - Comment vous a-t-on présenté MYMYX ?
  - Quelles ont été tes premières impressions sur MYMYX ?
- Interaction en classe
  - Comment se sont déroulés les débats ?
  - Comment as-tu trouvé les questions du quiz ?
  - Avez-vous échangé sur ces notions avec d'autres élèves à l'issue du cours ?

### **RETOUR**

- Lien avec le programme
  - As-tu trouvé l'outil pertinent par rapport à tes cours ? S'intègre-t-il bien avec les autres cours que tu as reçu ?
  - As-tu appris quelque chose ? Si oui quoi ?
  - Avez-vous testé d'autres outils de ce type en classe ? Fait d'autres animations ?
- Améliorations
  - Aurais-tu des propositions à faire pour améliorer l'outil ?
  - Toutes les séquences te semblent-elles pertinentes ?
- Projection dans un futur
  - As-tu déjà une idée du métier ou du domaine dans lequel tu aimerais exercer ton métier plus tard ?
  - MYMYX te permet-il de te projeter dans un futur métier ? Pourquoi ?

## **- Apprendre l'agroécologie / Produire autrement -**

### **LE DISPOSITIF MYMYX**

- Lien entre mycorhizes et agroécologie
  - Est-ce que tu connaissais les mycorhizes avant d'utiliser MYMYX ? Si oui où l'avais-tu appris ?
  - Est-ce que tu fais un lien entre les mycorhizes et l'agroécologie ? Si oui lequel et pourquoi ?
- L'agroécologie / Produire autrement
  - Pour toi, qu'est-ce que c'est l'agroécologie ? A quoi tu l'apparentes ?
  - Avez-vous déjà abordé le thème de l'agroécologie ou le fait de produire autrement en cours ?
  - As-tu des difficultés à comprendre ce concept ?

- L'outil MYMYX t'a-t-il mieux permis de comprendre le concept d'agroécologie ? J'ai fait le tour des questions que je voulais poser, souhaitez-t ajouter quelque chose ?

Remerciement et salutations

\*\*\*\*\*

### **Commentaires et remarques durant l'entretien**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Lycées agricoles participants à l'étude

Appellation			Département / Région	Disciplines	Classes	Nombre de séance en classe	Site internet
Nom	Catégorie	Abréviation					
<b>Le Valentin EPLEFPA de Valence</b>	LEGTA Le Valentin	LA Valence	Drôme (26) / Auvergne-Rhône- Alpes	Agronomie	BTS APV 1 / BTS APV 2	3	<a href="https://epl.valentin.educagri.fr/">https://epl.valentin.educagri.fr/</a>
				Biologie- Ecologie			
<b>EPLEFPA de Metz Courcelles- Chaussy</b>	LEGTA Hervé Bichat	LA Metz	Courcelles-Chaussy (57) / Grand Est	Agronomie	BTS APV 1ère année	2	<a href="https://eplea.metz.educagri.fr/">https://eplea.metz.educagri.fr/</a>
				Biologie			
<b>EPLEFPA de l'Eure</b>	LEGTA Edouard de Chambray	LA Eure	Eure (27) / Normandie	Agronomie	BTS APV 1ère et 2ème années	1	<a href="http://www.educagri27.fr/">http://www.educagri27.fr/</a>
				Biologie- Ecologie			
<b>EPLEFPA de Carcassonne</b>	LEGTA Charlemagne	LA Carcassonne	Aude (11)/ Occitanie	Agronomie- Biologie	Terminale STAV	1	<a href="http://www.epl-carcassonne.fr/joomla/index.php/legta">http://www.epl-carcassonne.fr/joomla/index.php/legta</a>
				Agronomie	Production + BTS VO2		
				Agronomie, Viti- oenologie	BTS APV + 1ères STAV Production		
<b>EPLEFPA de Guyane - Matiti</b>	LEGTPA de Macouria	LA Matiti	Guyane 973	Agronomie	BTAS DARC et GPN	0	<a href="https://www.epl.guyane.educagri.fr/">https://www.epl.guyane.educagri.fr/</a>
				Paysage			

# ANNEXE 2 : RESULTATS

## Itinéraires pédagogiques des lycées agricoles

### Lycée agricole de Valence

#### Ce que les enseignants font pour aborder la complexité et la vie du sol

Analyses de terre

Observations de terrain et descriptif de la vie du sol sur la parcelle du lycée (en agriculture biologique)

#### Utilisation projetée de MYMYX

BTS APV 1

- Acquérir un raisonnement : est ce que Mymyx peut participer à la construction du raisonnement agroécologique ?
- Configuration artificielle : les enseignants ne vont pas recourir à l'observation
- Lecture biblio
- Capacités visées : Connaître les mycorhizes et leurs services en production végétale ; Identifier les leviers favorisant les mycorhizes ; Choisir des pratiques cohérentes

#### Itinéraire pédagogique réalisé avec MYMYX



# Lycée agricole de Carcassonne

## Ce que les enseignants font pour aborder la complexité et la vie du sol

Utilisation de Rallye :  
infrastructure agro  
écologique

Utilisation de « mission  
écophyto » : favoriser  
l'échange, la discussion

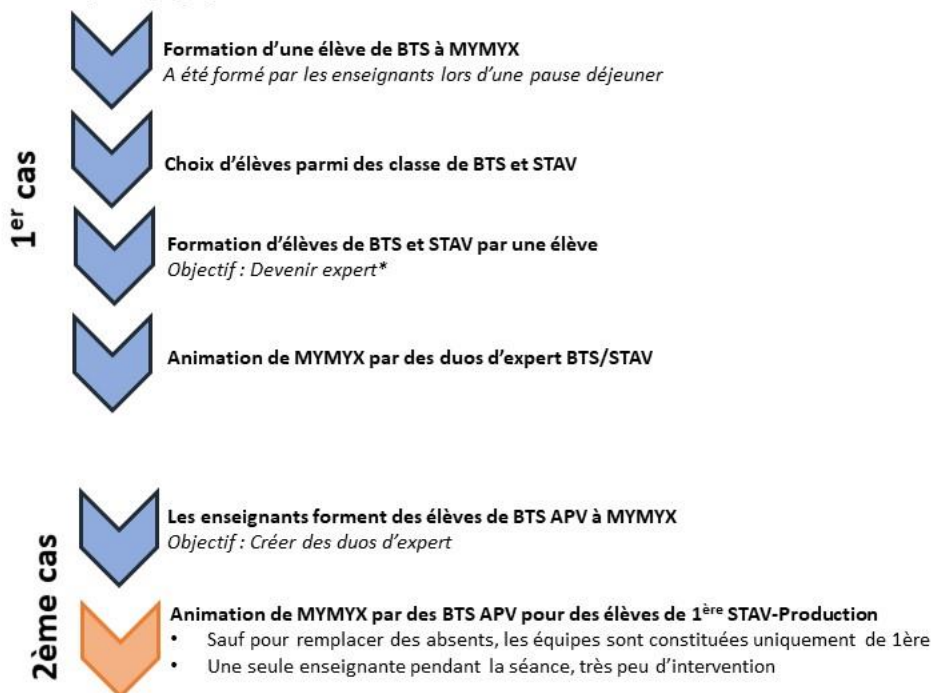
Suivi des vers de  
terre avec  
moutarde

Raisonnement ITK, on  
revient sur l'historique  
avec l'ensemble des  
pratiques

## Utilisation projetée de MYMYX

- Bac et BTS 1ère année
- Sur deux ans : est-ce qu'on modifie la stratégie au cours des deux ans ?
- Support (photographier) pour afficher des stratégies ; y revenir quand on parle de fertilisation
- Quizz : en faire un thème de recherche
- On s'approprie les différentes cartes/ interroger les élèves à quoi ils sont prêts
- Rôle d'expert des BTS : Préparation avant ?
- Confronter les élèves à la co-construction de la connaissance : Pédagogie inversée

## Itinéraire pédagogique réalisé avec MYMYX



*\*un élève formé à l'utilisation de MYMYX est considéré comme un « expert »*



# Lycée agricole de l'Eure

## Ce que les enseignants font pour aborder la complexité et la vie du sol

Phase d'observation du sol : profil, galeries de vers de terre, odeur du sol et des MO en décomposition, mycélium dans le sol

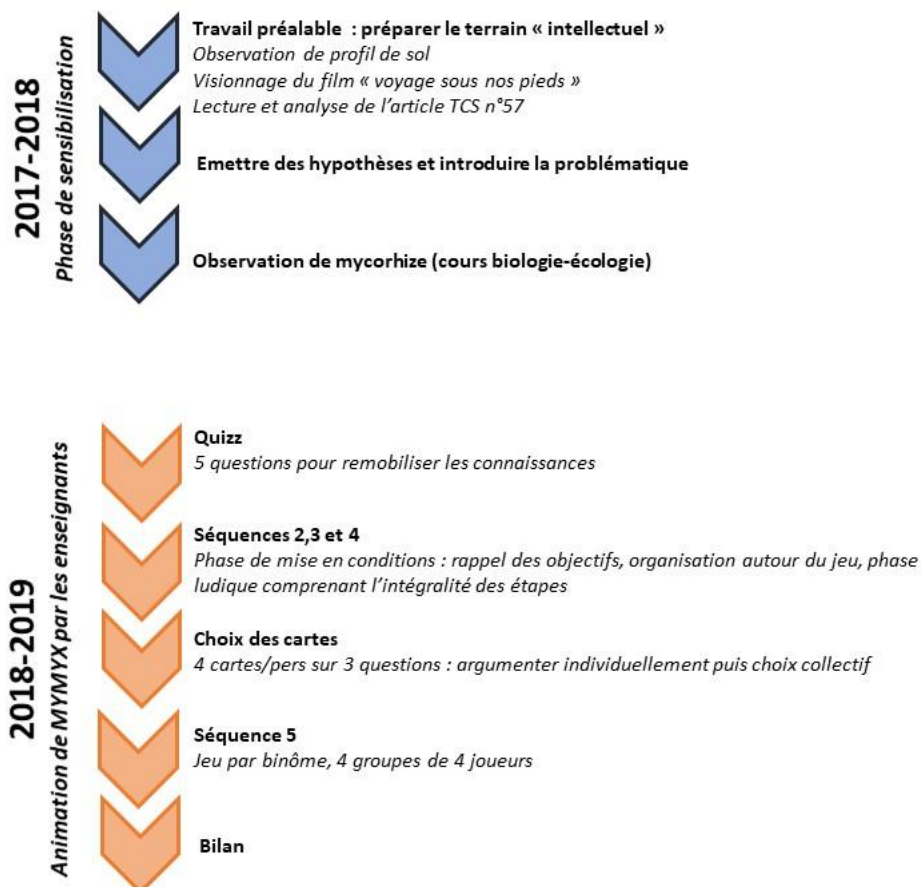
Suivi des populations de lombrics (et carabes)

EA du lycée : plusieurs parcelles, plusieurs conduites culturales permet la comparaison + travail réinvesti chez des agriculteurs demandeurs

## Utilisation projetée de MYMYX

- BTS APV 1 et 2
- Connaissance du fonctionnement du sol
- Capacités des élèves à animer autour du plateau de jeu (conseil)
- Elargir la vision des agris pour qui le fonctionnement du sol est seulement rattaché aux vers de terre

## Itinéraire pédagogique réalisé avec MYMYX



# Lycée agricole de Metz

## Ce que les enseignants font pour aborder la complexité et la vie du sol

Collaboration avec la  
chambre d'agriculture

Observations de  
Lombrics

Observations de  
Lombrics

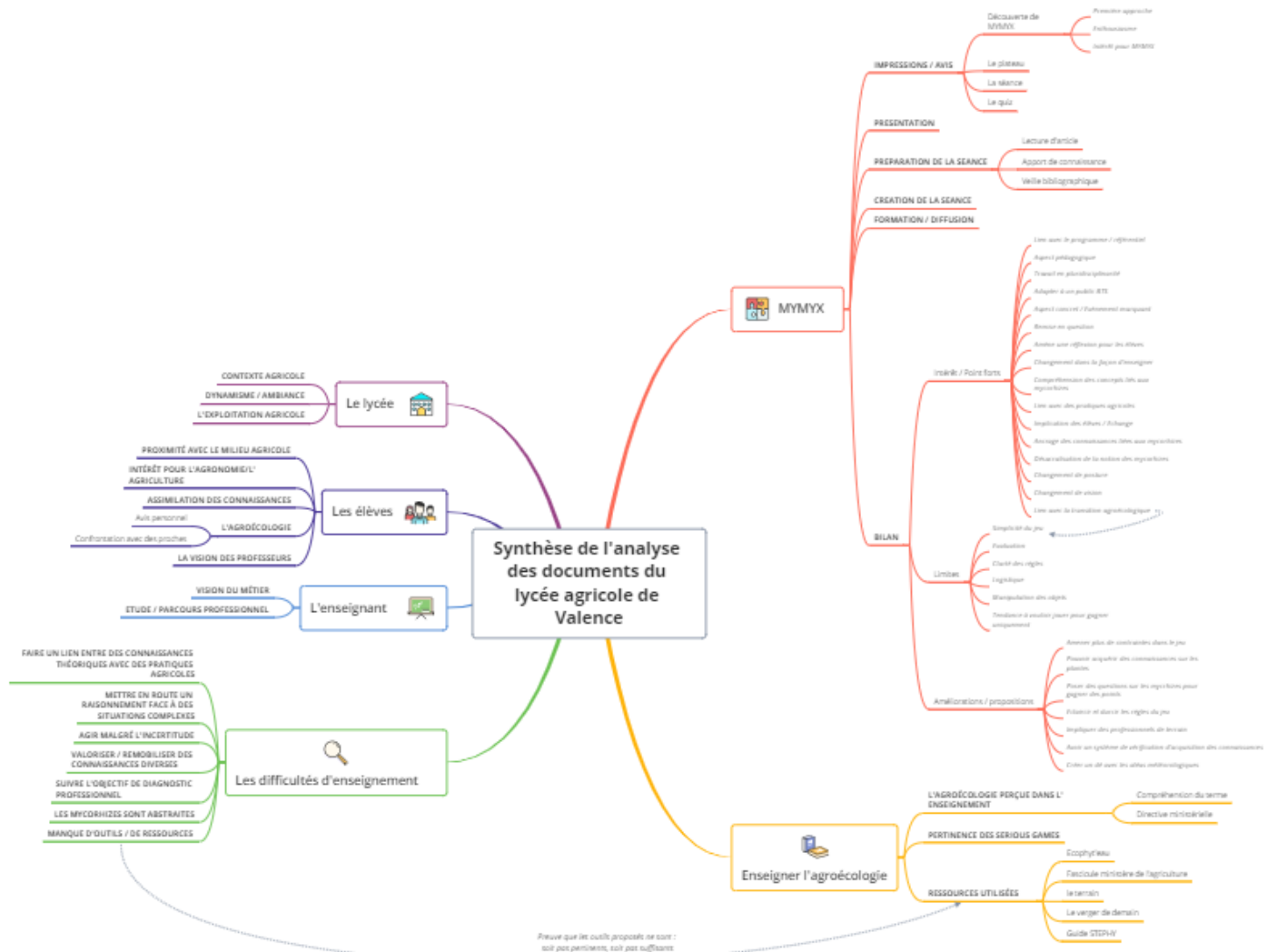
## Utilisation projetée de MYMYX

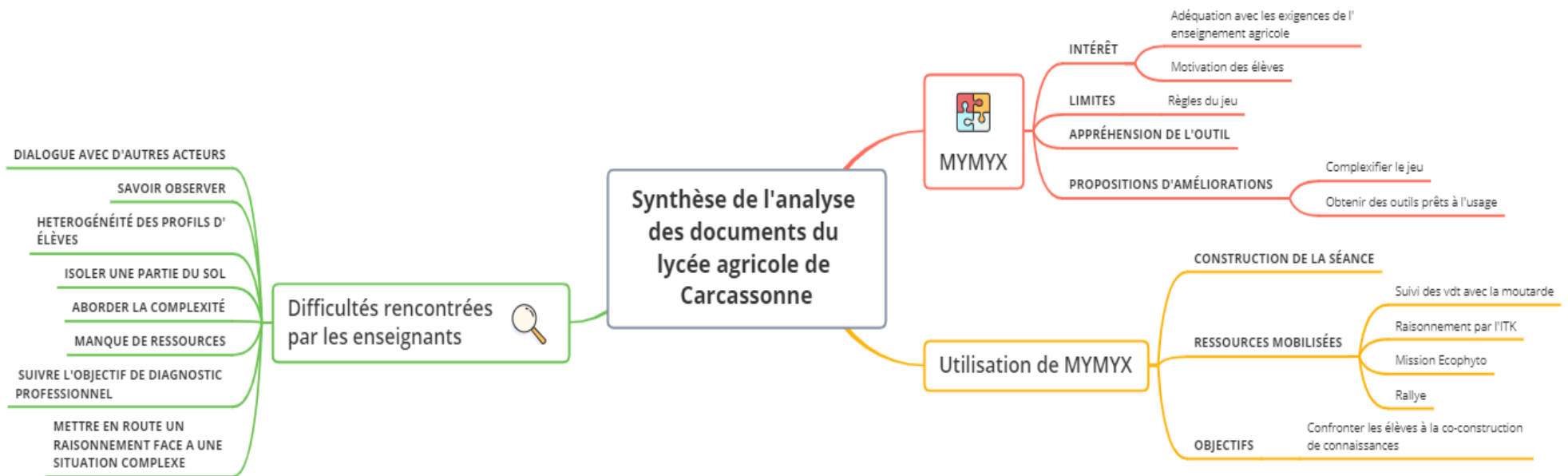
- BTS APV 1
- Avoir une idée des bénéfices que peuvent apporter les mycorhizes
- Faire prendre conscience que ce qui ne se voit pas existe quand même ; rendre visible l'invisible.
- Réaliser plusieurs séances autour de la thématique, aller observer des mycorhizes avec des colorants
- Montrer la plus-value des mycorhizes dans les cours sur le fonctionnement du sol

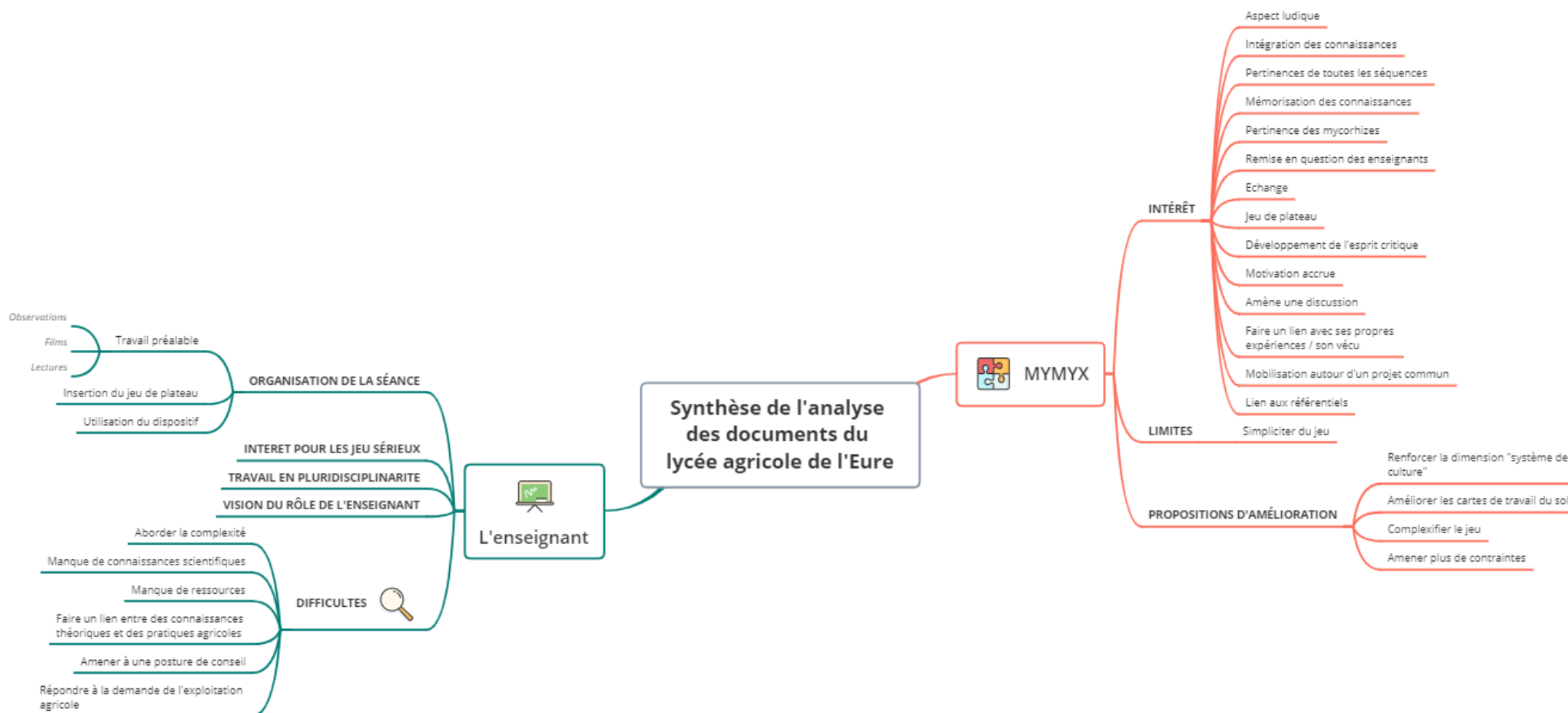
## Itinéraire pédagogique réalisé avec MYMYX (sur trois séances)

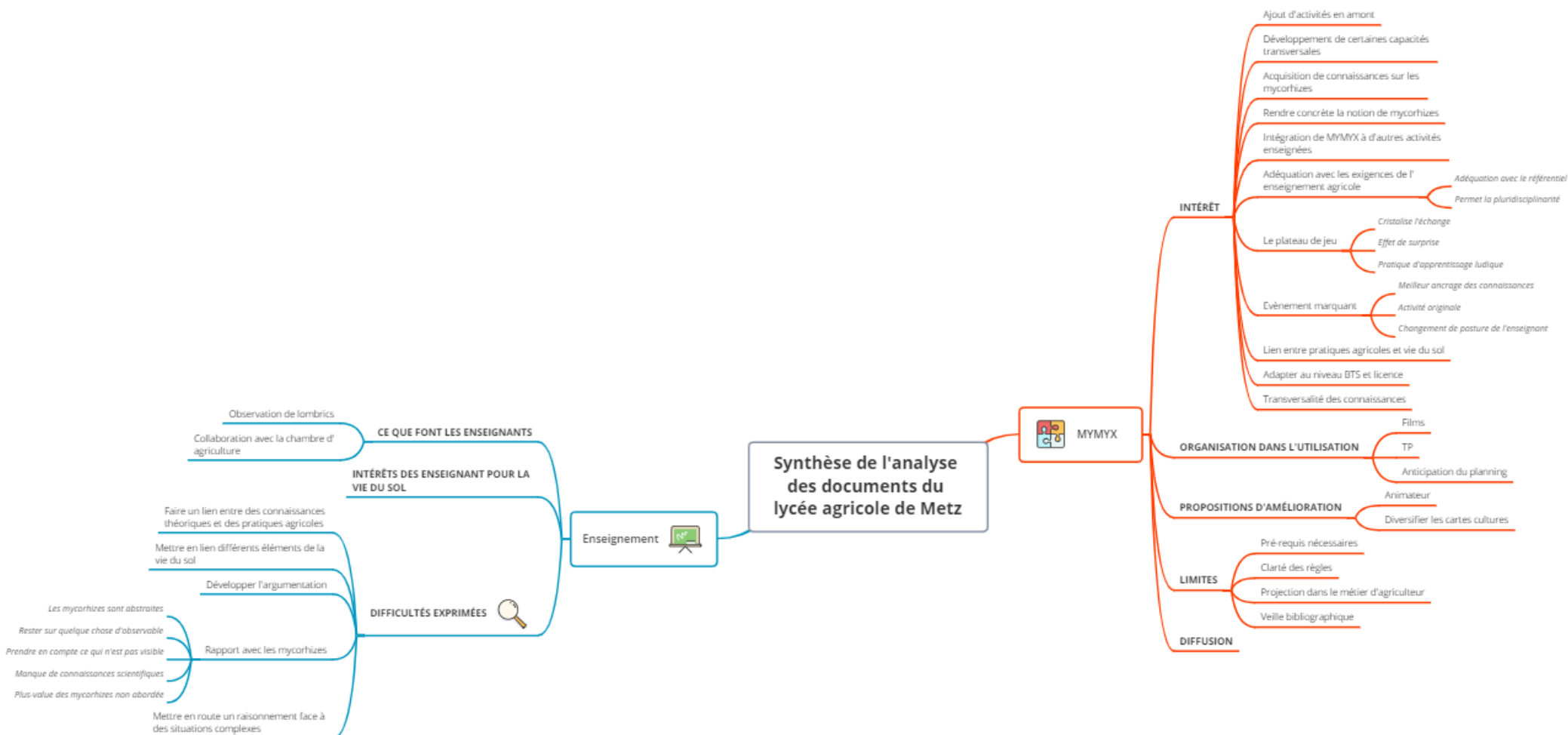


## Cartes mentales des lycées











## Fiches méthodologiques

### Fiche-outil de MYMYX réalisé d'après le support de fiche proposée par Chrétien et al.

Outil d'apprentissage  
sur les mycorhizes

MYMYX

Argumentation, établissement  
d'une stratégie, choix de pratiques  
agricoles, construction d'un  
itinéraire culturel

### Pour qui, sur quoi, comment ?

#### Origine et intentions de départ

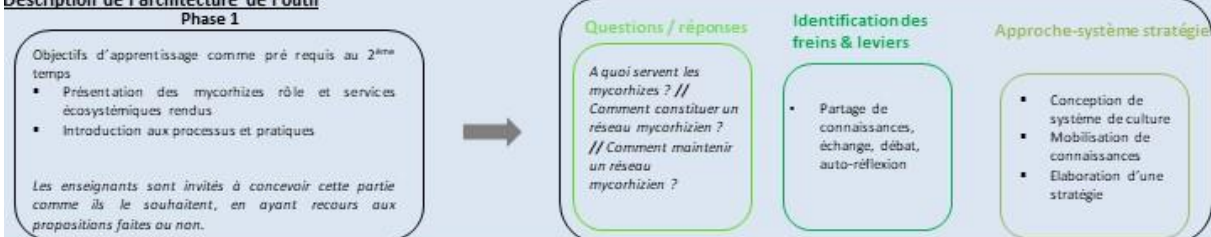
« Travaux développés dans le cadre des projets REACTION (Régulation naturelles et leviers d'ACTION) et SYSTEMYC (Conception de SYSTèmes de culture basés sur l'utilisation de la MYCorhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate) : « mettre en œuvre une démarche d'accompagnement des agriculteurs visant à faciliter les processus d'acquisition, d'appropriation et de contextualisation de la connaissance. D'inspiration KCP (Le Masson et al. 2009), le dispositif articule trois phases i) une phase de formation collective qui permet la production d'un langage commun, le partage et l'appropriation des connaissances en mobilisant l'intervention d'experts et un jeu de plateau, ii) un processus d'évaluation et de suivi des apprentissages individuels sur les mycorhizes et les pratiques qui les favorisent (entretiens individuels sur les exploitations), iii) un atelier prospectif pour concevoir de nouvelles pratiques de valorisation des mycorhizes au niveau des systèmes de production (Chave et Angeon 2018). » Issu du texte MYMYX\_doc\_de\_travail\_enseignants\_V2

#### Objectif du concepteur et activité de l'utilisateur

Dans le cadre de la transition agroécologique, en vue d'aider les agriculteurs, il s'agit de :

- Favoriser les apprentissages sur des interactions souterraines complexes, invisibles et cruciales pour la santé et la productivité des cultures : les mycorhizes
- Partager la nécessité d'une approche systémique pour mettre en œuvre des pratiques agroécologiques
- Initier une réflexion participative sur les freins et les leviers à la mobilisation des mycorhizes
- Évaluer les connaissances acquises
- Co-concevoir des systèmes de culture innovants mobilisant les processus liés aux mycorhizes

#### Description de l'architecture de l'outil



### Potentialités d'apprentissage de l'outil

Etablir un système de culture favorisant le développement mycorhizien par partage de connaissance. Faire un choix de pratiques agricoles pertinent

Comprendre le principe de mycorhization  
Questionner le recours à certaines pratiques agricoles  
Etablir un système de culture favorisant le développement mycorhizien  
Etablir une stratégie en groupe  
Ecouter, argumenter et débattre

Objectifs de l'outil /  
consigne d'utilisation

Objectifs  
pédagogiques

Elaboration d'un système de culture, choix de  
pratique agricole favorables au développement du  
réseau mycorhizien

Protection  
des cultures

Biodiversité  
du sol

Nutrition des  
plantes

Mycorhization

#### Les activités d'apprentissages

- Présentation des mycorhizes et de leur rôle
- Transfert de connaissance « classique »
- Introduction aux processus et pratiques
- Apprentissage individuel

#### Les raisonnements favorisés et concepts mobilisés par le jeu pour :

Amener l'élève à comprendre qu'il n'existe pas une solution unique mais des solutions

Acquérir une capacité d'apprentissage dans un contexte collectif plutôt qu'individuel  
Raisonner et argumenter

Apprendre et hybrider des connaissances (mobilisation de connaissances d'action, apport de connaissances scientifiques)

# Fiche-outil de MYMYX réalisé d'après le support de fiche proposée par Chrétien et al.

## Conditions d'usage

### Organisation de la participation

MYMYX est à utiliser en classe pour une interaction avec les élèves. Les animateurs peuvent être les professeurs ou bien un élève s'il a été préalablement formé.

Le 1<sup>er</sup> temps peut se faire de façon individuelle ou par groupe selon le choix de l'équipe pédagogique. Le 2<sup>ème</sup> temps est plus pertinent quand il est fait par équipe de 2 à 4 élèves. Un groupe comprend donc un maximum de 8 personnes autour du plateau de jeu avec 1 ou 2 animateurs.

### Niveaux requis

Pour un niveau BTS ou licence.

Adaptation à un niveau de 1<sup>ère</sup> ou terminale si modifications de certaines parties du jeu

Des pré requis sur la notion avant de commencer l'utilisation du dispositif sont nécessaires

### Apport de ressources complémentaires pour quelques approfondissements

Il est possible d'inclure plusieurs types de ressources en amont de la séance MYMYX : films , observations de lombrics, travaux pratiques, lecture d'article

### Conditions matérielles, durée

La durée est d'environ 3 heures pour faire l'intégralité des 5 séquences auquel il faut rajouter l'utilisation de ressource annexes. Il est possible de les répartir sur plusieurs demis journées.

## Points de vigilance & Conseils d'usage

### Limites ou points de vigilance

La séquence 4 amène les élèves à se positionner sur l'évolution de certaines pratiques agricoles, certains peuvent avoir des difficultés

Il n'est pas possible de pouvoir improviser une séance d'animation MYMYX sans formation

Il est nécessaire qu'un animateur soit présent pour chaque groupe (maximum 8 personnes autour d'un plateau de jeu)

Le temps d'attribution des points lors du jeu de plateau peut être long

L'outil étant centré autour de la notion de mycorhizes, certaines connaissances peuvent être amenées à évoluer, toutes les connaissances ne sont pas stabilisées et ne font pas toutes l'objet d'un consensus scientifique

### Conseils d'usage

Ne pas hésiter à changer la question, à la reformuler en aidant l'élève à se projeter dans un potentiel métier

Organiser un temps spécifique avec les futurs animateurs afin de : visionner la vidéo de présentation, tester les différentes étapes, faire un choix des étapes à garder

Organiser des animations sur des séances en pluridisciplinarité, demander à un élève d'animer  
Bien lire la carte mentale d'attribution des points et avoir les principales pratiques en tête

Il peut être utile de mettre en place une veille bibliographique pour se tenir informé des grandes avancées dans ce domaine (au moins une à deux fois par an, surtout lors de l'organisation de la séance)

### Comportement des élèves observés lors des tests

Les élèves peuvent avoir tendance à jouer pour gagner

Des élèves peuvent prendre l'ascendant

Les élèves perdent de vue les raisons de l'utilisation d'un jeu et peuvent être dissipés

### Rôle de l'activité enseignante face aux difficultés observées lors des tests

Rappeler les objectifs pédagogiques, rajouter des contraintes au jeu pour que cela soit moins facile

Demander aux élèves d'observer la construction du réseau mycorhizien, faire un bilan de l'utilisation de l'outil, organiser des échanges entre groupes

Etablir des groupes de niveau, vérifier en tant qu'animateur que la parole est bien répartie et que chacun puisse s'exprimer, établir des règles de bienveillances

## Ressources complémentaires

Vidéo de présentation de MYMYX sur le site ChloroFil, fiches INRAE, vidéo Youtube de modélisation en 3D



## Script vidéo

« Le dispositif MYMYX © (*Mimic Mycorrhizal Networks*) vise à favoriser, dans une dynamique pluridisciplinaire, l'apprentissage collectif autour de la valorisation de la biodiversité du sol pour la conception de systèmes de culture agroécologiques. MYMYX a été expérimenté par plusieurs équipes mobilisées pour enseigner à produire autrement au niveau BTS. Il a été développé à partir de 2014 à INRAE par Valérie Angeon et Marie Chave dans le cadre des projets REACTION<sup>1</sup> et SYSTEMYC. (Métaprogramme INRAE Smach et Plan Ecophyto).

Cela a permis à ces enseignants de : « Rendre visible l'invisible », « Développer un raisonnement agroécologique », « Penser la plante en interaction », « Aborder la complexité », « développer l'argumentation », « relier les connaissances théoriques au terrain ». MYMYX est devenu un outil évolutif pour l'apprentissage et la co-construction de connaissances dans les disciplines des sciences du vivant.

Cette modalité pédagogique n'a pas seulement pour but d'introduire ce que sont les mycorhizes et leurs enjeux. A travers le réseau mycorhizien, les participants peuvent aborder différentes connaissances (mobilisation des régulations naturelles, santé des plantes...), différents concepts (l'agroécologie, l'approche systémique...) et se situer à différentes échelles (plante, parcelle, exploitation).

MYMYX est centré sur les mycorhizes. Les mycorhizes sont des symbioses entre des champignons présents dans la majorité des sols et les racines de très nombreuses plantes (environ 80% des espèces végétales). Les mycorhizes présentent un avantage majeur car elles favorisent l'approvisionnement de la plante en différentes ressources (eau, phosphore, azote) et contribuent à augmenter sa résistance à différents stress : la sécheresse ou les attaques de certains bio-agresseurs. Les mycorhizes associent les plantes entre elles pour constituer des réseaux d'échanges.

Le dispositif MYMYX mobilise les participants pendant une demi-journée en 2 temps : il articule un temps de découverte des mycorhizes et du potentiel des réseaux mycorhiziens pour développer des systèmes de culture agroécologiques avec un temps de jeu de plateau pour

---

<sup>1</sup> REACTION : « REgulation naturelles et leviers d'ACTION : Focus la bioprotection préventive de la tomate par les symbioses mycorhiziennes » APR Métaprogramme SMaCH Sustainable Management of Crop Health. SYSTEMYC : Conception de SYSTEmes de culture basés sur l'utilisation de la MYCorhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate (2015-2018).

mettre à l'épreuve les différentes pratiques agricoles possibles dans la gestion du réseau mycorhizien.

Le premier temps consiste à découvrir les mycorhizes et leurs enjeux. Il peut prendre plusieurs formes : la consultation de différents documents écrits ou vidéo, la réalisation d'observations à partir de prélèvements de terrain, un quizz interactif. Différentes ressources sont à disposition des équipes, mais chacune reste libre de construire ce premier temps de découverte selon ses propres objectifs et contraintes.

Le deuxième temps est joué simultanément par plusieurs groupes avec un animateur pour chaque groupe. L'animateur peut être un élève s'il a été formé en amont. Le jeu s'appuie sur plusieurs supports : des cartes de jeu qui représentent les pratiques agricoles, des supports pour positionner ces cartes, un plateau de jeu... Afin de constituer un support de médiation pour le groupe mais aussi pour en faciliter l'animation.

Plus précisément, le deuxième temps de MYMYX comprend 3 séquences de jeu

*Liste des 3 séquences :*

- *Séquence 1 (processus aux pratiques)*
- *Séquence 2 (pratiques terrains)*
- *Séquence 3 (approche système - stratégie)*

La première séquence consiste en différentes questions-réponses pour échanger autour des connaissances et des pratiques qui permettent la constitution et le maintien des réseaux mycorhiziens. Les joueurs sont donc amenés à faire des propositions et à les argumenter.

Pour ce faire, les joueurs doivent répondre aux 3 questions suivantes à partir de leur compréhension des processus :

- A quoi servent les mycorhizes ?
- Comment constituer un réseau mycorhizien ?
- Comment maintenir un réseau mycorhizien ?

Pour répondre, chaque équipe dispose d'un jeu de cartes. Sur ces cartes sont indiquées des réponses possibles aux questions (bonnes ou mauvaises). Chaque équipe a également la possibilité de faire de nouvelles propositions sur des cartes vierges en faisant part de pratiques effectives observées ou envisagées.

Après un temps de réflexion, chaque équipe présente et argumente le choix d'une carte au collectif chargé de les valider.

La présentation d'une carte à tour de rôle a pour objectif de favoriser les échanges, l'appropriation collective de connaissances et le partage des expériences de pratiques agricoles des élèves.

La deuxième séquence est un moment dédié à l'identification des freins et des leviers à la mise en œuvre de pratiques agricoles pour le développement des réseaux mycorhiziens. Les étudiants peuvent jouer le rôle d'un agriculteur ou d'un conseiller. Les équipes recontextualisent ainsi leurs pratiques et discutent de leur compatibilité avec l'émergence et l'entretien de réseaux mycorhiziens. L'objectif de cette séquence est de hiérarchiser les pratiques en fonction de leur faisabilité et de leur intérêt.

Dans la dernière séquence, il s'agit de préparer une stratégie pour l'étape suivante, à mettre en œuvre sur le plateau de jeu. L'objectif est de concevoir un système de culture à partir de cartes (des choix stratégiques en terme cultures/intercultures, travail du sol, fertilisation, photoprotection, introduction de mycorhizes commerciales ou pas.) qui permettent de gagner des filaments à poser sur le plateau de jeu. Ces filaments rendent visible le développement du réseau mycorhizien et l'accès aux ressources par les plantes (Eau, N, P, K).

Les règles du jeu montrent que les plantes sont soumises à des aléas (attaques de bio agresseurs par exemple) dont elles en sont potentiellement protégées par la mycorhization de leurs racines. Néophytes ou experts, les joueurs découvrent ou redécouvrent la constitution progressive des réseaux mycorhiziens, et son intérêt pour le transfert de ressources à la plante, la bio protection vis-à-vis des bio agresseurs du sol et pour les communications entre plantes.

L'application de la stratégie sur le plateau permet de visualiser l'invisible, à savoir l'ensemble des processus qui rentre en jeu dans le développement du réseau mycorhizien. De plus, la comparaison de stratégies entre équipes permet d'illustrer la co-compétition qui existe entre les plantes au sein d'un même réseau mycorhizien.

Le jeu se termine lorsqu'une équipe a prélevé une ressource de chaque type (eau, N, P, K) pour chacune de ses plantes.

**Conclusion (à revoir) :** MYMYX permet de travailler les facteurs favorables et défavorables au développement mycorhizien, les combinaisons et les contradictions entre pratiques, la diversité des stratégies ... ».

# ANNEXE 3 : DOCUMENTS COMPLEMENTAIRES

Informations relatives à l'enseignement agricole en France



## L'enseignement agricole Formations et métiers du vivant

L'enseignement agricole relève de la compétence du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Il regroupe l'enseignement technique agricole (jusqu'au bac ou BTS) et l'enseignement supérieur agronomique, vétérinaire et de paysage. Les domaines de formation sont variés



Production agricole, forestière, aquacole et des produits de la mer



Transformation et commercialisation de ces productions



Industrie agroalimentaire et alimentaire, industries liées à l'agriculture



Santé et protection animale et végétale, hygiène, qualité et sécurité de l'alimentation



Aménagement, développement, gestion et protection de l'espace rural, de la forêt, de l'eau, des milieux naturels et du paysage



Service aux personnes et aux territoires

**805**  
ÉTABLISSEMENTS  
216 publics,  
589 privés

**140**  
CENTRES  
DE FORMATION  
D'APPRENTIS  
94 publics,  
46 privés

**410**  
CENTRES DÉLIVRANT  
DES HEURES  
DE FORMATION  
PROFESSIONNELLE  
CONTINUE  
154 publics,  
256 privés

**18**  
ÉCOLES  
D'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR  
AGRICOLE

11 établissements publics d'enseignement supérieur agronomique, vétérinaire et paysager  
6 écoles d'ingénieurs privées sous contrat  
1 institut à vocation euroméditerranéenne



**192**  
EXPLOITATIONS  
AGRICOLLES  
dans les  
établissements  
publics

**35**  
ATELIERS  
TECHNOLOGIQUES  
ET CENTRES  
ÉQUESTRES

**19 031**  
HECTARES  
CULTIVÉS  
dont 24%  
certifiés agriculture  
biologique



**45%** DE FILLES  
**55%** DE GARÇONS

**138 347**  
ÉLÈVES

**36 726**  
APPRENTIS



**93%**  
DE RÉUSSITE  
AUX EXAMENS

Juin 2020, tous diplômes confondus du CAP agricole au BTS.  
Source : Système d'information des examens de l'enseignement agricole

**35 604**  
ÉTUDIANTS

**14,3 M**  
D'HEURES  
STAGIAIRES

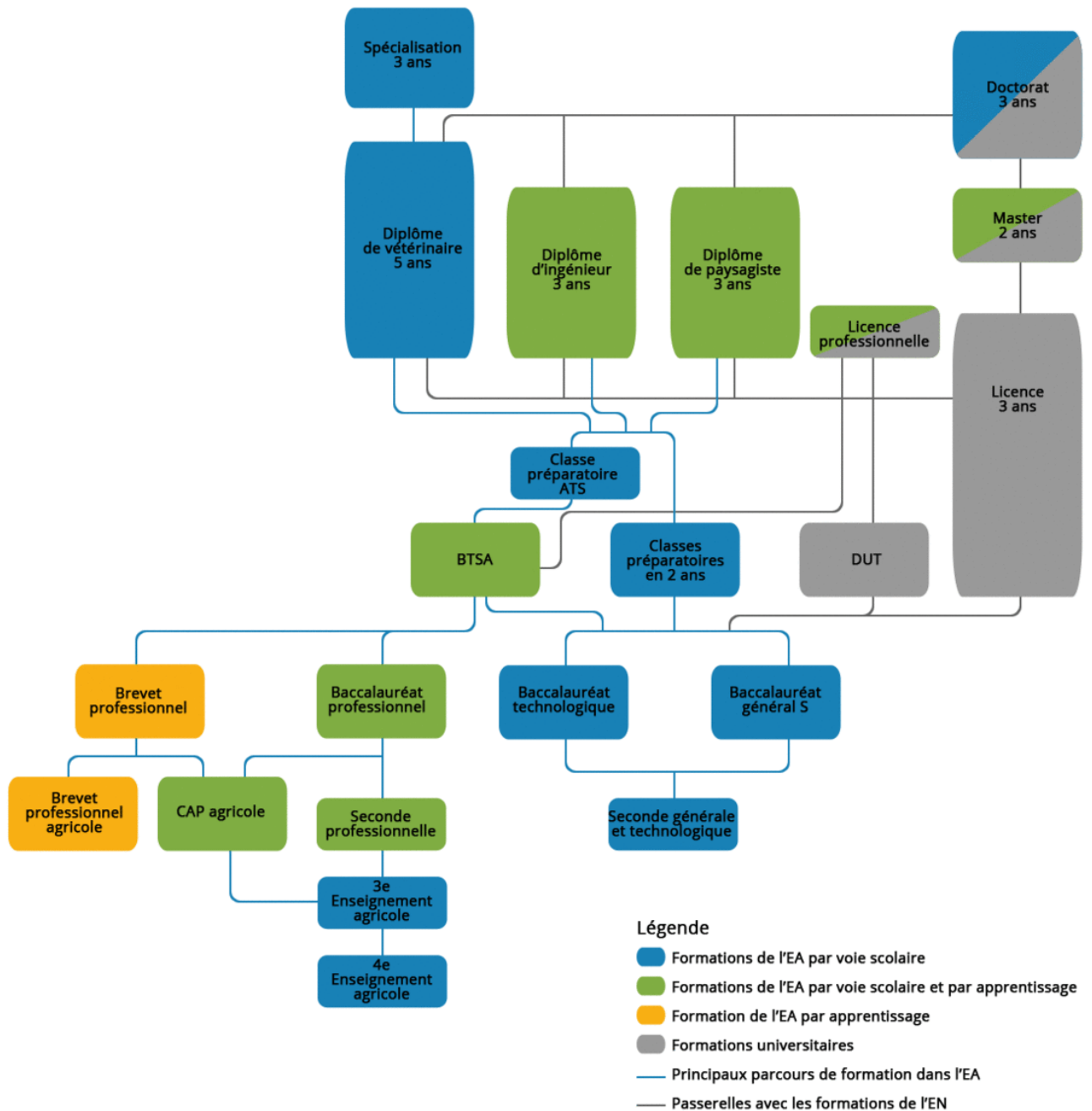
TAUX D'INSERTION  
PROFESSIONNELLE  
BAC PRO **82 %**  
BTS **90 %**  
3 ans après l'obtention du diplôme  
ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR LONG **93 %**  
12 mois après obtention du diplôme

SOURCE : DGER, 2020.

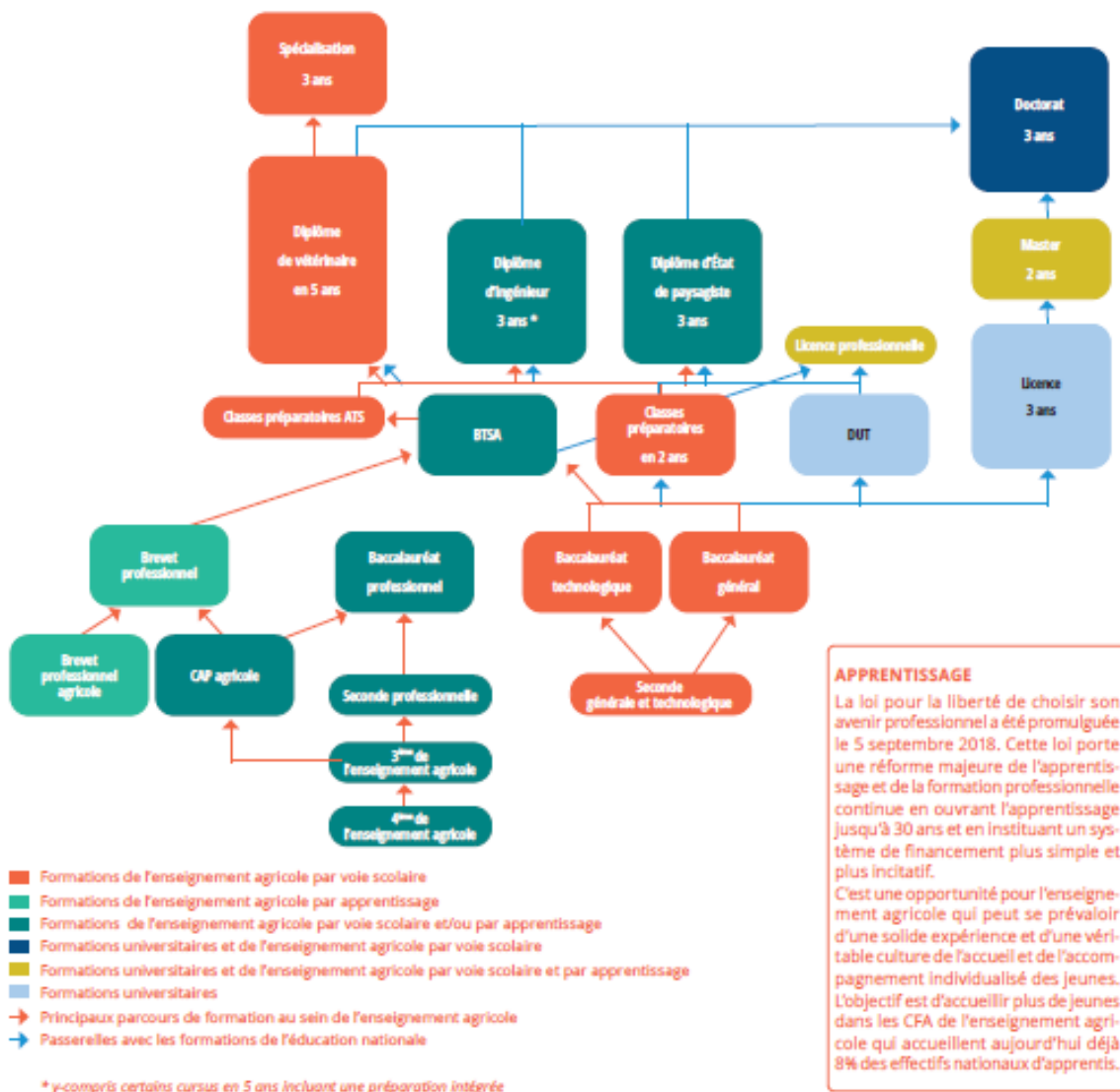
## L'enseignement agricole : Des formations de la 4<sup>ème</sup> au doctorat

### L'enseignement agricole Des formations de la 4<sup>e</sup> au doctorat

(Source : Portrait de l'enseignement agricole, MAA - DGER, Paris)



## DES FORMATIONS POUR TOUS, DE LA 4<sup>ème</sup> AU DOCTORAT



## Evolution entre les plans EPA 1 et EPA 2

	<b>Plan enseigner à produire autrement</b> (2014-2018)	<b>Plan enseigner à produire autrement pour les transitions et l'agro-écologie</b> (2020-2024 ?)
<b>Axe 1</b>	<b>Rénover les référentiels des diplômes et les pratiques pédagogiques</b>	<b>Encourager la parole et l'initiative des apprenants sur les questions des transitions et de l'agro-écologie</b>
<b>Action s</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénover la spécialité du Certificat d'aptitude professionnelle agricole (CAPA) du secteur de la production agricole</li> <li>- Rénovation du baccalauréat professionnel Conduite et gestion de l'exploitation agricole (CGEA) et du brevet professionnel Responsable d'entreprise agricole (REA)</li> <li>- Rénovation des brevets de technicien supérieur Analyse et conduite des systèmes d'exploitation (ACSE) et Développement et agriculture des régions chaudes (DARC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Préparer les jeunes à débattre Soutenir la dynamique du réseau des éco-responsables</li> <li>- Développer la participation active des apprenants dans la construction et la conduite de projets</li> <li>- Reconnaître et valoriser toutes les compétences des apprenants liées aux transitions</li> </ul>
<b>Axe 2</b>	<b>Mobiliser les exploitations agricoles et ateliers technologiques</b>	<b>Mobiliser la communauté éducative pour enseigner l'agroécologie et préparer aux transitions</b>
<b>Actions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construire et animer un programme régional des exploitations agricoles et ateliers technologiques des établissements d'enseignement agricole renforçant leur implication dans la transition agroécologique</li> <li>- Mise en œuvre d'un projet pilote innovant d'expérimentation-démonstration en matière d'agroécologie sur une exploitation dans chaque région, avec des partenariats externes, et sélectionné dans le cadre d'un appel à propositions financé par le CASDAR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégrer les enjeux des transitions et de l'agroécologie dans les projets d'établissements</li> <li>- Poursuivre la rénovation des référentiels</li> <li>- Accompagner et former les équipes éducatives et pédagogiques aux référentiels rénovés</li> <li>- Mettre en place une plateforme de ressources pédagogiques accessible à tous les acteurs de l'enseignement agricole</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Étudier la possibilité de constituer des groupes opérationnels dans le cadre du partenariat européen pour l'innovation (PEI) et du financement FEADER, au niveau de chaque région</li> </ul>	
<b>Axe 3</b>	<b>Renforcer la gouvernance régionale</b>	<b>Amplifier la mobilisation des exploitations agricoles et ateliers technologiques comme support d'apprentissage, de démonstration et d'expérimentation</b>
<b>Actions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilotage du programme régional par les Directions régionales de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt et les Directions de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt</li> <li>- Animation et coordination régionale des initiatives des établissements de l'enseignement agricole</li> <li>- Suivi et évaluation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Élaborer et déployer une approche diagnostique harmonisée des exploitations agricoles et ateliers technologiques de l'enseignement agricole</li> <li>- Mobiliser les exploitations et ateliers de l'enseignement agricole autour d'objectifs collectifs et suivre leurs progrès</li> <li>- Participer à des projets d'expérimentation et démonstration multi-sites // Repérer et impliquer des exploitations innovantes sur le territoire</li> </ul>
<b>Axe 4</b>	<b>Former les personnels et accompagner les établissements dans leurs projets « enseigner à produire autrement »</b>	<b>Développer l'animation dans les territoires et l'essaimage des pratiques innovantes</b>
<b>Actions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier et former les référents régionaux</li> <li>- Accompagner la communauté éducative à « Enseigner à produire autrement »</li> <li>- Réaliser l'inventaire des actions et compétences internes à l'enseignement et la recherche agricoles sur le thème « Produisons autrement »</li> <li>- Création d'un dispositif d'information et de communication « Enseigner à produire autrement »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcer et développer les partenariats territoriaux</li> <li>- Rendre visible et accessible la TAE mise en œuvre dans les établissements</li> <li>- Incarner les objectifs de la loi EGALIM en matière de restauration collective</li> <li>- Structurer des partenariats thématiques</li> </ul>



## ANNEXE 4 : MYMYX

### Mycorhize

Les endomycorhizes, c'est quoi ?

Le terme mycorhize désigne une association symbiotique entre les racines des plantes photosynthétiques et certains champignons filamenteux du sol (les champignons mycorhiziens à arbuscules, CMA). Plus précisément ce mot tire son origine du grec *μύκης* pour champignon et du latin *rhiza* pour racine, littéralement donc un « champignons-racine ». Le principe de cette symbiose est le suivant : le champignon, associé aux racines, développe des hyphes mycéliens (filaments) qui permettent d'augmenter le volume de sol exploré par la plante. Ce type de symbiose est le plus ancien et le plus largement répandu au sein du monde végétal. Apparu il y a 400 à 500 millions d'années avec les premières plantes qui ont colonisé le milieu terrestre. Cette association permet ainsi un bénéfice réciproque car la plante peut ainsi prélever et transporter des éléments minéraux parfois peu mobiles et dilués dans le sol comme le phosphore (P), mais aussi l'eau ce qui permet d'augmenter la résistance à la sécheresse. En échange, la plante fournit au champignon des éléments carbonatés issus de la photosynthèse. Le champignon ne peut se développer sans plante, la symbiose est obligatoire (Fortin, Plenchette, et Piché 2016). Bien que certaines familles de plantes soient totalement dépourvues de cette symbiose (Brassicacées et chénopodiacées), la plupart des espèces végétales supérieures établissent une symbiose mycorhizienne (80%) soit environ 400 000 espèces.

Les champignons partenaires de cette symbiose sont les Gloméromycètes, groupe apparu avant que la vie n'émerge des océans, il y a plus d'un demi-milliard d'années (Garbaye 2013). A l'inverse des ectomycorhizes, seuls quelques centaines d'espèces de champignons sont impliqués dans cette symbiose (Fortin et al., 2016).

La particularité morphologique de cette symbiose se situe au niveau de la structure fongique. En effet, le terme « arbusculaire » désigne la structure microscopique située au niveau des cellules corticales des racines. La formation des mycorhizes a lieu grâce à la reconnaissance entre un champignon et une racine compatibles susceptibles de mettre en place cette association (Garbaye 2013). La racine de la plante émet en permanence un signal moléculaire. S'il est perçu par la spore dormante du champignon, il donnera lieu à sa germination et à la croissance du mycélium en direction de la racine. Dans cette symbiose le champignon pénètre véritablement les structures sans les perturber.

### Enjeux autour des champignons mycorhiziens à arbuscules

La symbiose mycorhizienne fournit de nombreux services écosystémiques. Elle permet par exemple de favoriser la croissance des plantes d'augmenter la résistance des plantes à la sécheresse et à la salinité ou encore d'augmenter la résistance des plantes aux stress (Gianinazzi et al. 2010). Ceci a pour conséquence de réduire les besoins en engrais et en apports phytochimiques. Bien que les services écosystémiques potentiels soient importants, il s'agit de processus complexes, invisibles à l'œil nu, encore peu connu et sous-exploité en agriculture et dont la mobilisation dépend très fortement du contexte agronomique. Or des menaces pèsent autour de ces symbioses. En effet, les pratiques agricoles intensives comme le labour, l'utilisation de pesticides, la fertilisation chimique ou encore la monoculture sont d'autant de pratiques qui détériorent ou empêchent le développement mycorhizien (Bedini citant Matson et al. 1997, Mäder et al. 2002 et Tilman et al. 2002). Des études montrent que le passage en agriculture biologique permet d'augmenter l'activité mycorhizienne du sol comparé à des sols en agriculture conventionnelle (Bedini Gosling et al. (2010). Ces résultats sont à contraster avec d'autres études (Purin et al. 2006), mais il semblerait que l'arrêt de l'utilisation d'intrants et le passage à une agriculture biologique permette une régénération durable des sols. (Bedini et al. 2013).

### Production de mycorhizes

Il est possible de valoriser les CMA de deux manières : l'introduction de souches exogènes ou le développement de souches indigènes.

#### ***Utilisation de mycorhizes exogènes***

L'inoculation de CMA exogènes produites de façon industrielle est la technique la plus largement répandue auprès des agriculteurs. Un inoculum mycorhizien est une préparation qui contient un ou des champignons mycorhiziens. L'inoculation mycorhizienne est le fait d'introduire cet inoculant dans un système de culture. Afin de répondre à des exigences de stockage et transport importants, le conditionnement peut prendre différentes formes : liquide, sacs, enrobage de semences, etc. En France, les mycorhizes industrielles sont commercialisées comme matières fertilisantes<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Au moins treize produits dont les mycorhizes sont enregistrés et commercialisés comme matière fertilisante et supports de culture (articles L.255-1 à L.255-11 du code rural et de la pêche). Ils contiennent tous la même souche de champignon mycorhizien (*Rhizoglyphus irregularis* DAOM 181602/197198), sélectionnée en raison de sa capacité de reproduction élevée (Chave et al. 2019).

Cette stratégie correspond au système socio technique dominant de l'agriculture industrielle qui repose sur le paradigme productiviste basé sur l'efficacité ou la substitution d'intrants.(Chave et al. 2019). Les risques écologiques de telles pratiques ne sont pas évalués. Des risques peuvent apparaître comme la compétition interspécifique avec des souches indigènes qui peuvent empêcher la souche inoculée de se lier à la plante cible ou au contraire représente le risque d'une invasion biologique du sol ainsi traité (Chave et al. 2019). Face au manque de connaissance, certains auteurs suggèrent aux agriculteurs de n'utiliser cette pratique qu'en cas de nécessité et avec prudence (Hart et al. 2018).

### ***Mobilisation des mycorhizes indigènes***

Pourtant, il est aussi possible de valoriser les mycorhizes naturellement présentes dans les sols en mobilisant les mycorhizes dites indigènes (Chave et al. 2018). Cette pratique est encore peu prise en compte par les agriculteurs mais les techniques pour favoriser leur développement sont techniquement connues et disponibles : association en inter-rang de plantes capables de mobiliser des CMA indigènes : « Cette pratique est par ailleurs porteuse de nombreux avantages économiques et écologiques puisqu'elle n'impose pas à l'agriculteur d'acheter des intrants » (Chave et al. 2018).

Quel que soit la technique choisie, recours à l'inoculation de CMA exogènes ou mobilisation de mycorhizes indigènes, il est selon Chave et al., essentiel de mettre en œuvre des pratiques agricoles adaptées (Chave et al. 2018). Or, les produits commerciaux à base de mycorhizes sont vendus avec très peu d'explications sur les pratiques agricoles favorisant la mise en place du réseau mycorhizien comme : la réduction ou suppression du labour, la rotation des cultures, la limitation de la fertilisation et de l'application de pesticides (Jansa, Wiemken, et Frossard 2006). Il ne s'agit pas uniquement d'acheter des souches exogènes et de les inoculer dans son champ en espérant un développement mycorhizien. Il faut aussi accompagner cette démarche de pratiques adéquates et d'une bonne gestion du moment d'inoculation, sans lesquelles l'établissement de la symbiose et du développement du réseau mycorhizien est compromis (Chave et al. 2019; Verbruggen et al. 2013).

« Alors que l'amélioration de la colonisation par des CMA indigènes semble être une pratique alternative prometteuse (Pellegrino et al. 2011), les avantages en termes de rendement fournis par une telle gestion des cultures sont controversés. Certains auteurs soutiennent que la littérature présente une vision trop optimiste des impacts des CMA sur les rendements (Ryan et Graham 2018; Ryan et al.2019). D'autres répondent que limiter l'analyse aux rendements est

restrictif au vu des nombreux services que les champignons mycorhiziens arbusculaires peuvent fournir pour contribuer à la durabilité des agrosystèmes (Rillig et al.2019). Néanmoins, la plupart des auteurs conviennent que l'évaluation des impacts des champignons mycorhiziens arbusculaires sur les rendements dans les expériences sur le terrain est très difficile, en particulier en raison de la difficulté de produire des plantes témoins non colonisées » (Chave et al. 2019).

Ces deux approches ont toutes deux pour objectif d'amener à une gestion des champignons mycorhiziens dans les champs cultivés. Dans les deux cas les champignons sont soumis aux effets des pratiques culturales. Un facteur déterminant dans la réussite de l'utilisation des mycorhizes dans un système de culture est celui de la réceptivité du sol. En effet, dans des sols très fertilisés<sup>3</sup> l'installation de mycorhize peut s'avérer difficile car on estime qu'il faudrait des décennies après un arrêt de fertilisation phosphatée afin d'arriver à un niveau de phosphore compatible avec l'installation des mycorhizes (Fortin et al., 2016).

Face à l'intérêt croissant pour l'utilisation des mycorhizes et au caractère incomplet des connaissances scientifiques on se retrouve face à une incertitude des acteurs : les agriculteurs ne sachant pas s'ils doivent en acheter et les conseillers ne sachant pas s'ils doivent les conseiller. La thématique des mycorhizes pose la une problématique concrète impliquant plusieurs acteurs et nécessitant un changement de paradigme emblématique de la transition agroécologique.

#### Ressources bibliographiques

Bedini, Stefano, Luciano Avio, Cristina Sbrana, Alessandra Turrini, Paola Migliorini, Concetta Vazzana, et Manuela Giovannetti. 2013. « Mycorrhizal activity and diversity in a long-term organic Mediterranean agroecosystem », *Biol Fertil Soils*, , n° 49: 781-90. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0770-6>.

Chave, Marie, Valérie Angeon, Raphaël Paut, Robin Collombet, et Marc Tchamitchian. 2019. « Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants », *Agronomy for sustainable development*, , octobre, 39-48.

Chave, Marie, Valérie Angeon, Raphaël Paut, Marc Tchamitchian, M Goasduff, A.C Harter, G Paul, S Quinquenel, et H Ster. 2018. « Du partage de connaissances à la co-conception d'innovations agroécologiques : Exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane », *Innovations Agronomiques*, 64: 97-111.

Fortin, J.André, Christian Plenchette, et Yves Piché. 2016. *Les mycorhizes : L'essor de la nouvelle révolution verte*. Quae.

---

<sup>3</sup> C'est le cas par exemple des élèves hors sol ou élevage laitier

Garbaye, Jean. 2013. *La symbiose mycorhizienne : Une association entre les plantes et les champignons*. Quae.

Gianinazzi, Silvio, Armelle Gollotte, Marie-Noëlle Binet, Diederick van Tuinen, Dirk Redecker, et Daniel Wipf. 2010. « Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services », 519-30. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>.

Hart, Miranda M., Pedro M. Antunes, Veer Bala Chaudhary, et Lynette K. Abbott. 2018. « Fungal Inoculants in the Field: Is the Reward Greater than the Risk? » Édité par Katie Field. *Functional Ecology* 32 (1): 126-35. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12976>.

Jansa, Jan, Andres Wiemken, et Emmanuel Frossard. 2006. « The Effects of Agricultural Practices on Arbuscular Mycorrhizal Fungi ». *Geological Society, London, Special Publications* 266 (1): 89-115. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.266.01.08>.

Verbruggen, Erik, Marcel G. A. van der Heijden, Matthias C. Rillig, et E. Toby Kiers. 2013. « Mycorrhizal Fungal Establishment in Agricultural Soils: Factors Determining Inoculation Success ». *New Phytologist* 197 (4): 1104-9. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04348.x>.

# Présentation du dispositif MYMYX utilisé lors de l'atelier collaboratif par Marie Chave et Valérie Angeon

## Séquence 1 - Le quiz

Cette séquence permet d'évaluer le niveau général des élèves concernant leurs connaissances des mycorhizes ainsi que les liens qu'ils peuvent faire entre ces micro-organismes et les services écosystémiques, la fertilité du sol, les pratiques de cultures et plus généralement la transition agroécologique. L'apprentissage se fait ici de façon individuelle.

Les réponses sont restituées à l'ensemble de la classe et expliquées. Ainsi l'élève est en capacité d'autoévaluer ses connaissances et rectifier les réponses qui auraient pu être fausses.

Des exemples de question existent déjà, c'est au professeur que revient la décision finale de choisir les questions qu'il posera aux élèves.

## Séquence 2 – Les mycorhizes des réseaux vivant aux cultures

L'objectif ici est de présenter le fonctionnement des mycorhizes et d'apporter des réponses à deux questions essentiellement : « que sont les mycorhizes ? » et « à quoi servent-elles ? ». Deux supports pédagogiques seront privilégiés : une maquette démonstrative (il s'agit du plateau en bois figure 3) et une fiche de synthèse du jeu de plateau.

L'enseignant sera également amené à présenter un diaporama afin d'expliquer la façon dont se constitue un réseau mycorhizien et expliquer en quoi cela favorise le transfert des ressources du sol à la plante, la bio-protection face aux bio-agresseurs et également la communication entre plantes.

## Séquence 3 : Le Myc-Mapping questions/réponses

Lors de cette séquence l'enseignant devra présenter le jeu de plateau MYC-MAPPING et regrouper les élèves par équipe autour de chaque plateau. Un plateau peut accueillir jusqu'à 8 personnes. La première étape réside dans l'échange des connaissances et pratiques agricoles qui permettent de créer ou de maintenir le réseau mycorhizien. A partir de leur compréhension les élèves devront faire un choix individuel puis collectif afin de répondre à trois questions :

1. A quoi servent les mycorhizes ?
2. Comment constituer un réseau mycorhizien ?
3. Comment maintenir un réseau mycorhizien ?

Chaque groupe d'élève disposera de cartes de pratiques contenant des réponses, bonnes (si la pratique concernée favorise le réseau mycorhizien) ou erronées (si la pratique détériore ou n'améliore pas ce réseau), ce sera à l'élève de choisir celles qui selon lui sont les plus pertinentes (Figure 1). Certaines cartes sont vierges afin que l'élève puisse proposer des idées personnelles. Après la réflexion individuelle chaque élève devra choisir une carte (différente de l'élève précédent) et expliquer son choix. Cette présentation à tour de rôle favorise l'échange et l'argumentation entre élèves. Les échanges pourront si nécessaires être régulés par l'enseignant.

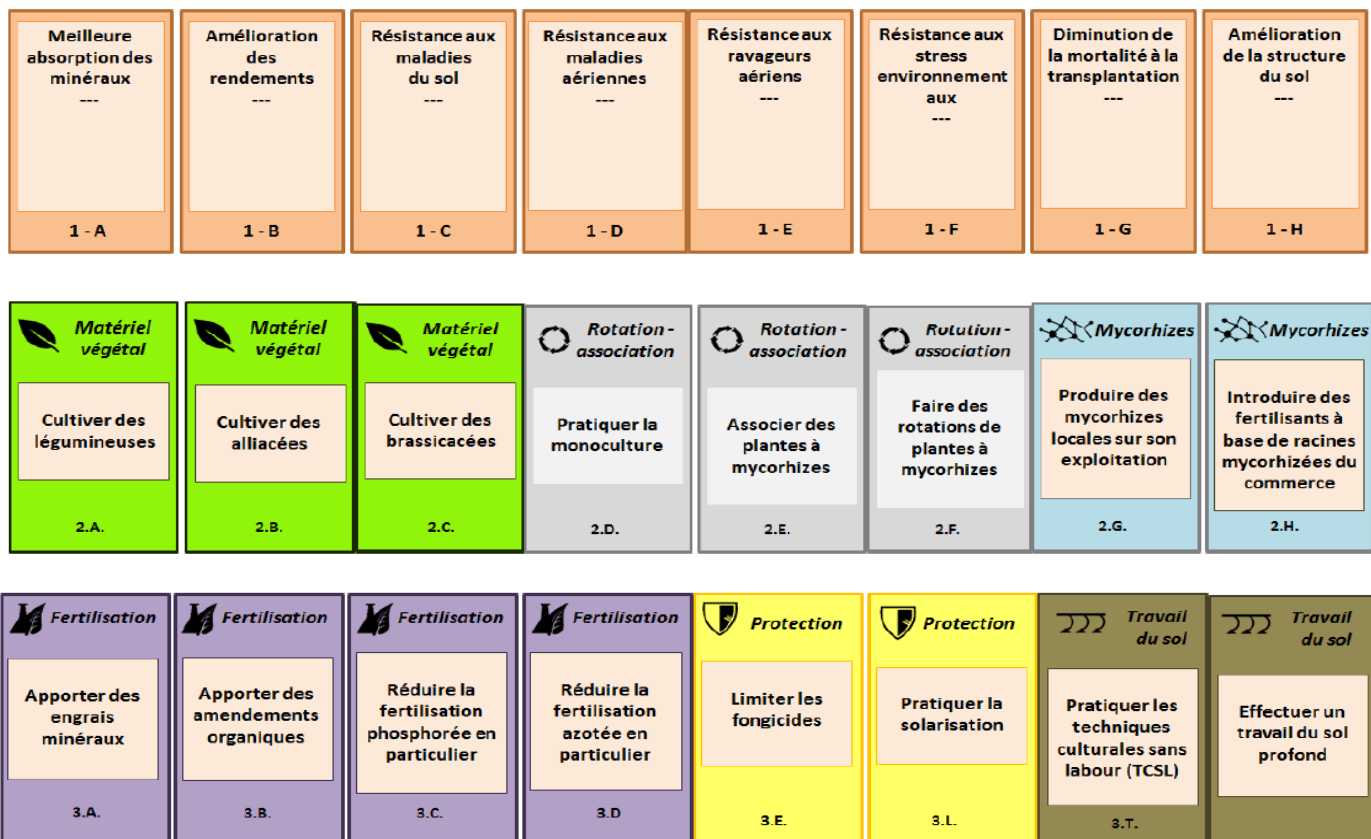


Figure 1 : Cartes de pratiques  
Source : Chave et Angeon 2017

#### Séquences 4 : Le Myc-Mapping freins et leviers

Cette séquence a pour objectif de repérer et identifier les potentiels freins à la mise en œuvre de pratiques permettant de favoriser les mycorhizes dans le sol et les leviers qu'il serait possible de mobiliser pour dépasser ces freins. Il s'agit d'une réelle contextualisation des pratiques.

Chacune des cartes précédemment choisies est disposée sur la table. Ensuite, chacun des élèves devra s'exprimer à tour de rôle en répondant à la question centrale : « *Quelles pratiques suis-je prêt ou non à mettre en place ?* ». L'enseignant pourra s'il le souhaite modifier la question afin de la rendre plus accessible pour les élèves et leur permettre de mieux se projeter, par exemple : « *Quelles pratiques pourrais-je conseiller si j'étais conseiller agricole ?* ».

Chaque élève s'exprime librement en plaçant la carte choisie selon un gradient des pratiques qu'ils ne sont pas du tout prêts à mettre en place (à gauche) et celles qu'ils sont tout à fait prêts à mettre en place (à droite). (Figure 2)



Figure 2 : Réflexion et expression collective<sup>4</sup>  
Source : Chave et Angeon 2017

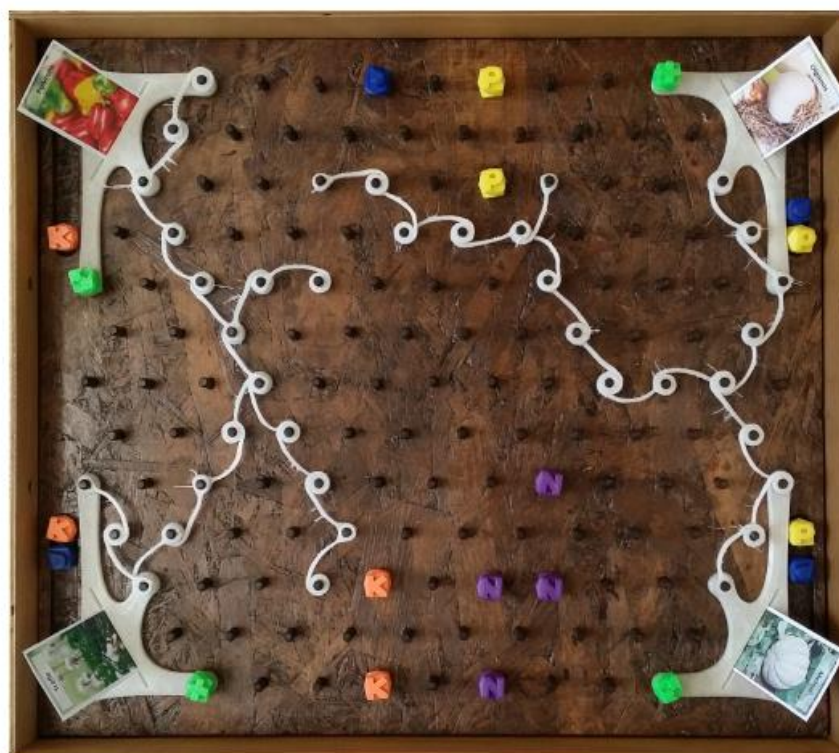
#### Séquence 5 : Animation du jeu de plateau

Avant de commencer le « jeu », les élèves devront élaborer une stratégie afin de concevoir un système de culture (Figure 4) dans le but d'accéder aux ressources du sol (représenter par des pions de couleurs) en développant un réseau mycorhizien. Ces choix seront pris sur base des cartes pratiques précédemment choisies en équipes et son représentée par des cartes de cultures. Afin que la stratégie soit validée par l'enseignant il est nécessaire de remplir trois conditions :

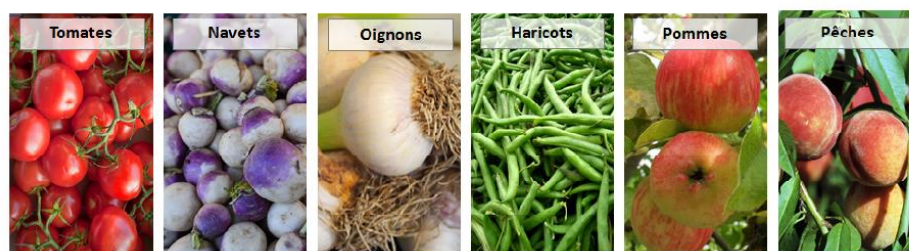
- Que les plantes choisies lors de la stratégie culturelle soient des plantes mycorhizotrophes,
- Que la stratégie soit plausible
- Que les pratiques culturelles impliquent intégralement les six familles de pratiques : Travail du sol, Fertilisation, Rotations-associations, Protection des cultures, Matériel végétal et mycorhizes



Une fois la stratégie validée par les deux équipes, le jeu peut alors commencer à l'aide du plateau. A chaque tour l'équipe choisi d'utiliser une carte, celle-ci rapporte plus ou moins de points (0,1 ou 2) selon si la pratique s'avère être pertinente d'un point de vue scientifique. Les points sont représentés par des filaments blancs qui permettent au fur et à mesure de développer le réseau mycorhizien du sol.



*Figure 3 : Jeu de plateau pendant un jeu*  
*Source : Chave et Angeon 2017*



*Figure 4 : Quelques exemples de cartes de culture*  
*Source : Chave et Angeon 2017*

Une racine de plante est dite mycorhizée si un filament mycorhizien est relié à la racine. Une fois qu'une racine est mycorhizée l'équipe gagne automatiquement un point. Cette règle a pour objectif de faire comprendre la vitesse à laquelle se développe le réseau à partir du moment où des liens se créent : plus il y a de liens créés plus le réseau grandira rapidement.

Pendant la partie, les plantes sont aussi soumises à des attaques de bio agresseurs, la seule façon de les protéger est de mycorhizer les racines.

Sur ce plateau de jeu une plante est représentée schématiquement par trois racines. A partir du moment où deux de ses racines sont mycorhizés on considère que la plante est intégralement protégée.

L'équipe gagnante est celle ayant réussi à remporter le plus d'éléments nutritifs présent dans le sol

## Le manuel MYMYX

*Proposition de ré-écriture du manuel MYMYX. A faire valider auprès de la DGER et de INRAE*

# MANUEL D'UTILISATION DE MYMYX

# Précautions et vigilance

Estimation de la durée : Compter environ 3h30 pour faire les séances dans leur ensemble de façon continue. Il est possible de section.

A l'origine MYMYX a été créée par deux chercheuses d'INRAE dans le but de favoriser l'acquisition et le partage de connaissances d'agriculteurs autour de la valorisation de la biodiversité du sol pour la conception de systèmes de culture agroécologiques. Après réajustement, cet outil est maintenant mis à la disposition des équipes pédagogiques. Cet outil peut être utilisé de différentes façons selon les contraintes et objectifs pédagogiques.

Ainsi il est conseillé d'organiser des séances préparatoires et d'organisation entre les membres de l'équipe pédagogique afin de : découvrir l'outil, choisir les étapes les plus pertinentes, coordonner l'équipe qui se chargera de l'animation (professeur et/ou élève), intégrer l'outil au sein d'un itinéraire pédagogique cohérent. Une vidéo de présentation est disponible à l'adresse suivante :

**Ce que MYMYX n'est pas** : Un outil clé en main à utiliser de manière isolée. Utilisé ainsi, il perdrait de sa pertinence.

## *Remarque :*

- *Il n'y a pas de modèle d'évaluation proposé. Celle-ci est laissée à la charge de l'enseignant selon les capacités qu'il/elle souhaite voire développer chez l'apprenant.*
- *L'animateur peut être un enseignant ou un élève pourvu qu'il ait été formé à l'utilisation de MYMYX*
- *Pour la construction du plateau de bois, il est techniquement possible de faire appel à des lycées spécialisés, pour sa conception*

# Présentation de MYMYX

Le dispositif MYMYX articule un temps de découverte des mycorhizes et du potentiel des réseaux mycorhiziens pour développer des systèmes de culture agroécologiques avec un temps de jeu de plateau pour mettre à l'épreuve les différentes pratiques agricoles possibles dans la gestion du réseau mycorhizien.

## PHASE 1

L'objectif de cette première phase est de permettre aux élèves de :

- Se familiariser avec la notion des mycorhizes : le principe de cette symbiose et les services écosystémiques rendus
- Être sensibilisé sur les pratiques agricoles qui favorisent le réseau mycorhizien dans le sol
- Avoir une connaissance des familles de plantes qui permettent ou non la mycorhization

Voici des exemples pour atteindre ces objectifs, qui peuvent tout à fait se compléter, être remplacé par d'autres ressources.

## Quiz



---

Objectif visé : Introduction aux processus et pratiques agricoles  
*Apprentissage individuel*

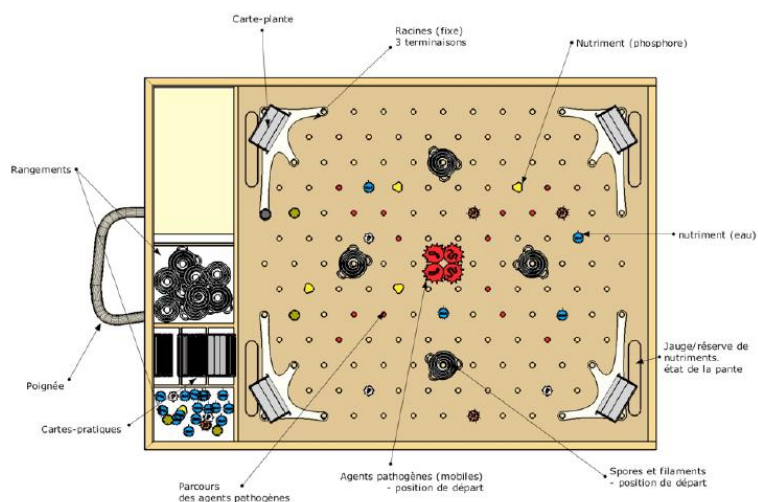
---

Ce quiz permet d'évaluer le niveau de connaissances initiales des élèves sur les mycorhizes. Elle comprend des questions relatives aux services rendus par ces microorganismes mais porte aussi sur les pratiques agricoles les favorisant.

Les réponses sont inscrites par les participants sur les post-it prévus à cet effet. Ces réponses sont collectées par un animateur et traitées. A chaque question posée correspondent une ou plusieurs réponses correctes présentée(s) et expliquée(s) par l'animateur de séance après récupération des post-it renseignés par les élèves. La réponse est comptée fausse s'il y a au moins une mauvaise réponse. Ainsi, pour chacune des réponses fournies, l'élève peut, sans en faire part aux autres, évaluer et rectifier son propre niveau de connaissance.

Cette étape de l'animation est anonyme pour le collectif de joueurs. A aucun moment, le niveau de connaissances individuelles n'est révélé publiquement.

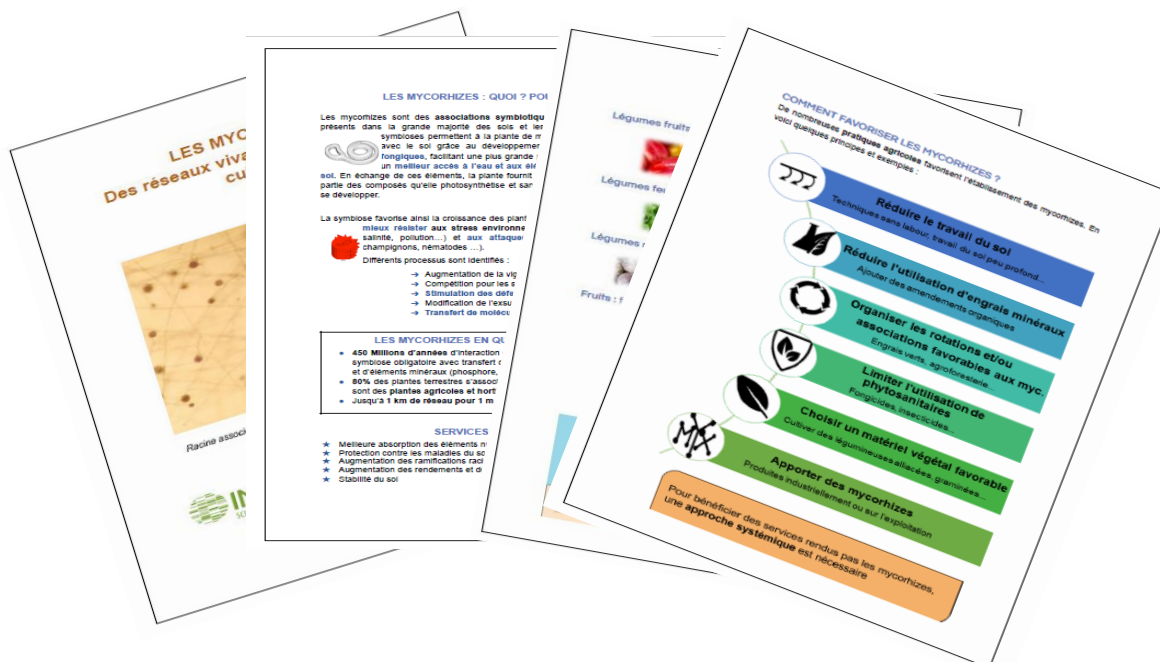
## Maquette démonstrative



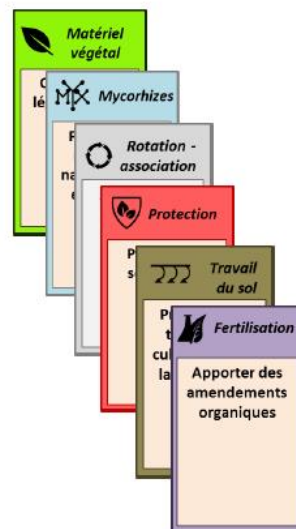
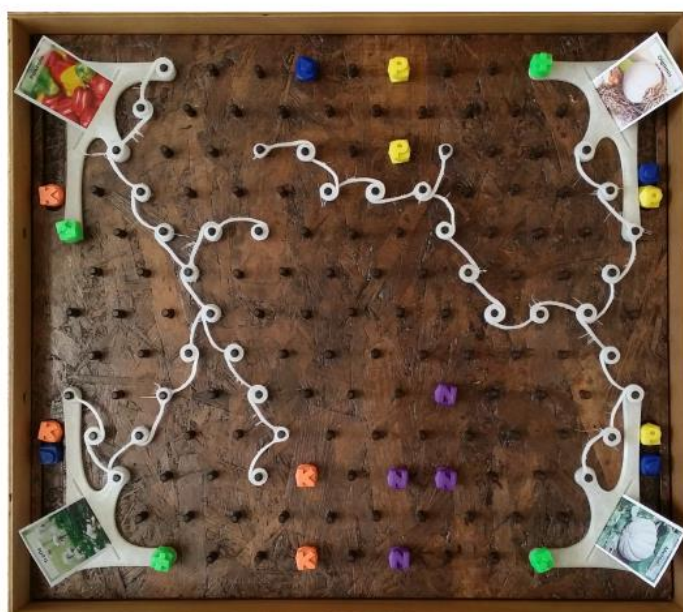
**Objectif visé :** Comprendre le fonctionnement des réseaux mycorhiziens et les facteurs influençant leur développement

*Transfert de connaissances*

L'animateur présente le fonctionnement des mycorhizes en s'appuyant sur une maquette démonstrative (plateau en bois) et une fiche de synthèse qui visent à répondre au « *quoi ? Et pour quoi ?* » des mycorhizes. Il présente un diaporama qui montre la constitution progressive de réseaux mycorhiziens, qui permettent le transfert de ressources à la plante, la bio-protection vis-à-vis des bio-agresseurs du sol et les communications entre plantes.







## PHASE 2

Cette deuxième phase est jouée simultanément par plusieurs groupes avec un animateur pour chaque groupe. Le jeu s'appuie sur plusieurs supports : des cartes de jeu qui représentent les pratiques agricoles, des supports pour positionner ces cartes, un plateau de jeu... Afin de constituer un support de médiation pour le groupe mais aussi pour en faciliter l'animation. Avant de débiter cette phase il faudra constituer des équipes de 2 à 4 élèves et les rassembler autour d'un jeu de plateau. Ainsi plusieurs groupes se forment, chaque groupe a un animateur qui suivra l'équipe durant toute la phase.

## Questions/réponses




---

**Objectif visé :** Choisir les pratiques agricoles qui permettent de faciliter le réseau mycorhizien  
*Apprentissage collectif*

---

Cette séquence consiste en différentes questions-réponses pour échanger autour des connaissances et des pratiques qui permettent la constitution et le maintien des réseaux mycorhiziens dans le but d'élargir les propositions

Pour ce faire, les joueurs doivent répondre aux 3 questions suivantes à partir de leur compréhension des processus :

- A quoi servent les mycorhizes ?

Meilleure absorption des minéraux ---	Amélioration des rendements ---	Résistance aux maladies du sol ---	Résistance aux maladies aériennes ---	Résistance aux ravageurs aériens ---	Résistance aux stress environnementaux ---	Diminution de la mortalité à la transplantation ---	Amélioration de la structure du sol ---
1 - A	1 - B	1 - C	1 - D	1 - E	1 - F	1 - G	1 - H

- Comment constituer un réseau mycorhizien ? Grâce au choix du matériel végétal, des rotations et associations ou par l'apport de mycorhizes

<b>Matériel végétal</b> Cultiver des légumineuses 2.A.	<b>Matériel végétal</b> Cultiver des alliées 2.B.	<b>Matériel végétal</b> Cultiver des brassicacées 2.C.	<b>Rotation - association</b> Pratiquer la monoculture 2.D.	<b>Rotation - association</b> Associer des plantes à mycorhizes 2.E.	<b>Rotation - association</b> Faire des rotations de plantes à mycorhizes 2.F.	<b>Mycorhizes</b> Produire des mycorhizes locales sur son exploitation 2.G.	<b>Mycorhizes</b> Introduire des fertilisants à base de racines mycorhizées du commerce 2.H.
--	---	--	---	--	--	---	--

- Comment maintenir un réseau mycorhizien ? - Grâce à des choix de fertilisation, de protection des cultures et de travail du sol.

<b>Fertilisation</b> Apporter des engrais minéraux 3.A.	<b>Fertilisation</b> Apporter des amendements organiques 3.B.	<b>Fertilisation</b> Réduire la fertilisation phosphorée en particulier 3.C.	<b>Fertilisation</b> Réduire la fertilisation azotée en particulier 3.D.	<b>Protection</b> Limiter les fongicides 3.E.	<b>Protection</b> Pratiquer la solarisation 3.I.	<b>Travail du sol</b> Pratiquer les techniques culturales sans labour (TCSL) 3.T.	<b>Travail du sol</b> Effectuer un travail du sol profond
---	---	--	--	---	--	---	--

Chaque type de carte correspond donc à une question.

Pour répondre, chaque équipe dispose d'un jeu de cartes. Sur ces cartes sont indiquées des réponses possibles aux questions (bonnes ou erronées). Chaque équipe a également la possibilité de faire de nouvelles propositions sur des cartes vierges en faisant part de pratiques effectives observées ou envisagées.

Pendant 5 minutes (temps variable) chaque élève doit sélectionner 4 cartes. A l'issue de ces 5 minutes, chaque élève présentera les 4 cartes retenus. Il aura ensuite 2 minutes pour argumenter précisément le choix d'une carte parmi les 4 préalablement choisies. Il devra alors de manière explicite expliquer aux autres membres de son équipe les raisons pour lesquelles il a retenu cette carte en 2 minutes maximum. Il est possible d'utiliser des cartes vierges et d'y rajouter des informations qui semblent importantes et qui ne sont pas mentionnées sur les autres cartes. Le joueur suivant devra lui aussi énoncer les 4 cartes choisies et présenter la



carte qu'il aura retenue en prenant soin qu'elle soit différente de celle du joueur précédent. Il argumente son choix et ainsi de suite pour que l'ensemble des joueurs puissent argumenter au moins une fois.

L'ensemble des cartes choisies (entre 2 et 4 selon le nombre de joueur dans l'équipe) peuvent ainsi être apposées sur la fiche support.

Pour finaliser le choix des cartes et remplir toutes les cases de la fiche support, l'équipe dispose de 5 minutes de débat pour se mettre d'accord sur les cartes qui leur semblent le mieux correspondre aux questions posées tout en gardant en tête que ces cartes seront une base pour l'élaboration de la stratégie développée dans la prochaine phase.

La présentation d'une carte à tour de rôle a pour objectif de favoriser les échanges, l'appropriation collective de connaissances et le partage des expériences de pratiques agricoles des élèves.

L'animateur devra prendre soin de mémoriser et/ou photographier l'ensemble des cartes choisies dans chacune des équipes.

## Identification des freins et des leviers

Etape 4 : Quelles pratiques suis-je prêt ou non à mettre en place ?	
Je ne suis pas prêt	Je suis prêt
Je ne suis pas prêt	Je suis prêt

**Objectifs visés :** Identifier les freins agronomiques, sociaux, économiques, ... Explorer des propositions pour lever ces freins

Choisir les pratiques agricoles qui permettent de faciliter le réseau mycorhizien

*Partage de connaissance et contextualisation des pratiques*

Cette séquence est un moment dédié à l'identification des freins et des leviers à la mise en œuvre de pratiques agricoles pour le développement des réseaux mycorhiziens. Les étudiants peuvent jouer le rôle d'un agriculteur ou d'un conseiller. Les équipes recontextualisent ainsi leurs pratiques et discutent de leur compatibilité avec l'émergence et l'entretien de réseaux mycorhiziens. L'objectif de cette séquence est de hiérarchiser les pratiques en fonction de leur faisabilité et de leur intérêt.

A partir des cartes possédant des pictogrammes et des cartes "vos idées" les élèves pourront définir les pratiques agricoles qu'ils sont prêts à mettre en œuvre ou non. Si la projection dans le choix d'une pratique est difficile l'animateur pourra alors poser d'autres questions pour aider l'élève : « *Quels pratique serais-tu prêts à conseiller ?* » ; « *Qu'est-ce que tu te verrais faire en tant qu'agriculteur ?* » ; « *Quel regard, intérêt porte tu à cette pratique ?* » ect.

Cette phase peut se jouer avec l'ensemble des cartes du jeu ou bien uniquement avec les cartes choisies au tour précédent. Les élèves choisissent à tour de rôle une carte et la

positionne sur le gradient du rouge (je ne suis pas du tout prêt) au vert (je suis tout à fait prêt) en expliquant leur raison. Les autres élèves peuvent réagir et contre argumenter. L'animateur veillera alors à ce que les propos soient argumenté et les comportements bienveillants et respectueux.



## Jeu collaboratif

---

**Objectifs visés** : Préparer une stratégie à mettre en œuvre, concevoir un système de culture  
*Partage de connaissance et contextualisation des pratiques*

---

### Définition et préparation d'une stratégie de jeu

- ➔ L'objectif du jeu est de concevoir un système de culture (pratiques culturales : choix des cultures, rotation/association, travail du sol, fertilisation, phyto-protection, introduction de mycorhizes commerciales ou non) qui permette d'accéder le plus rapidement aux ressources (N, P, K et eau) via la création et le maintien d'un réseau construit par des filaments mycorhiziens. Les plantes sont soumises à des aléas (attaques de bio agresseurs après les tours 4 et 6), elles en sont protégées par la mycorhization de leurs racines.
- ➔ Le jeu collaboratif comporte différentes composantes (voir rubrique « matériel à disposition »)

C'est sur base des cartes préalablement choisies par l'équipe que devra s'établir la stratégie. La construction de stratégies à partir de la maquette et des cartes "pratiques agricoles" utilisées dans les séquences précédentes, permet de développer une approche systémique et de contextualiser les leviers par une remobilisation des connaissances.

Cette phase est réalisée par l'ensemble de l'équipe qui devra alors jouer avec la stratégie établie collectivement. Elle vise à définir le système de culture : matériel végétal (entre 1 et 2 espèces) et l'ensemble des pratiques culturales (1 carte obligatoirement dans chacune des 6 familles de pratiques) qui vont être déclinées et argumentées par la suite. Ces cartes sont choisies parmi les Leviers ("je pourrais mettre en œuvre ces pratiques") identifiés par les uns et les autres. La détermination du système de culture permet d'obtenir des points (sous forme de filaments mycorhiziens). Pour que la stratégie soit validée par l'animateur, il faut :

obligatoirement que les espèces choisies soient mycorhizotrophes, que les successions de pratiques culturales impliquent chacune des 6 familles et qu'elle soit plausible. Les propositions effectuées lors de l'étape précédente (cartes idée supplémentaires) peuvent être mobilisées.

L'équipe sélectionne 8 cartes : 2 espèces végétales et 1 carte de chacune des 6 familles de pratique. Une fois la stratégie validée, chaque équipe rassemble les cartes qui la composent

- ➔ Pour gagner, il faut accéder aux ressources afin de les récupérer et maintenir les plantes en vie en protégeant leurs racines des aléas
- ➔ Il est nécessaire d'obtenir une ressource de chaque élément pour chaque plante si l'on souhaite remporter la partie. Les joueurs gagnants sont ceux qui ont su accéder au plus grand nombre de ressources.

Après avoir choisi les cultures et les pratiques au cours de la séquence précédente, les joueurs mettent en œuvre leur stratégie via une succession de cartes de pratiques agricoles qui leur permettent d'acquérir des filaments et de développer un réseau mycorhizien. Ces derniers permettent aux joueurs d'étendre leur réseau.

## Matériel à disposition

### Les filaments



**Potentiel élevé**  
+2 filaments



**Potentiel moyen**  
+1 filament



**Potentiel nul**  
0 filament

Grâce à ces cartes les joueurs peuvent gagner de 0 à 2 filaments mycorhiziens, en fonction du potentiel de mycorhization de la pratique sélectionnée (cf. Mind-map associé).

### Les éléments nutritifs



Les éléments nutritifs (N, P, K, H<sub>2</sub>O), nécessaires à la croissance de la plante, sont placés sur le plateau de jeu. Ils ne sont pas accessibles par les racines des plantes. Seule la création de symbioses mycorhiziennes permet d'accéder aux nutriments

## Les bio-agresseurs



Les bio-agresseurs (bactéries, champignons, nématodes...) attaquent les sites d'accroche racinaires. Cet aléa est symbolisé sous la forme d'un tirage de dé à l'issue du 4ème tour et du 6ème tour de jeu. Chaque face du dé représente un des 6 sites d'accroche racinaire. Si le site d'accroche est occupé par un filament mycorhizien alors la plante est protégée contre le pathogène. En revanche, si le site d'accroche est libre la plante devient sensible en cas d'attaque par un autre pathogène (cf. règles "si...alors...").

## Les molécules signal



Les molécules signal représentent les transferts potentiels de composés impliqués dans la protection des plantes contre les bio-agresseurs (composés allélopathiques ou stimulateurs des défenses des plantes).

## Cartes de culture

- Soit on explique dans le mode d'emploi qu'il n'y a pas de pondération mais qu'il faudrait en prendre compte. Cela n'apparaît pas sur les cartes, l'enseignant l'indique en rappelant que cela se pondère en donnant des exemples.

## Carte « profil »

L'élève pioche cette carte au hasard, elle ne peut en aucun cas être choisie par l'élève. Cette carte décrit une situation d'un personnage fictif. L'élève devra jouer ce rôle en fonction des précisions apportées dans chacune des sections.

- La section « héritage » : précise le nom, prénom, âge, SAU et la région dans laquelle l'agriculteur se trouve.
- Les deux cultures mentionnées sont les cultures avec lesquelles l'élève devra jouer obligatoirement.
- La section « Contrat » mentionne la manière dont l'agriculteur vend ses produits : coopérative agricole, en vente directe, contrat d'exclusivité avec un industriel, ...
- La section « Situation financière » précise si l'agriculture a des dettes et quel est son revenu moyen mensuel.

Comme les cartes cultures, certaines cartes sont laissées vierges que l'animateur puisse créer des personnages sur mesure et adapter au contexte agricole de la région.

**Nom et prénom**

Héritage

Culture 1

Culture 2

Contrat

Situation financière

*Remarque : il est tout à fait possible de créer des fiches profil plus complète (voir exemple de fiche de profil) afin que l'élève incarne réellement son rôle. Il sera alors possible d'introduire des cas concrets issus de rencontre et de les adapter au contexte agricole de la région.*

## Conseiller

*Etiquette du conseiller*

**Conseiller**

Prénom, nom

*Nom de l'organisme*

## Règles du jeu

### Gain de filament

Le choix du matériel végétal et les pratiques agricoles, permettent le gain ou non de filament. Le nombre de filament récolté dépend de l'adéquation de la pratique avec le développement mycorhizien. Ainsi, **plus une pratique favorise le développement mycorhizien, plus elle permettra de gagner des filaments**. Le nombre de point va de 0 à 2.

Le nombre de filaments gagnés est supérieur au fur et à mesure de la mycorhization des racines -> après la mycorhization de chaque nouvelle racine, l'équipe gagne un filament supplémentaire à chaque tour.

Le nombre total de filaments par tour est calculé de la manière suivante :

Nombre de filaments =

Gain obtenu par la carte (0,1 ou 2) + nombre de sites racinaires mycorhizés (0,1,2,3,4,5 ou 6)

Si un filament se développe à partir d'une spore (ou d'un filament relié à une racine) et atteint une racine alors cette racine est mycorhizée.

- Si une racine est mycorhizée alors le filament peut en repartir pour atteindre d'autres racines d'une même plante, d'une autre plante ou des ressources
- Si plusieurs racines sont mycorhizées alors elles accèdent plus rapidement aux ressources parce qu'elles développent chacune leur champignon.

### Carte mycorhizes indigènes/exogènes

L'introduction de mycorhizes exogènes présente un fort degré d'incertitude et ne garantit pas toujours une bonne adaptation de celles-ci au contexte pédoclimatique. Cette incertitude est symbolisée par un **lancer de dés**. Si le chiffre est pair l'équipe remporte 2 filaments bleus, si le chiffre est impair l'équipe ne remporte pas de filament.

En revanche les mycorhizes introduites ne peuvent se connecter que sur des racines non mycorhizées. En effet, **la mixité des filaments sur une même racine n'est pas possible**. Elle est néanmoins possible sur différentes racines d'un même système racinaire.

Gain : D'autres filaments bleus peuvent ensuite être gagnés avec les cartes "pratiques agricoles" et positionnées dans la continuité.

### Attaque de bio agresseurs

Quand un aléa survient, (attaques de bio-agresseurs), les plantes peuvent être protégées grâce aux services écosystémiques rendus par les mycorhizes comme la bio-protection et la bio-fertilisation.

Au cours du jeu , il est **possible d'utiliser le réseau de l'équipe adverse** pour acquérir des ressources.

## Règles du jeu

### Bio-protection

Si une racine est mycorhizée alors un bio-agresseur ne peut y pénétrer / être positionné sur le site d'accroche

Si un système racinaire a 2 racines mycorhizées alors la 3ème racine est protégée (positionnement d'une molécule signal) donc la plante est protégée d'une attaque.

Si une plante possède 2 racines non mycorhizées et qu'elle est attaquée une première fois (à l'issue du tour 4) alors la plante devient sensible.

- Si une plante sensible (déjà attaquée) est attaquée (à l'issue du tour 6) sur une de ses racines non mycorhizées alors la plante meurt à la 2ème attaque.
- Si 2/3 des racines sont mycorhizées la plante ne meurt pas à la 2ème attaque

### Bio-fertilisation

Lorsque le filament atteint une ressource, alors celle-ci est transférée à toute plante avec lequel il est connecté.

Si 2 racines de plantes différentes sont connectées alors l'une peut transférer les ressources captées à l'autre via le réseau constitué.

- ➔ Collecte de ressources de chaque élément pour chaque plante. (2 éléments de chaque / équipe au maximum)

## Déroulement

Les deux équipes se positionnent de part et d'autre du plateau de jeu. L'animateur place les ressources (N, P, K, H<sub>2</sub>O) sur le plateau de jeu à l'endroit indiqué et une spore située au centre de l'espace dédié à chaque équipe.

Chaque équipe dispose de 2 systèmes racinaires (dont les racines sont numérotées de 1 à 6) et d'une spore déjà placée sur le plateau.

Les ressources sont pré-positionnées également (cf. photo). Après avoir choisi les cultures et les pratiques, les binômes mettent en œuvre leur stratégie en jouant tour à tour : dans un premier temps les cartes « matériel végétal » (2) et ensuite les cartes pratiques agricoles (6).

### L'animateur rappelle les règles de base :

- Les cartes jouées (8 au maximum) permettent de gagner 0, 1 ou 2 filaments et de constituer petit à petit le réseau à partir de la spore initiale. Les équipes positionnent les filaments individuellement les uns après les autres (filament par filament) à l'endroit de leur choix sous réserve d'une continuité avec un filament déjà positionné sur le plateau.
- Une fois qu'un filament a atteint une racine, au nombre de filaments gagnés par la suite s'ajoute le nombre de filaments égal au nombre de racines mycorhizées.
- Les filaments permettent à la plante d'accéder à des ressources nutritives et de les prélever.

Chaque plante doit acquérir une ressource de chaque type.

Des aléas (agents pathogènes) surviennent après les tours 4 et 6. Le tirage du dé détermine le site d'accroche racinaire attaqué. Les sites sont numérotés de 1 à 6 de haut en bas. Si le site d'accroche est occupé par un filament mycorhizien alors la plante est protégée contre le pathogène. En revanche, si le site d'accroche est libre la plante devient sensible. L'animateur peut choisir d'annoncer ou non cette attaque de bio-agresseurs afin de laisser un effet de surprise.

Pour commencer, les deux équipes jettent le dé, l'équipe affichant le plus grand score commence le jeu.

## Déroulement classique

### **Tour 1 : Choix de l'assolement / matériel végétal**

Ce choix est obligatoirement joué en premier. Chaque équipe doit planter 2 cultures identiques ou non sur le plateau.

Positionnement des photos des cultures sur les 2 systèmes racinaires.

### **Tour 2 à 8**

Au cours des tours suivants, les joueurs déclinent leur stratégie en proposant tour à tour une carte pratique dans l'ordre de leur choix. Ils gagnent ainsi des filaments et les positionnent de manière libre sur le plateau. Les joueurs posent les filaments chacun son tour.



## Particularités des tours 4 et 6 : Aléa bio-agresseur

A l'issue des 4<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> tours, l'aléa "bio-agresseur" est tiré sous la forme d'un dé à 6 faces. Chaque face du dé représente un site d'accroche racinaire (numérotés de 1 à 6 en partant du haut).

## Fin du jeu

Le jeu se termine lorsqu'une équipe a prélevé une ressource de chaque type pour chacune de ses plantes. Si aucune des 2 équipes n'a acquis un élément de chaque type pour chacune de ces plantes avant 8<sup>ème</sup> tour, alors, si les 2 équipes sont à égalité, alors elles seront départagées en fonction du nombre de nutriments récoltés (N, P, K, H<sub>2</sub>O).

Lors des tours il est possible d'introduire plusieurs variantes de jeu. En voici quelques propositions.

### Variante 1 : Agriculteur

Avant de débiter la partie il est possible de L'objectif est d'amener l'élève à entrer dans la peau d'un agriculteur et qu'il garde se rôle pendant toute la partie. Il est ainsi amené à devoir composer un itinéraire cultural selon certaines contraintes.

Introduire l'argument financier et mettre en lumière le chemin de dépendance dans lequel peuvent se retrouver certains agriculteurs. L'objectif est d'amener les élèves à se questionner sur le choix de pratiques en fonction de leurs propres contraintes et constater que l'on prend des décisions en fonction de ses propres contraintes : on choisit de changer certaines choses ou pas.

Les situations décrites sur les cartes peuvent être plus ou moins fictives. Des cartes sont laissées vierges permettent que l'animateur ou l'élève puisse inscrire des éléments qu'ils connaissent de par leur propre expérience. Si c'est le cas, la création de ses cartes devra être faite avant le tirage au sort.

*Remarque : Pour plus de concret il est important que l'animateur appelle les élèves par le nom qui leur a été donné sur la carte et que les élèves fassent de même entre eux.*

### Variante 2 : Conseiller et agriculteur

Dans cette variante on fait émerger le binôme conseiller + agriculteur.

On introduit un rôle supplémentaire celui du conseiller agricole.

Le conseiller sera le seul à avoir accès aux fiches informatives, ce sera dans le but de le conseiller au mieux par rapport à la situation de la personne qu'il conseil. On verra également ressortir la personnalité du conseiller, ses sensibilités (vers la TAE ou pas).

L'élève conseiller aura un badge ? ou une pastille « conseiller ».

Tous les conseillers sont regroupés dans leur cabinet de conseil ou chambre d'agriculture dans lequel les fiches d'information sont données (*voir « fiches d'information »*). Ils n'ont le droit d'intervenir que 2 fois maximum par tour et uniquement à la demande de l'agriculteur. Ils auront alors 5 minutes maximum pour intervenir et aider l'agriculteur en fonction des informations qu'ils auront reçu et de leur propre connaissance. Lors de leur déplacement ils ne pourront pas se munir des fiches informations.

Tout l'intérêt est que chacun joue son rôle pour amener un débat et co-construire des solutions. Là ça permet de travailler les questions de projection : comment on se projette pour être conseiller/agriculteur et notamment sur des questions de pratiques agricoles. Comment on argumente soi-même.

Là aussi pour une animation réussie il est important que les élèves s'appellent par leur nom fictif. Un vouvoiement pour être instaurer également.

L'animateur veillera à ce que le temps d'intervention soit respecté pour chaque équipe.

### Exemple d'enchaînement possible

La phase 2 peut prendre diverses formes en fonction du temps dont vous disposez. Voici quelques exemples d'enchaînement.

#### Exemple 1

1. Questions/réponses
2. Identification des freins et leviers
3. Jeu classique
4. Tirage au sort carte « profil »
5. Jeu variante 1
6. Identification des freins et leviers
7. Bilan

*Remarque : Etant donné que de nouvelles contraintes apparaissent en cours de jeu, il peut être intéressant de regarder si les arguments émis par les élèves à l'étape 2 et 6 restent les mêmes ou non.*

### Exemple 2

1. Questions/réponses
2. Identification des freins et leviers
3. Jeu classique
4. Tirage au sort carte « profil » et « conseiller »
5. Jeu variante 1 et 2
6. Identification des freins et leviers
7. Bilan

*Remarques : Regarder si des stratégies différentes s'établissent au sein des binômes. Gagner peut prendre ici un tout autre sens en fonction de son rôle : pour certains cela va être de récupérer les nutriments, d'autres donner un bon conseil, faire en sorte que l'agriculteur vende sa production, ...*

### Exemple 3

1. Questions/réponses
2. Identification des freins et leviers
3. Jeu classique
4. Tirage au sort carte « profil »
5. Jeu variante 1
6. Tirage au sort carte « conseiller »
7. Jeu variantes 1 et 2
8. Identification des freins et leviers
9. Bilan

*Remarques : La difficultés augmente au fur et à mesure. Prévoir une matinée complète*

Les temps de bilan sont importants car ils permettent de revenir sur certains aspects et voir ce que le jeu a pu susciter ou non chez les élèves. Ce temps peut également servir de temps de critiques pour améliorer certaines règles du jeu, en complexifier/simplifier certaines ou en proposer de nouvelles. Il s'agit aussi d'un temps qui permet à l'animateur de voir si les notions clés ont été intégrées et appliquées.