

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

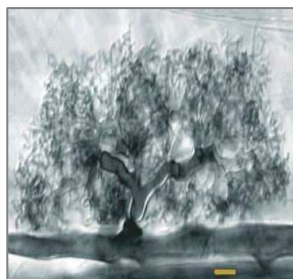
Spécialisation : TeRPPA (Territoires et Ressources, Politiques Publiques et Acteurs)

Evaluation économique des services rendus par les champignons mycorhizogènes à arbuscules

Cas de la culture de l'oignon et de la vigne en Bourgogne

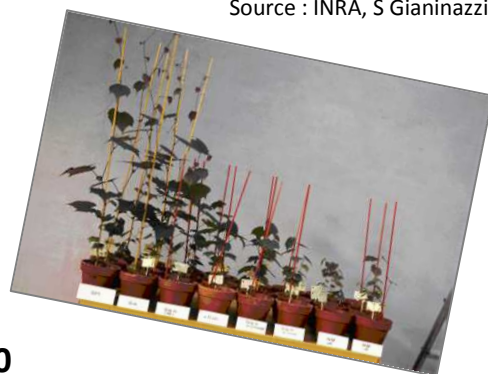
Delphine VERDIER

Source : GNIS



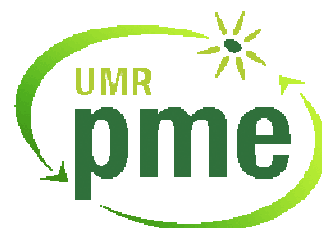
Source : Brundett ©

Source : INRA, S Gianinazzi



Année de soutenance : 2010

Organismes d'accueil : Alterre Bourgogne – UMR PME



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Spécialisation : TeRPPA (Territoires et Ressources, Politiques Publiques et Acteurs)

Evaluation économique des services rendus par les champignons mycorhizogènes à arbuscules Cas de la culture de l'oignon et de la vigne en Bourgogne

Delphine VERDIER

Enseignant tuteur : Gilles GROLLEAU

Maître de Stage : David MICHELIN

Organismes d'accueil : Alterre Bourgogne – UMR PME

**Présenté le : 01/10/2010
devant le Jury :**

- Dominique Barry-Etienne (rapporteur professionnel, ALCINA)**
- Gilles Grolleau (enseignant tuteur, Montpellier Supagro)**
- David Michelin (maître de stage, Alterre Bourgogne)**
- Sophie Thoyer (rapporteur président, Montpellier Supagro)**

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie David Michelin, mon maître de stage, pour ses conseils, ainsi que pour le temps et la confiance qu'il m'a accordé.

Ensuite je tiens à remercier toute l'équipe d'Alterre Bourgogne pour son accueil chaleureux et la bonne ambiance qui y règne au quotidien.

Merci à Daniel Wipf et Silvio Gianinazzi de l'UMR PME pour m'avoir fait partager leurs recherches, pour les informations et les documents qu'ils m'ont fournis.

Je remercie également Gilles Grolleau, l'enseignant tuteur de ce stage, pour ses conseils et remarques tout au long du stage.

J'adresse aussi mes remerciements à Marie-Laure Baudement et Lionel Maillot (mission scientifique de l'Université de Bourgogne) ainsi que Jean-François Desmarchelier (scénographe) pour m'avoir permis de participer à la Nuit des Chercheurs 2010 où j'ai pu parler de mon travail.

Enfin, j'adresse une pensée à ma famille et mes amis (y compris ceux qui étaient à des milliers de km) pour leurs encouragements et leur soutien.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACB : Analyse Coûts-Bénéfices
ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AMM : Autorisation de Mise sur le Marché
CAP : Consentement à Payer
CAS : Centre d'Analyse Stratégique
CDB : Convention sur la Diversité Biologique
CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CMA : Champignons mycorhizogènes à arbuscules
CSPNB : Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité
D4E : Direction des Etudes Economiques et Evaluation Environnementale
DDT : Direction des Territoires (résulte de la fusion des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) et des Directions Départementales de l'Equipement (DDE))
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (depuis 2009)
EEE : Espace Economique Européen
EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale
FEDER : Fond Européen de Développement Rural
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
MAAP : Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche
MAE : Mesure Agro-Environnementale
MEA : Millennium Ecosystem Assessment
MEDAD : Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable (créé en 2007, a été remanié en 2009)
MEEDDM : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (nom actuel, depuis le remaniement de juin 2009)
ONU : Organisation des Nations Unies
OREB : Observatoire Régional pour l'Environnement en Bourgogne
PAC : Politique Agricole Commune
PIB : Produit Intérieur Brut
PNB : Produit National Brut
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PME : Plante-Microbe-Environnement
RARE : Réseau des Agences Régionales de l'Energie et de l'Environnement
SAU : Surface Agricole Utile
TEEB : The Economics of Ecosystems and Biodiversity
UIPP : Union des Industries de la Protection des Plantes
UMR : Unité Mixte de Recherche
UNIFA : Union des Industries de la Fertilisation
VAN : Valeur Actualisée Nette

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma représentant les deux principaux types de mycorhizes : l'ecto- et l'endomycorhize

Figure 2 : Différents types de mycorhizes

Figure 3 : Zone d'échange d'une mycorhize à arbuscules

Figure 4 : Liens entre diversité biologique, fonctionnement des écosystèmes, services écosystémiques et facteurs de changement

Figure 5 : Valeurs des services écosystémiques

Figure 6 : Localisation des 2 zones d'étude

Figure 7 : Lien entre fonctions écologiques, services rendus par les CMA et leurs utilisations par l'Homme

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification des biens économiques

Tableau 2 : Méthodes d'évaluation économique des actifs non marchands

Tableau 3 : Pratiques culturelles conventionnelles moyennes pour la culture de l'oignon en Bourgogne

Tableau 4 : Pratiques culturelles conventionnelles moyennes pour la culture de la vigne en Bourgogne

Tableau 5 : Effet de la mycorhization sur les cultures d'oignon et de vigne

Tableau 6 : Récapitulatif de la valeur économique des services rendus par les CMA, à l'échelle d'une exploitation agricole, pour la culture de l'oignon et de la vigne en Bourgogne

Tableau 7 : Bénéfices des services rendus par les CMA à l'échelle de l'exploitation agricole pour 2010 (en euros)

Tableau 8 : Bilan de l'ACB à l'échelle de l'exploitation agricole

Tableau 9 : Critères d'évaluation en fonction de l'échelle d'étude et de l'approche choisie

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	1
LISTE DES ABREVIATIONS	1
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES TABLEAUX	2
INTRODUCTION.....	5
I- PRESENTATION DE L'ETUDE	7
I.1. CONTEXTE ET CADRE DU STAGE	7
I.1.1. Contexte général.....	7
I.1.2. Un stage co-encadré par deux structures.....	7
I.1.2.1. Alterre Bourgogne, l'agence régionale pour l'environnement et le développement soutenable en Bourgogne	8
I.1.2.2. L'UMR Plante – Microbe – Environnement (PME)	8
I.2. PRESENTATION DES OBJETS DE L'ETUDE	9
I.2.1. Les mycorhizes à arbuscules : une fraction de la biodiversité du sol	9
I.2.1.1. Le sol, un milieu méconnu et menacé	9
I.2.1.2. La biodiversité du sol.....	10
I.2.1.3. La mycorhize : une association bénéfique plante-champignon	10
I.2.2. Les biens et services écologiques.....	12
I.2.2.1. Des actifs environnementaux indissociables de la notion de fonction biologique	12
I.2.2.2. Les services rendus par les champignons mycorrhizogènes à arbuscules.....	14
I.2.3. Utilisation grandissante de l'évaluation économique dans le domaine de la biodiversité.....	15
I.3. OBJECTIFS ET PROBLEMATIQUES DE L'ETUDE	16
I.3.1 Précision de la commande	16
I.3.2 Questions soulevées	17
II- METHODOLOGIE.....	18
II.1. SUPPORTS DE L'ETUDE	18
II. 2. DELIMITATION DU CADRE DE L'ETUDE.....	18
II.2.1. Deux cultures étudiées : l'oignon et la vigne	19
II.2.1.1. Critères de choix et détails sur les sources de données utilisées.....	19
II.2.1.2. La culture d'oignon.....	19
II.2.1.3. La vigne	20
II.2.2. Trois échelles d'étude	20
II.2.2.1 Un niveau élémentaire servant de base à l'extrapolation	20
II.2.2.2 Extrapolation à l'échelle de l'exploitation agricole : une dimension privée.....	21
II.2.2.3 Extrapolation à l'échelle du territoire : une dimension publique	21

II.3. DEMARCHE SUIVIE POUR L'EVALUATION ECONOMIQUE	23
II.3.1 Identification des biens et services et de leurs caractéristiques	23
II.3.2. Evaluation monétaire des services	23
II.3.2.1. Démarche générale	24
II.3.2.2. Détails d'application des méthodes d'évaluation en fonction des services identifiés.....	24
II.3.3. Présentation et agrégation des résultats.....	25
III- PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS	27
III.1. CARACTERISTIQUES DES SERVICES RENDUS PAR LES CMA.....	27
III.2. ECHELLE DE LA PLACETTE	28
III.2.1. Itinéraires techniques moyens pour l'oignon et la vigne.....	28
III.2.2. Résultats expérimentaux de l'effet de la mycorhization des cultures de l'oignon et de la vigne	29
III.3. EVALUATION ECONOMIQUE AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION AGRICOLE	31
III.3.1. Services pris en compte et estimation.....	31
III.3.1.1. Pour la culture d'oignon	31
III.3.1.2. Pour la vigne.....	32
III.3.1.3. Bilan de la monétarisation des services	33
III.3.2. Analyse des résultats à l'aide d'une Analyse Coûts-Bénéfices (ACB)	34
III.3.2.1. Cadre de l'ACB.....	34
III.3.2.2. Listes des coûts et bénéfices à l'échelle de l'exploitation agricole.....	34
III.3.2.3. Bilan de l'ACB à l'échelle de l'exploitation agricole	35
III.4. EVALUATION ECONOMIQUE AU NIVEAU DU TERRITOIRE	36
III.4.1. Services pris en compte et estimation.....	36
III.4.1.1. Dans la zone de production de l'oignon	36
III.4.1.2. Dans la zone de vignoble.....	37
III.4.1.3. Bilan.....	38
III.4.2. Pistes de réflexion pour une ACB à l'échelle des deux zones d'étude retenues	39
III.4.2.1. Cadre possible de l'ACB	39
III.4.2.2. Proposition d'une listes de coûts et bénéfices.....	39
IV – DISCUSSION	40
IV.1 BIAIS ET LIMITES DE L'ETUDE	40
IV.2 PERSPECTIVES	42
IV.3 BILAN SUR LE DEVELOPPEMENT ACTUEL DE LA MYCORHIZATION CONTROLEE	44
CONCLUSION	46
LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
LISTE DES ANNEXES.....	53

INTRODUCTION

En cette année de la biodiversité proclamée par l'ONU, le constat du déclin de la biodiversité est toujours actuel malgré l'engagement des pays lors de divers rendez-vous internationaux sur ce sujet. En effet la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992, a permis de lancer une dynamique internationale sur les réflexions et les actions dans le domaine de la biodiversité. Elle est, à ce jour, ratifiée par 190 pays, mais les chiffres parlent d'eux-mêmes. Avec un taux d'extinction des espèces au moins 100 fois supérieur à celui d'une biodiversité stable¹, nous traverserions actuellement la 6^è grande crise biologique de l'histoire de la planète.

Pour éveiller les consciences, l'accent a été mis sur quelques espèces rares et emblématiques (biodiversité remarquable), cependant la réduction de la diversité biologique concerne aussi des espèces communes (biodiversité ordinaire). Ainsi, elle s'observe en particulier en milieu agricole, où certaines pratiques intensives, trop éloignées des cycles naturels, ont épuisé les sols. Ils sont aujourd'hui à la limite de leur capacité de résilience². En effet, des intrants chimiques de synthèse ont été et sont utilisés à la place des services écosystémiques naturellement permis par les grandes fonctions écologiques du sol. Celles-ci, aujourd'hui menacées par les activités humaines, sont pourtant essentielles au maintien et au fonctionnement des écosystèmes et reposent en grande partie sur la diversité du vivant.

Dans cette étude, nous allons nous intéresser à la biodiversité du sol et plus précisément à certains micro-organismes, les champignons mycorhizogènes à arbuscules (CMA). Ces êtres vivants microscopiques, existant depuis plusieurs centaines de millions d'années, établissent des symbioses appelées mycorhizes (du grec « mukês » : champignon et « rhiza » : racine), avec les racines de 80% des plantes terrestres, dont la majorité des plantes cultivées par l'Homme. De récentes études scientifiques ont montré que ce type de champignon fournit un certain nombre de services écologiques non négligeables pour l'agriculture.

La technique de mycorhization contrôlée consiste à inoculer ces champignons aux plantes cultivées. Associée à des pratiques plus respectueuses de l'environnement, elle permet de restaurer ces services sans entraîner de baisse de rendement. Cela pourrait ainsi constituer une alternative « naturelle » aux intrants de synthèse, dans le cadre des objectifs du plan Ecophyto 2018 qui visent la réduction de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires ou d'autres dispositifs agri-environnementaux.

Cependant comme de nombreux actifs naturels, ces services écosystémiques sont des biens qui échappent aux marchés économiques. Du fait de leur non monétarisation, ils ne sont jusqu'à présent que peu ou pas pris en compte dans les décisions publiques ou privées. On comprend ainsi la nécessité de rechercher et d'appliquer des méthodes d'évaluation économique afin de leur attribuer une valeur monétaire et ainsi fournir aux décideurs des arguments, autres qu'environnementaux.

C'est ainsi qu'Alterre Bourgogne (l'Agence Régionale pour l'environnement et le développement soutenable en Bourgogne), dans sa démarche d'évaluation économique des actifs environnementaux, a souhaité s'associer à l'Unité Mixte de Recherche (UMR) Plante - Microbe - Environnement (PME) du centre de l'INRA de Dijon, reconnue pour ses recherches dans le domaine des mycorhizes, afin de réaliser une étude sur l'évaluation économique des biens et services que fournissent les CMA.

Nous détaillerons tout d'abord le contexte et les différents objets de cette étude (les mycorhizes, les biens et services écosystémiques et l'évaluation économique), les structures qui l'ont encadré, le sujet du stage et sa problématique. Dans une deuxième partie, nous présenterons la démarche suivie au

¹ Source CNRS : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA_p2_f1&zoom_id=zoom_a2_1

² La **résilience écologique** est la capacité d'un écosystème, d'une population ou d'une espèce à se reconstituer après une perturbation (CSPNB, 2007).

cours du stage et la méthodologie élaborée afin de répondre aux questions posées. Puis, nous exposerons dans une troisième partie les résultats relatifs aux deux cultures étudiées, l'oignon et la vigne, à savoir les caractéristiques des services rendus par les CMA, les effets de leur mycorhization ainsi que l'évaluation économique des services identifiés et l'analyse coûts-bénéfices associée. Enfin, dans une dernière partie, nous discuterons les résultats, leurs limites, les biais de la démarche et nous proposerons quelques perspectives par rapport au travail effectué.

I- PRESENTATION DE L'ETUDE

I.1. Contexte et cadre du stage

I.1.1. Contexte général

Depuis la moitié du XX^{ème} siècle, l'agriculture a subi de profondes transformations. L'objectif de sortir de la pénurie et de la dépendance alimentaire de l'après-guerre a fait évoluer l'agriculture traditionnelle vers une agriculture de type industriel. D'importants changements dans les pratiques agricoles ont eu lieu, notamment avec la mise en place de systèmes productifs basés sur des intrants (eau, engrais minéraux, produits phytosanitaires) qui se sont substitués aux services écologiques habituellement fournis par la biodiversité.

Pendant longtemps les agronomes et les agriculteurs ont cru pouvoir contrôler ces systèmes. Cependant ces changements ont entraîné une dégradation de l'état de l'environnement avec l'apparition de phénomènes de pollution des eaux et des sols ou encore la réduction de la biodiversité dans les écosystèmes. La qualité de notre cadre de vie a également été impactée : des paysages se sont uniformisés, les campagnes se sont vidées et nous avons été peu à peu déconnectés de l'origine de notre alimentation.

Depuis plusieurs années, face aux déséquilibres environnementaux, à l'augmentation des coûts de l'énergie fossile et de ses produits dérivés et à la pression grandissante de la société pour la prise en compte des coûts environnementaux par le marché, un nouveau cadre politique et réglementaire se met en place.

Au niveau européen, la Politique Agricole Commune (PAC) est sur le point de subir une mutation majeure après 2013. Son premier pilier, qui a longtemps favorisé une productivité agricole non raisonnée, n'attribue désormais certaines aides que si plusieurs conditions environnementales sont remplies par l'agriculteur, c'est l'éco-conditionnalité. En parallèle, des directives européennes telles que la Directive Nitrates ou encore la future Directive Cadre sur les Sols incitent et vont inciter de plus en plus à une agriculture plus respectueuse de l'environnement.

Au niveau national, le plan Ecophyto2018 vise la réduction de 50% de la quantité de produits phytosanitaires « dans la mesure du possible » d'ici 2018. Le Grenelle de l'Environnement suit également cette démarche. Les mesures de son volet « modes production et de consommation durables » prévoient, en outre d'une agriculture plus durable, la réduction des pollutions diffuses et la restauration de la biodiversité (MEEDDM, 2007). Par ailleurs, la Stratégie Nationale pour la Biodiversité est en train de se décliner au niveau régional. Elle ne s'intéresse pas seulement à la biodiversité ou aux écosystèmes remarquables, souvent mis en avant pour sensibiliser, mais également à la biodiversité et aux écosystèmes ordinaires tels que les terres cultivées.

Le contexte récent nous amène donc à dépasser le concept de systèmes productifs basés sur la sélection variétale et le forçage par une utilisation massive d'engrais, de pesticides et d'eau au profit du concept « d'écosystèmes productifs ».

L'originalité de ce stage est qu'il s'intéresse à de la biodiversité ordinaire et plus particulièrement aux microbes du sol. Même si leur importance fonctionnelle est peu à peu démontrée, leur importance économique a été très peu étudiée jusqu'à présent. De plus, cette étude se fait dans une approche d'économie environnementale, une discipline relativement récente avec l'évaluation de services écosystémiques dont on entend de plus en plus parler.

I.1.2. Un stage co-encadré par deux structures

Le sujet de cette étude a été élaboré par deux organismes bourguignons aux statuts, compétences et domaines d'activité différents mais qui agissent tous les deux au sein de ce contexte. Leur travail vise à

inciter les acteurs bourguignons à mieux prendre en compte l'environnement dans les activités humaines comme en agriculture.

I.1.2.1. Alterre Bourgogne, l'agence régionale pour l'environnement et le développement soutenable en Bourgogne

Alterre Bourgogne, qui est à l'initiative du stage, a été la structure principale dans laquelle il s'est déroulé. Cet organisme, au statut associatif type loi 1901, est financée par l'ADEME, le Conseil Régional de Bourgogne, la DREAL Bourgogne, trois Conseils Généraux de Bourgogne (Côte d'Or, Nièvre et Saône-et-Loire) et bénéficie également de fonds européens de type FEDER. Elle a succédé à l'Observatoire Régional pour l'Environnement en Bourgogne (OREB) en 2006 et fait partie du Réseau des Agences Régionales de l'Energie et de l'Environnement (RARE).

L'agence, qui se compose d'une équipe de quinze personnes (organigramme en [Annexe 1](#)), a pour objectif de favoriser la prise en compte de l'environnement et du développement soutenable dans les politiques et les actions locales.

Pour cela elle mène trois missions transversales : observer l'environnement et évaluer les politiques publiques, accompagner les porteurs de projet afin de faciliter leur démarche et susciter de nouvelles initiatives et former/éduquer en matière d'environnement (par des programmes de formation/éducation, des publications, de la sensibilisation). Ces actions s'effectuent dans des domaines aussi variés que l'énergie, la qualité environnementale des bâtiments, les déchets, l'eau, la biodiversité, le changement climatique ou encore la mobilité.

Ce stage s'inscrit dans le cadre de la mission biodiversité de l'agence et doit contribuer à la mise en place d'un observatoire des bonnes pratiques en faveur de la biodiversité. Un travail d'évaluation économique des bénéfices apportés par la biodiversité et les services écosystémiques a débuté l'année dernière. Il a concerné un cas de biodiversité ordinaire (une forêt) et remarquable (un étang classé en Espace Naturel Sensible) et se poursuit cette année avec le sol.

En outre, ce stage s'inscrit dans le cadre plus large de la participation d'Alterre Bourgogne à la mise en place d'une Stratégie Régionale de la Biodiversité, aux côtés du Conseil Régional et de la DREAL. Après avoir dressé un état des lieux de la biodiversité et des dispositifs mis en place, une coordination des différents acteurs sera menée afin de définir un plan d'action. Les résultats d'études d'évaluation économique des services écosystémiques pourront alors guider le choix des parties prenantes pour des pratiques plus respectueuses de la biodiversité.

I.1.2.2. L'UMR Plante – Microbe – Environnement (PME)

L'UMR Plante - Microbe - Environnement (PME) (INRA 1088 / CNRS 5184 / Université de Bourgogne), également associée à ce stage (organigramme en [Annexe 2](#)), s'intéresse depuis de nombreuses années aux stratégies développées par les plantes afin de mieux utiliser la biodiversité microbienne du sol.

Les recherches fondamentales de cette UMR portent sur les mécanismes qui orientent les interactions entre végétaux et microorganismes soit vers la pathogénie, soit vers la symbiose, et l'élaboration de concepts nécessaires pour comprendre les déséquilibres plantes/microorganismes qui se développent dans les systèmes actuels de production en faveur de ceux qui sont pathogènes. Ces connaissances sont acquises dans le but de mettre en place de nouveaux outils de management en production végétale, basés sur des processus naturels, tels que l'exploitation des interactions plantes/microorganismes bénéfiques du sol et la stimulation des mécanismes de défense des plantes³. Ces travaux ont ainsi contribué à la mise en place de nouveaux procédés d'ingénierie écologique favorables à l'exploitation des symbioses (en particulier les mycorhizes à arbuscules) dans le maintien de la productivité des plantes cultivées nécessitant de faibles quantités d'intrants de synthèse. Ils devraient donc permettre, à terme, de participer au renforcement du rôle des services écologiques fournis par la biodiversité du sol, dans le développement d'une agriculture durable.

³ <http://www2.dijon.inra.fr/pme/presentation.html>

L'UMR PME héberge également la Banque Internationale des Glomérormycètes⁴, créée il y a 15 ans afin de conserver les différentes espèces de champignons mycorhizogènes, de caractériser leur biodiversité et de comprendre comment mieux l'utiliser en agriculture.

Enfin, cette unité de recherche appartient à un réseau d'acteurs beaucoup plus large. Son projet s'inscrit en effet dans celui de la Fédération de Recherche Institut Buffon au sein du Groupement d'Intérêt Scientifique Agriculture-Alimentation-Environnement (le GIS Agrale). Elle a aussi établi plusieurs partenariats avec des industriels afin de développer l'application de ses recherches.

I.2. Présentation des objets de l'étude

I.2.1. Les mycorhizes à arbuscules : une fraction de la biodiversité du sol

Le choix d'étudier les CMA n'est pas anodin. Les symbioses qu'ils développent sont présentes chez de nombreuses plantes cultivées. Cela représente donc un enjeu pour l'agriculture bourguignonne, secteur économique important pour la région, qui contribue à hauteur de 5% à la valeur ajoutée régionale, soit deux fois plus que la moyenne française⁵. De plus, l'INRA de Dijon héberge une unité de recherche spécialisée dans ce domaine, reconnue internationalement, et qui a fait de nombreux essais en Bourgogne.

I.2.1.1. Le sol, un milieu méconnu et menacé

Depuis 2002, un réseau de mesure de la qualité des sols a été mis en place sur l'ensemble du territoire français afin d'observer l'évolution de la qualité des sols et de leur diversité microbienne en particulier⁶. Peu de données étaient disponibles sur le sol jusqu'alors. Il est beaucoup moins protégé que d'autres milieux comme l'air et l'eau et son état est jugé préoccupant (*MEEDDM, SOeS, 2010*). Il est en effet souvent dégradé par les activités humaines, de façon directe (remblais, tassements...) ou indirecte (épandage d'intrants chimiques, modification de la végétation, apparition d'espèces indésirables...).

Dans le domaine agricole par exemple, le système mis en place depuis la deuxième guerre mondiale, très consommateur d'intrants chimiques de synthèse, menace la ressource sol. A titre d'exemple la France, qui représente seulement 2% de la surface agricole utile (SAU) mondiale, est le 4^{ème} consommateur mondial de produits phytosanitaires et le 1^{er} au niveau européen (*UIPP, 2007*). Il est désormais prouvé que ces pratiques ne sont pas sans conséquences que ce soit pour l'environnement mais également pour l'homme⁷.

De plus, les plantes cultivées ont été sélectionnées pour répondre de façon optimale à l'apport élevé de ces produits chimiques de synthèse. Elles en deviennent dépendantes puisqu'elles ne peuvent peu ou pas bénéficier des services similaires fournis par la faune et la flore du sol. On constate d'ailleurs que ces organismes du sol sont beaucoup moins actifs et que leurs populations sont fortement réduites dans les zones agricoles où les pratiques sont intensives et peu respectueuses de l'environnement⁸. Cela peut alors laisser le champ libre aux organismes pathogènes ou ravageurs, faute de compétition.

Ainsi, à cause des nombreuses perturbations et agressions qu'il subit, le sol atteint aujourd'hui les limites de sa capacité de résilience et sa propriété de multifonctionnalité (support physique, alimentation, matières premières,...) est compromise. Le sol est pourtant indispensable au maintien des fonctions des milieux naturels et de la production agricole puisqu'il est à la base de 90% de l'alimentation humaine et animale (*AEE, 2002*). Il intervient également dans des grands cycles de la matière tels que les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore ou de l'eau.

⁴ <http://www.kent.ac.uk/bio/beg/>

⁵ Source Chambre d'Agriculture de Bourgogne : <http://www.bourgogne.chambagri.fr/agriculture-bourguignonne/chiffres-cles.html>

⁶ Source INRA Dijon : http://www.dijon.inra.fr/la_sciences/inventaire_de_la_biodiversite_microbienne_des_sols_francais

⁷ Source Cemagref : <http://www.cemagref.fr/Informations/Presse/Dossthem/pesticides/index.htm>

⁸ Source CNRS : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapC_p5_d1&zoom_id=zoom_d1_2

I.2.1.2. La biodiversité du sol

Le sol est constitué d'eau, d'air, d'éléments minéraux, de matière organique et inorganique ainsi que d'organismes vivants. C'est l'écosystème le plus riche en terme de nombre d'espèces différentes (Bolger *et al.*, 2000). Il héberge la majorité de la biomasse vivante sur Terre (Bourguignon, 2008). La présence d'un cortège diversifié d'espèces apparaît essentielle dans le maintien d'une bonne structure et d'un bon fonctionnement du sol (CSPNB, 2007). Cette biodiversité du sol est constituée de la macrofaune (supérieure à 4 mm) et de la mésofaune (entre 0,2 et 4 mm), toutes deux visibles à l'œil nu, ainsi que de micro-organismes.

Une des espèces, dite « clé de voûte », de cet écosystème est le ver de terre, qui tient un rôle essentiel dans la structure du sol. Son action favorise l'aération du sol et le mélange de la matière ce qui facilite les transferts de matière et d'énergie nécessaires aux organismes intervenant dans les processus de décomposition, d'humification et de minéralisation de la matière organique. Il est donc un animal très important pour la production agricole. Une récente étude menée par le gouvernement irlandais a d'ailleurs estimé la valeur de ses activités à 700 millions d'euros par an en Irlande (contribution à l'enfouissement du fumier des 7 millions de bovins que compte le pays) (Environment, Heritage and Local Government of Ireland, 2008), ce qui représente 0,04% du PIB de ce pays⁹.

Les micro-organismes, quant à eux, ont un rôle d'interface. Ils permettent, grâce à leur activité biochimique, de mettre à disposition des éléments minéraux et organiques du sol aux êtres vivants qui le composent. Parmi ces micro-organismes, on trouve des animaux, majoritairement des amibes qui se nourrissent de matière organique et de bactéries.

Les algues, les champignons et les bactéries constituent, quant à eux, la microflore du sol.

Les premières, qui se trouvent en surface, sont des organismes autotrophes. Ils sont donc sources de production de matière organique.

Les champignons ne sont pas les micro-organismes du sol les plus nombreux (ce sont les bactéries) mais ils représentent le poids le plus important. On estime, en effet, qu'ils représentent entre une et deux tonnes par hectare de terre agricole soit environ les deux tiers de la biomasse microbienne du sol (Bourguignon, 2008). Ils ont un fonctionnement aérobie et sont indispensables au cycle de l'humus, ils participent donc activement à la pédogénèse.

Enfin, les bactéries font partie du groupe de microbes du sol le plus varié et le plus nombreux puisqu'un gramme de sol en bon état peut en contenir jusqu'à un milliard. Leur particularité et leur importance vient du fait qu'elles sont capables de transformer toutes les substances du sol grâce à une grande variabilité biochimique (Bourguignon, 2008).

I.2.1.3. La mycorhize : une association bénéfique plante-champignon

Les mycorhizes sont des organes qui se développent entre des champignons microscopiques du sol et les racines des plantes. Ces symbioses sont apparues il y a plus de 450 millions d'années et concernent près de 90% des plantes terrestres (Gianinazzi *et Wipf*, 2010). Elles impliquent des échanges de carbone, sous forme de sucres produits par la plante, en contrepartie d'éléments minéraux captés par le champignon. Ces associations existent principalement sous 2 grandes formes comme l'illustre le schéma suivant (Fig. 1).

⁹ Le PIB de l'Irlande a été estimé à 158 milliards d'euros pour l'année 2010 (FMI, 2010)

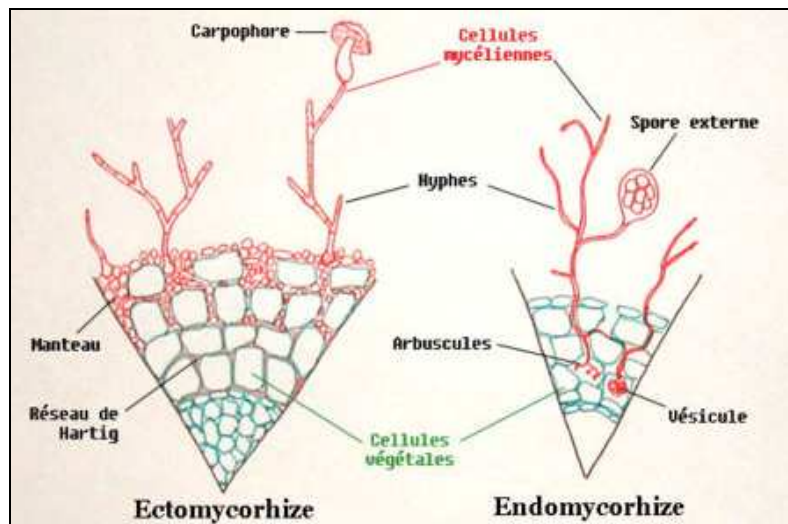


Figure 1 : Principaux types de mycorhizes : l'ecto- et l'endomycorhize (source Wikipédia)

L'ectomycorhize concerne environ 5% des plantes terrestres (les Gymnospermes et certains arbres feuillus principalement) et est formée par environ 5000 espèces de champignons mycorhizogènes.

A l'inverse de ce type de mycorhize, dans le cas de l'endomycorhize, l'hyphe¹⁰ pénètre dans les cellules racinaires.

Il existe par ailleurs une troisième forme de mycorhize, appelée ectendomycorhize (Fig. 2), qui possède des caractères morphologiques des deux autres types de mycorhize précédemment cités.

En outre, il est à noter qu'environ 5% des plantes (comme le colza et la betterave) ne forment pas de mycorhizes (Gianinazzi et Wipf, 2010).

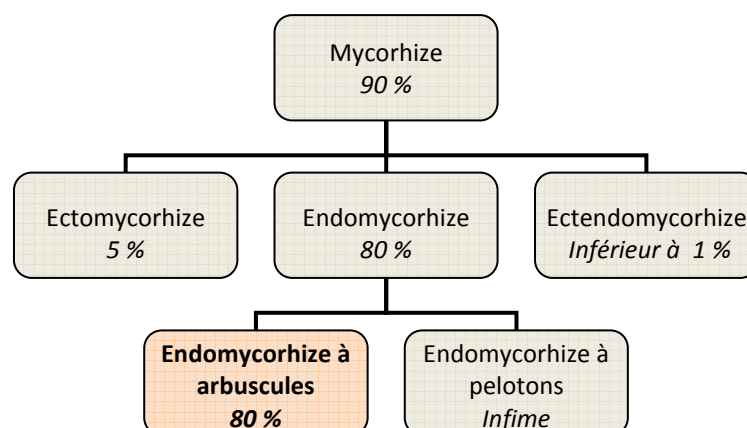


Figure 2 : Différents types de mycorhizes (les chiffres en italiques réfèrent au pourcentage de plantes terrestres concernés par les différents types de mycorhize)



Les endomycorhizes à arbuscules, auxquelles nous nous sommes intéressés, sont présentes chez 80 % des plantes terrestres. Cela représente près de 220000 espèces (Gerbault, 2009), dont la plupart des espèces cultivées par l'homme, d'où l'enjeu pour le secteur agricole. Elles sont nommées ainsi car l'interface entre les deux symbiotes prend la forme d'un arbuste (Fig. 3) qui facilite les transferts d'eau, de nutriments et de signaux avec la plante.

Figure 3 : Zone d'échange d'une mycorhize à arbuscules (source Brundett ©)

¹⁰ Cellule du champignon, ramifiée ou non, qui peut mesurer jusqu'à plusieurs centimètres.

Ces champignons microscopiques appartiennent au taxon des Glomérormycètes qui comprend environ 150¹¹ espèces. Ce sont des biotrophes obligatoires, c'est-à-dire qu'ils meurent s'ils ne sont pas en contact avec des racines au bout d'un certain temps après la germination des spores.

Les travaux de recherche dans ce domaine, notamment ceux de l'UMR PME à Dijon, ont pu mettre en évidence que ces champignons mycorhizogènes apportent de nombreux avantages aux plantes cultivées. Ceux-ci sont principalement obtenus du fait que le mycélium du champignon, beaucoup plus fin que les racines, forme un réseau très dense autour de celles-ci, permettant d'explorer un volume de sol très important (environ 50 fois plus dans le cas de l'oignon, *Bouchet, 2005*). On compte, par exemple, jusqu'à 1000 mètres de mycélium pour un mètre de racines de plantes (*Morot-Gaudry, 1997*). Cette caractéristique biologique peut présenter un avantage agronomique. C'est pourquoi, depuis quelques années, la production des biofertilisants à base de champignons mycorhizogènes se développe majoritairement en Asie et en Amérique du Nord mais également dans plusieurs pays européens. Elle a pour objectif de répondre à une double attente : d'une part baisser les coûts de production liés aux fertilisants et aux produits phytosanitaires, d'autre part réduire la pollution environnementale (*Mulongoy, 1992*).

L'inoculation de ces champignons bénéfiques aux cultures, également appelée « biotisation » (*Gianinazzi et al., 2010*), consiste à appliquer des propagules fongiques, soit autour des racines de la plante directement au champ, soit dans le substrat de culture en pépinière par exemple. En France la production d'inoculum se fait dans la plupart des cas sous licence et contrôle 'INRA'. Ces conditions permettent de garantir leur qualité.

I.2.2. Les biens et services écologiques

I.2.2.1. Des actifs environnementaux indissociables de la notion de fonction biologique

On ne peut pas parler des biens et services écosystémiques sans aborder la notion de fonctions écologiques qui leur est liée. En effet, les modifications de l'environnement, qu'elles soient d'origine naturelles ou anthropiques, vont impacter ces fonctions, comme le montre le schéma illustré à la **Fig. 4**. Elles font référence aux processus qui permettent aux écosystèmes de fonctionner, de se maintenir (flux en équilibre) et donc de fournir des services. Il faut également noter que, comme souvent dans la nature, les interactions sont très présentes. Ainsi une fonction peut-être à l'origine de plusieurs services et inversement, un service peut-être généré par plusieurs fonctions. L'étude de « projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France » (*MEEDDM, SEEIDD, 2010*) a permis une première réflexion « exploratoire » concernant la caractérisation de ces fonctions. Son approche est novatrice dans le sens où elle s'attache à des processus parfois peu connus.

Suite aux travaux du Millenium Ecosystem Assessment (MEA), qui se sont déroulés entre 2001 et 2005 dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) les services écosystémiques, peuvent être regroupés de façon fonctionnelle, en 4 types (*MEA, 2005*) :

- entretien (appelés services d'appui sur la **Figure 4**) servant de support aux écosystèmes
- approvisionnement fournissant des biens directement prélevables par l'homme (matériau, nourriture,...)
- régulation de facteurs biotiques ou abiotiques (ravageurs, maladies, érosion,...)
- culturels faisant références à des valeurs non matérielles (spiritualité, information, ...)

¹¹ Ce chiffre correspond aux connaissances actuelles mais les experts supposent qu'il pourrait en exister plus.

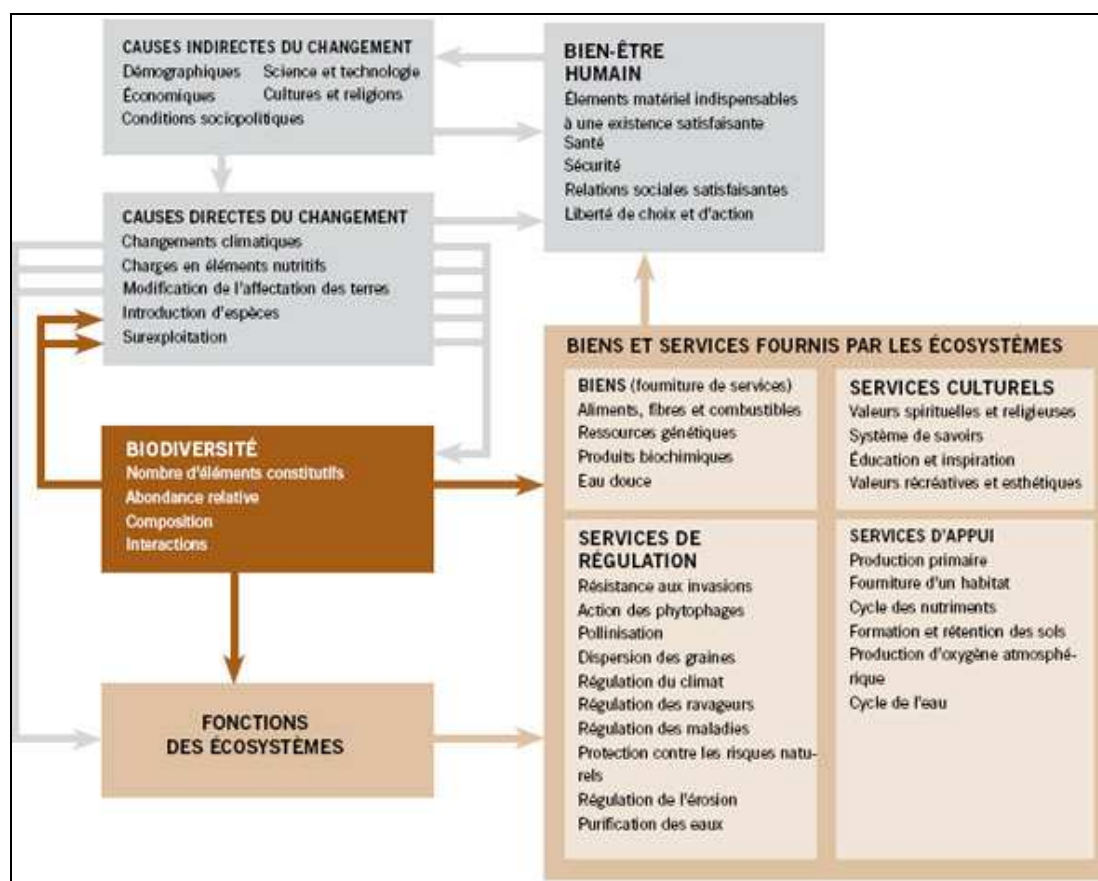


Figure 4 : Liens entre diversité biologique, fonctionnement des écosystèmes, services écosystémiques et facteurs de changement (source secrétariat CDB 2006)

Ces services « résultent des interactions entre organismes qui façonnent les milieux et leur fonctionnement au sein des écosystèmes » (Chevassus-au-Louis, 2009). Ils peuvent être considérés comme des bénéfices que l'homme retire des grandes fonctions écologiques. Costanza et al. (1997) en ont une approche plus anthropocentrée puisque, selon eux, les services écosystémiques résultent de la combinaison des flux produits par le capital naturel avec le capital manufacturé et humain qui contribuent au bien-être de l'homme.

D'un point de vue économique, les biens et services environnementaux peuvent être classés, à la manière d'autres biens économiques, en fonction de deux familles de critères présentées dans le tableau suivant (Tab. 1). La rivalité indique si la consommation du bien par un agent influe sur la quantité de ce bien que peut consommer un autre agent. L'autre critère est l'exclusion, c'est à dire le fait que l'on peut empêcher tout ou une partie des agents à consommer le bien.

Tableau 1 : Classification des biens économiques (source Chevassus-au-Louis, 2009)

	Exclusion	Non-exclusion
Rivalité	Biens privés <i>Ex : biens marchands</i>	Biens communs <i>Ex : ressources halieutiques</i>
Non-rivalité	Biens club <i>Ex : autoroute</i>	Biens publics purs <i>Ex : air atmosphérique</i>

Ainsi, les services écosystémiques peuvent être considérés comme des biens publics mixtes dans la mesure où ils ont des caractéristiques à la fois de biens publics et de biens privés. En effet ils sont non rivaux mais leurs bénéfices peuvent être privatisés. Cela révèle le fait que la limite entre bien commun et public peut-être discutée. En effet, le passage entre la rivalité et la non rivalité est souvent liée à l'encombrement. Prenons l'exemple de l'air, considéré généralement comme un bien public pur, celui-

ci peut devenir un bien commun dans le cas où un grand nombre de personnes est isolé dans une pièce confiné car une rivalité se crée. Cela montre qu'il existe en réalité une gradation entre un bien purement rival, comme la nourriture, et un bien purement non-rival, comme l'information. On pourrait détailler de même pour la limite exclusion / non-exclusion.

1.2.2.2. Les services rendus par les champignons mycorhizogènes à arbuscules

D'après *Gianinazzi et al. (2010)*, *Dodd J.C. (2000)* et *Gosling P. et al. (2005)*, les principaux services rendus par les CMA sont :

- **un apport plus élevé en substances nutritives** : grâce à l'augmentation du volume de sol exploré par le champignon, la quantité de nutriments prélevés et transférés à la plante est augmentée.

- **une bioprotection des plantes contre des stress biotiques** comme les champignons pathogènes infectant les racines ou les nématodes. Celle-ci peut-être expliquée par plusieurs facteurs. Tout d'abord les champignons sécrètent des antibiotiques qui éliminent certains organismes pathogènes. De plus, le système de défense de la plante s'active au moment de la mycorhization. En outre, la symbiose crée une compétition, entre CMA et organismes néfastes, au niveau des racines de la plante tant d'un point de vue chimique que physique. L'accès aux racines par les pathogènes est alors limité et les nutriments captés par la plante et le symbiote ne sont plus autant disponibles pour les organismes indésirables. Enfin, la plus grande vigueur de la plante améliore sa résistance aux attaques. La mycorhization permet ainsi une réduction de l'infection des racines de la plante par des organismes pathogènes, et de la gravité des maladies qui en résultent.

- **l'augmentation de la tolérance des plantes aux stress abiotiques** tels que la sécheresse, la salinité, la présence de métaux lourds (rôle de filtre du champignon), la chaleur, le manque de minéraux. Cette tolérance accrue est permise par la plus grande vigueur de la plante qui lui permet de mieux résister aux perturbations de son environnement.

- **l'augmentation de la stabilité du sol** est permise par l'existence, en plus des racines de la plante, d'un réseau très dense de mycélium dans le sol (jusqu'à 30m d'hyphes/g de sol). En effet, la pénétration du réseau mycélien entre les plus petites particules de sol permet d'améliorer sa structure. On peut aussi noter que les CMA sécrètent une molécule appelée glomaline qui agit comme un colloïde¹² avec les particules de sol et augmente ainsi sa stabilité. L'action de la mycorhize sur la structure du sol améliore également la capacité de rétention de l'eau du sol.

- **l'amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine** : l'apport plus important en nutriments permis par les CMA explique l'augmentation de leur teneur dans les plantes et donc dans les parties consommables. De plus, la synthèse de métabolites secondaires, tels que les organosulfides, les polyphénols, les phytostérols, les vitamines, les terpénoïdes ou les huiles essentielles, est stimulée. Ce sont des molécules importantes dans l'alimentation humaine car elles ont des propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires ou encore odorantes. De plus certaines ne sont pas synthétisées par l'organisme humain.

- **la fixation de carbone** : la mycorhization amplifie le phénomène de fixation de carbone atmosphérique dans la plante par le processus de photosynthèse en augmentant la biomasse. De plus la sécrétion de la glomaline par les CMA, une molécule très riche en carbone, permet de séquestrer du carbone dans le sol.

On remarque également que l'efficacité de la mycorhization est renforcée lorsque les espèces de micro-organismes choisies pour être introduites dans le milieu sont celles qui y sont présentes naturellement.

¹² Un **colloïde** est une substance sous forme de liquide ou de gel qui contient en suspension des particules suffisamment petites pour que le mélange soit homogène. (source Wikipédia)

Par ailleurs, ces services environnementaux sont de type « régulation » et « entretien » (Fig. 4) puisqu'ils interviennent dans la régulation des maladies, des ravageurs et de l'érosion ainsi que dans le cycle des nutriments et la structure du sol. En revanche les mycorhizes ne produisent aucun bien et l'aspect culturel, même s'il existe (par exemple en terme de réservoir de connaissances), ne sera pas approfondi dans cette étude.

1.2.3. Utilisation grandissante de l'évaluation économique dans le domaine de la biodiversité

Le constat de l'érosion de la biodiversité est avéré depuis plusieurs années et les chiffres parlent d'eux-mêmes : au cours des 200 dernières années, le rythme d'extinction a été 10 à 100 fois supérieur à celui d'une biodiversité stable, et une multiplication de ces chiffres par 10 est prévue d'ici 2050 par la communauté scientifique (Lafitte et Saunier, 2008). En 2002, le Sommet Mondial sur le Développement Durable de Johannesburg a renforcé la démarche lancée par la Convention sur la Diversité Biologique dix ans plus tôt, en introduisant une obligation de résultats et plus seulement de moyens. Cependant, l'objectif fixé lors de ce sommet de ralentir la perte de la biodiversité d'ici 2010 n'a pas été atteint.

Pourtant, comme nous l'avons vu précédemment, la diversité biologique fournit des biens et services qui peuvent être utiles à l'homme (c'est sa valeur instrumentale) et lui sont même parfois essentiels. Plusieurs travaux portant sur l'évaluation économiques de biens environnementaux ont été réalisés depuis la CDB et obtiennent des résultats frappant. On peut notamment citer une étude de Costanza (Costanza et al., 1997) qui montre que la valeur des services écosystémiques s'élève à 2 fois celle du PNB mondial.

Au niveau national, un travail similaire a également été mené. Le rapport de l'étude du Centre d'Analyse Stratégique (CAS), sur « L'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes » (Chevassus-au-Louis et al., 2009), a présenté en 2009 des valeurs économiques de référence pour des types de services écologiques rendus par la biodiversité. Il s'est aussi attaché à préciser la notion de valeur économique totale (VET) d'un bien environnemental (Fig. 5). En effet, il est plus aisé de définir la valeur d'un actif naturel, c'est-à-dire l'utilité que l'homme en retire en fonction de l'usage qu'il en a, que de lui attribuer un prix, à savoir la traduction monétaire de cette valeur.

Ainsi on peut associer aux biens une valeur d'usage ou de non-usage en fonction de l'utilisation ou non du bien.

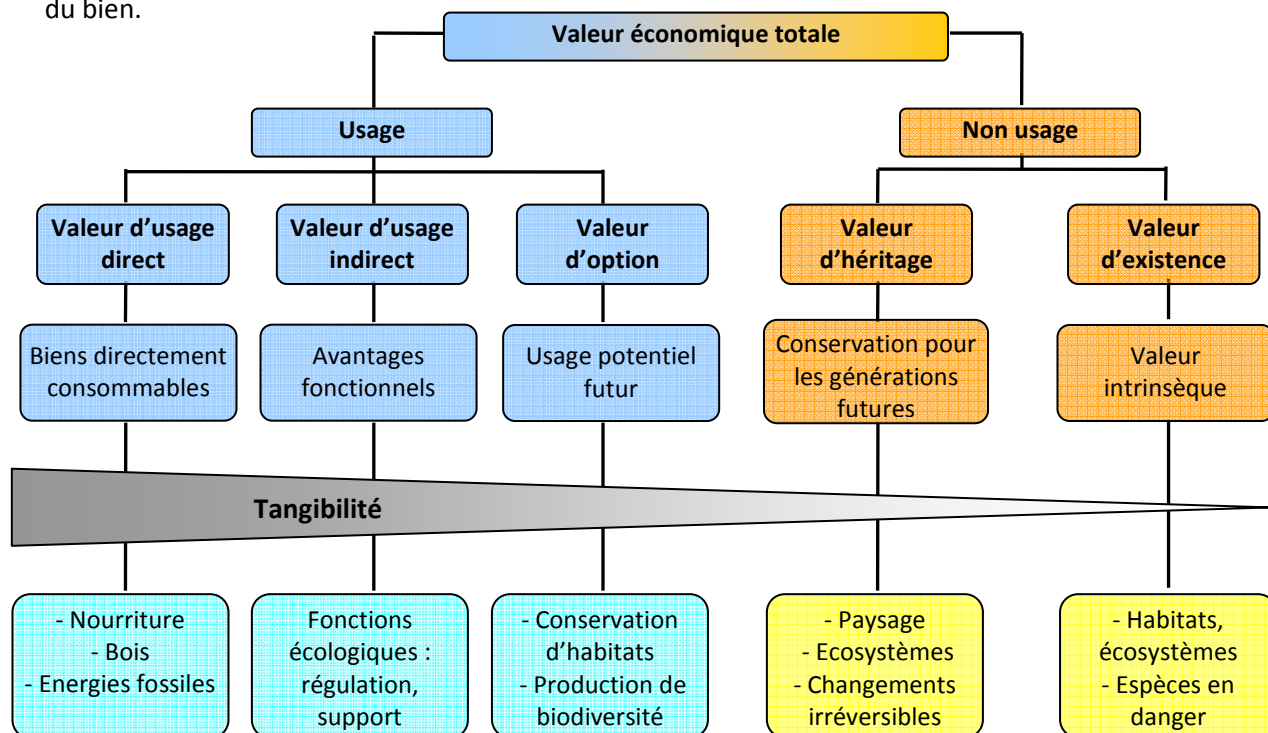


Figure 5 : Valeurs des services écosystémiques (source CAS)

Plus précisément, la valeur d'usage direct correspond aux avantages retirés de la consommation directe, de la production ou de l'utilisation sans consommation (tourisme) d'un actif naturel. La valeur d'usage indirect, quant à elle, concerne les avantages procurés par les services écosystémiques qui n'ont pas d'impact direct sur le bien-être de l'Homme. La valeur d'option, qui fait aussi partie de la valeur d'usage, s'attache à l'utilisation possible et/ou future d'un bien environnemental et permet donc de s'intéresser à la notion de conservation, beaucoup mise en avant dans le domaine de la biodiversité. Enfin, la valeur de non-usage s'attache à la valeur intrinsèque du bien, c'est-à-dire à la valeur relative à son existence, pour les générations actuelles ou futures.

De plus, en 2007 a été lancée l'étude TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) qui a pour but d'évaluer le coût global, pour la société, de la dégradation de la biodiversité et des services écosystémiques (*Chevassus-au-Louis et al., 2009*). Le rapport d'étape présenté en 2008 précise que l'objectif final est de « fournir aux responsables politiques les outils nécessaires pour inclure la vraie valeur des services écosystémiques dans leurs prises de décisions ». Les résultats finaux sont attendus pour fin 2010.

La crise biologique actuelle provient en partie du manque de prise en compte de la biodiversité dans les politiques publiques et sectorielles. Cela est dû au fait que, la plupart du temps, les actifs naturels que la biodiversité procure sont non-marchands c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de prix sur le marché. On comprend ainsi l'importance et la nécessité de la réflexion et de la recherche pour déterminer les valeurs de la biodiversité et les moyens d'y parvenir via l'élaboration de méthodes d'évaluation économique des biens et services rendus par la biodiversité. Les études portant sur ce sujet, de plus en plus nombreuses ces dernières années, participent à cette démarche et ce stage vise également à y contribuer.

I.3. Objectifs et problématiques de l'étude

I.3.1. Précision de la commande

A travers leur activité, les deux organismes qui ont encadrés ce stage réfléchissent à des solutions permettant de répondre à la réglementation actuelle et à venir dans les domaines de la diminution de l'utilisation des intrants (Grenelle de l'environnement, Ecophyto2018, Directives Nitrates,...), de la protection des sols (projet en cours de Directive cadre sur les sols) et de la préservation de la biodiversité.

Concernant Alterre Bourgogne, ce stage lui permet de porter à connaissance auprès de publics cibles (élus, socioprofessionnels, associations, ...), un exemple de bonne pratique en faveur de la biodiversité. L'objectif est également de poursuivre sa démarche d'évaluation économique d'actifs environnementaux, en se basant sur un cas de biodiversité ordinaire, dans le but est de trouver des arguments socio-économiques pour mieux prendre en compte la biodiversité dans les activités économiques.

Pour l'UMR PME, cette étude vise à étudier et présenter, sous un angle économique, les récents résultats sur les CMA, en particulier les avantages écologiques qu'ils procurent dans le domaine agricole.

La problématique de ce stage est à la croisée des objectifs de ces deux structures. Il s'agit de s'interroger sur les caractéristiques de ces services et la façon de les évaluer économiquement. Nous nous interrogeons également sur la pertinence économique d'une pratique alternative pour une production végétale agro-écologique telle que l'inoculation de CMA dans les cultures et des pratiques plus respectueuses pour l'environnement qu'elle permet.

De plus, comme cela sera précisé par la suite (cf.II.2.1.) ce travail s'est basé sur la culture d'oignon et de la vigne. En effet ce sont deux cultures économiquement et culturellement importantes pour la région Bourgogne.

Le stage s'est ainsi articulé autour des objectifs suivants :

- Caractériser les biens et services rendus par les CMA,
- Définir une démarche d'évaluation économique de ces biens et services,
- Appliquer cette démarche afin d'estimer la valeur monétaire de ces biens et services,
- Analyser économiquement un scénario de mycorhization de plantes cultivées associée à des pratiques agricoles moins intensives à l'aide d'une analyse coûts-bénéfices (ACB).

Le but était également de se placer à différentes échelles afin d'apporter des résultats à plusieurs types de personnes concernées. Il a donc été décidé d'étudier tout d'abord le niveau de la parcelle (d'essais mais aussi agricole) puis de réaliser l'évaluation économique à l'échelle de l'exploitation agricole en extrapolant les données. L'intérêt s'est également porté sur les principales zones de production des deux cultures choisies dans la région Bourgogne, ce qui a permis de prendre un point de vue plus territorial.

I.3.2. Questions soulevées

La commande a soulevé plusieurs interrogations auxquelles cette étude a tenté de répondre :

Quels sont les caractéristiques des services rendus par les CMA ?

Quelle méthodologie mettre en place pour chiffrer ces services écosystémiques ? Quelles sont les conditions de sa mise en œuvre ?

Quelles méthodes d'évaluation économique utiliser parmi le panel existant ? Comment les utiliser dans le cas de services rendus par les CMA et quelles sont leurs limites ?

La mycorhization présente-t-elle des avantages économiques pour l'agriculteur ? Présente-t-elle des avantages écologiques pour la collectivité ?

La mycorhization des cultures peut-elle être un facteur d'une agriculture plus durable ?

II- METHODOLOGIE

Dans la mesure où assez peu d'études se sont attachées à évaluer l'importance économique du sol et de sa biodiversité, ce travail a pour vocation de contribuer à construire une méthodologie d'évaluation économique des services écologiques fournis par un groupe représentatif de micro-organismes du sol, à savoir les CMA. Outre les valeurs que procure l'estimation économique, l'un des principaux résultats de ce travail est donc cette méthode, qui a été mise en œuvre pour parvenir aux estimations monétaires et sur laquelle pourront s'appuyer de futures études dans ce domaine.

II.1. Supports de l'étude

Ce stage repose sur un important travail bibliographique et se base sur une réflexion personnelle et des entretiens menés auprès de personnes ressources.

Un travail de synthèse a eu lieu à la suite de lectures bibliographiques qui ont porté sur :

- le contexte général (politique, institutionnel, réglementaire, scientifique) dans lequel se situe ce travail,
- le sol et sa biodiversité,
- les mycorhizes et plus particulièrement les CMA ainsi que les services qu'ils fournissent,
- les méthodes d'évaluation économique en matière de biens et services rendus par la biodiversité,
- les connaissances techniques et économiques relatives aux cultures étudiées,
- les problèmes environnementaux générés par la conduite conventionnelle de ces cultures dans la zone d'étude (cf. II.2.2.3.).

Les entretiens ont quant à eux permis de préciser ce recueil d'informations et de données, tant pour l'aspect technique, expérimental, économique ou encore méthodologique.

Concernant les renseignements technico-économiques, la bibliographie a été complétée par des échanges avec des experts travaillant en étroite collaboration avec le milieu agricole (techniciens de l'union de coopératives ValUnion et de la Chambre d'Agriculture de Côte d'Or).

Plusieurs entretiens ont également été réalisés auprès de Daniel Wipf (Responsable scientifique de l'opération de recherche des programmes cellulaires des interactions durables entre symbiotes mycorhiziens et exploitations biotechnologiques) et de Silvio Gianinazzi (Directeur de recherche émérite CNRS, spécialiste des mycorhizes) de l'UMR PME. Ils ont fourni des données et des documents sur les recherches relatives aux mycorhizes et à leurs applications dans les cultures.

La méthodologie a été discutée avec différentes personnes travaillant de manière plus ou moins importante sur l'évaluation économique d'actifs environnementaux (chargé de mission biodiversité, enseignants chercheurs en économie de l'environnement, chargé de mission au MEEDDM). Leurs différents points de vue dans ce domaine ont permis d'adapter au mieux cette méthodologie à la présente étude et de s'assurer de sa robustesse.

II. 2. Délimitation du cadre de l'étude

Comme dans tout travail d'évaluation, une étape préalable indispensable est de déterminer précisément les limites de cette étude. Dans notre cas, l'étude de l'effet des mycorhizes à arbuscules s'est concentrée sur deux cultures, à différentes échelles. De plus, elle peut être qualifiée d'*ex-ante* dans la mesure où c'est une étude prospective qui a été effectuée avant la prise de décision et l'action des différents acteurs concernés.

II.2.1. Deux cultures étudiées : l'oignon et la vigne

II.2.1.1. Critères de choix et détails sur les sources de données utilisées

La mycorhize étant une symbiose présente chez une grande majorité de plantes cultivées, il a fallu déterminer celles sur lesquelles nous allions travailler. Les deux cultures retenues dans cette étude, que sont l'oignon et la vigne, l'ont été pour plusieurs raisons.

La plus évidente est ces deux cultures forment des mycorhizes à arbuscule.

Ce sont également deux cultures caractéristiques de la Bourgogne et plus particulièrement de la Côte d'Or, département où s'est déroulé le stage, ce qui facilitait le recueil de données.

De plus, l'UMR PME possède des données expérimentales d'essais qui ont été réalisés sur l'oignon et la vigne sur une période assez longue (près de 30 ans pour l'oignon et plus de 20 ans pour la vigne).

Enfin le choix de ces deux cultures permet de voir si les résultats de l'évaluation diffèrent entre une culture annuelle et une culture pérenne et si l'inoculation de champignons mycorhizogènes est pertinente économiquement dans les deux cas. En effet, la mycorhization s'effectue tous les ans pour l'oignon alors qu'elle se fait uniquement lors de la plantation pour la vigne.

On peut également noter que la plupart des données technico-économiques relatives à ces cultures ont été recueillies à partir de la base informatique Agreste concernant la statistique, l'évaluation et la prospective agricole mise à disposition par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (MAAP).

Elles ont été complétées par un entretien réalisé auprès d'un technicien d'une coopérative locale, pour l'oignon, afin de prendre en compte les spécificités régionales. Pour la vigne, des données complémentaires proviennent de l'ouvrage « *Références vigne, références technico-économiques de systèmes de conduite de la vigne* » (Roby J.-P. et al., 2008). En outre, elles ont été confirmées par un technicien de la Chambre d'Agriculture de Côte d'Or.

II.2.1.2. La culture d'oignon

En 2008, la production annuelle d'oignon en Côte d'Or s'élève à environ 20 000 T¹³ (*Direction des Territoires (DDT) de Côte d'Or*), soit la quasi-totalité de la production régionale mais c'est deux fois moins que les départements français les plus producteurs (Aisne et Eure-et-Loir, *FranceAgriMer*, 2009). Selon la base Agreste, cela place actuellement le département au 9^e rang national pour la production d'oignon. On peut néanmoins noter qu'il était à la première place en 2004, la surface de production était alors presque deux fois plus importante qu'aujourd'hui. Cette culture conserve toutefois une importance forte en Bourgogne puisque l'oignon est la première production légumière de la région en termes de tonnage et de surface cultivée.

Le marché est quasiment exclusivement maîtrisé par la coopérative Dijon Céréales et la société STL, second opérateur européen pour la déshydratation des oignons, également installée dans le département¹⁴.

En Bourgogne, cette culture se rencontre presque exclusivement dans le Val de Saône en Côte d'Or et concerne principalement l'oignon jaune. Celui-ci, dit de jours longs, se cultive de Mars à Août, contrairement à l'oignon de jours courts produit en région méditerranéenne qui se sème en automne et est récolté à la fin du printemps.

Les principales charges opérationnelles liées à la culture d'oignon de jours longs concernent l'achat des plants de bulbilles, des fongicides pour lutter essentiellement contre le mildiou et des engrais minéraux (N P K).

¹³ Source DDT21 : http://ddaf21.agriculture.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=44

¹⁴ Source Dijon Céréales : http://www.dijon-cereales.fr/02_assiette/oignons.htm

II.2.1.3. La vigne

Le vignoble bourguignon ne représente qu'un peu plus de 3% de la superficie du vignoble français mais il est l'un des plus réputé au monde. Les grands crus sont nombreux et la quasi-totalité des vins produits en Bourgogne bénéficie du signe officiel de qualité AOC. De plus, un quart des exploitations agricoles du département est spécialisée en viticulture¹⁵, ce qui en fait une filière essentielle pour l'agriculture locale. C'est également un secteur économique important au niveau régional puisqu'il représente un tiers du chiffre d'affaire des productions agricoles de Bourgogne (Agreste, 2010).

Les principaux cépages bourguignons sont le Pinot noir et le Gamay pour les vins rouges et le Chardonnay et l'Aligoté pour les vins blancs. Ils couvrent respectivement 42%, 4%, 46% et 7,5% de la surface du vignoble bourguignon (Agreste, 2006).

La conduite de cette culture comporte de nombreuses étapes, la plantation en est une primordiale puisqu'elle détermine le devenir d'une parcelle pour plusieurs dizaines d'années. La culture de la vigne a besoin de peu de fertilisants, par contre elle nécessite un recours élevé aux produits phytosanitaires, en particulier les fongicides avec en moyenne 8 passages entre Mai et Août sur l'ensemble des exploitations viticoles bourguignonnes (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008). En effet, la vigne est touchée par de nombreuses maladies cryptogamiques aux conséquences non négligeables tant sur la quantité que sur la qualité de la récolte. Certaines pathologies comme le mildiou, l'oïdium ou encore la pourriture grise (botrytis) vont altérer les parties aériennes, d'autres telles que le pourridié ou l'eutypiose touchent les racines.

II.2.2. Trois échelles d'étude

Les enjeux liés à cette étude sont multiples et différents types de décideurs (scientifiques, agriculteurs, décideurs publics locaux) peuvent être intéressés par les biens et services rendus par les microorganismes du sol. C'est pourquoi, dès le début du stage, il a été décidé d'adopter une approche multi-scalaire afin que les résultats de l'étude apportent des arguments socio-économiques et environnementaux quelque soit l'échelle de décision.

II.2.2.1. Un niveau élémentaire servant de base à l'extrapolation

Pour l'échelle la plus petite, que l'on appellera « placette » par la suite, le but est de répertorier à une échelle de base (celle de l'hectare) les pratiques culturales moyennes pour les deux cultures étudiées ainsi que les résultats expérimentaux concernant les services rendus par les mycorhizes à arbuscules.

Pour cela, nous nous sommes référés dans un premier temps aux itinéraires techniques conventionnels de l'oignon et de la vigne en utilisant les sources de données citées au paragraphe II.2.1.1.

Puis nous nous sommes appuyés sur les essais menés par l'UMR PME sur le domaine expérimental INRA d'Epoisses (Unité Expérimentale 115) à Bretenières (21100) dans la plaine de la Saône. Celui-ci est situé à une vingtaine de kilomètres d'Auxonne, au cœur de la zone de production de l'oignon en Bourgogne. On peut donc considérer que les conditions environnementales sont similaires entre la zone d'où sont tirées les données expérimentales et celle où l'oignon est en production commerciale.

Selon Silvio Gianinazzi et Daniel Wipf de l'UMR PME, ces conditions sont également comparables à celles que l'on rencontre dans le vignoble bourguignon. En effet, les influences climatiques sont similaires (continentale et méditerranéenne) même si le vignoble a une tendance méditerranéenne plus marquée avec des étés plus chauds et secs. On rencontre également les mêmes types de sols avec néanmoins une variabilité texturale et structurale car le vignoble présente des sols plus calcaires que la plaine de la Saône (cartes en **Annexe 3**).

Des données expérimentales complémentaires relatives aux effets des mycorhizes à arbuscules sur les cultures ont également été recueillies à partir de nombreuses publications scientifiques et d'études menées dans ce domaine.

¹⁵ Source DDT21 : http://ddaf21.agriculture.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=44

II.2.2.2. Extrapolation à l'échelle de l'exploitation agricole : une dimension privée

Le travail d'évaluation, en s'intéressant à l'exploitation agricole, se focalise sur l'un des premiers échelons de décision, qui est celui de l'agriculteur. A cette échelle, les enjeux sont principalement de nature privés. Les changements de pratiques culturales vont se décider et s'effectuer à ce niveau d'étude, en particulier l'inoculation ou non de CMA dans les cultures, il est donc très important.

Pour ce niveau, nous nous sommes basés sur la conduite conventionnelle de l'oignon et de la vigne dans des exploitations agricoles spécialisées.

Pour l'oignon les données recueillies s'appuient sur les pratiques culturales moyennes observées dans les 26 exploitations adhérant à la coopérative Dijon Céréales, et qui produisent exclusivement de l'oignon. On peut considérer que c'est un échantillon homogène (même zone géographique, mêmes fournisseurs / clients, pratiques semblables, ...) et représentatif de la filière au niveau local, puisqu'elles représentent plus de 80 % de la surface de cette culture dans le département.

Les données concernant les pratiques culturales moyennes de la vigne proviennent quant à elles de l'enquête nationale sur les pratiques viticoles, détaillée par région et réalisée en 2006. Elles ont été corroborées par un technicien vigne de la Chambre d'Agriculture de Côte d'Or.

II.2.2.3. Extrapolation à l'échelle du territoire : une dimension publique

Pour avoir une vision plus complète des services rendus par les CMA, il est important d'adopter différents points de vue. Après s'être placé à l'échelle de l'exploitant privé nous nous sommes également intéressés à une échelle supérieure, celle du territoire, afin d'aborder des enjeux sociétaux tels que la qualité de l'eau et des sols, les quantités d'eau prélevées pour l'irrigation ou encore le piégeage du carbone.

Nous nous sommes pour cela concentré sur deux zones géographiques de Bourgogne choisies pour être représentatives, à l'échelle régionale, des deux cultures retenues dans cette étude.

Comme le montre les cartes ci-après (**Fig. 6**), il s'agit de :

- **(1)** la région d'Auxonne, située à l'Est de Dijon (Côte-d'Or). Cette zone englobe 80 % des surfaces cultivées en oignon du département et même de la région.

- **(2)** la zone de vignoble située entre Dijon et Chalon-sur-Saône pour la vigne. Elle comprend les vins de la Côte de Nuits, de la Côte de Beaune et de la Côte Chalonnaise. Elle est à cheval entre les départements de Côte d'Or et de Saône-et-Loire et représente, en superficie, un peu plus de 40% du vignoble bourguignon. Cette zone a été choisie pour son appartenance à une aire géographique précise, présentant des conditions pédo-climatiques homogènes et des modes de culture semblables (hauteur de tronc et de feuillage, taille).

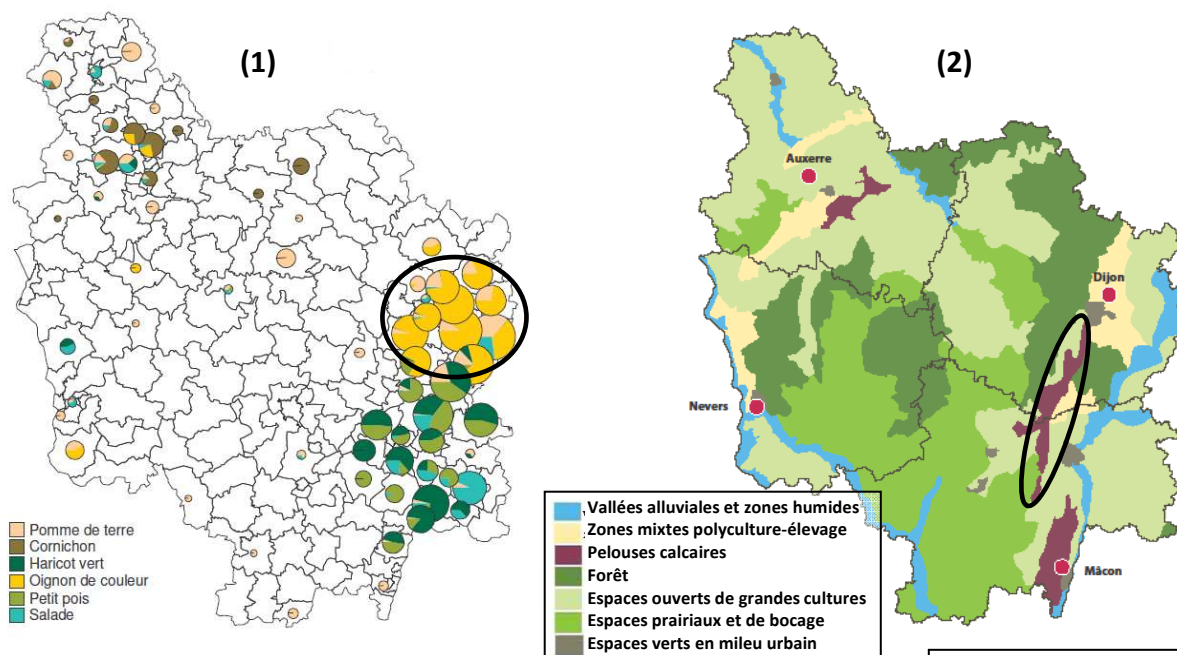


Figure 6 : Localisation des deux zones d'étude pour la culture de l'oignon et pour la vigne

Les élus et les habitants de ces deux bassins de production sont confrontés, comme dans de nombreuses zones agricoles françaises, à des problèmes environnementaux (pollution notamment). Ils sont dus à des pratiques souvent intensives et en particulier à l'utilisation, non raisonnée du point de vue environnemental, d'intrants chimiques de synthèse. L'inoculation de CMA dans des terres agricoles et les changements de pratiques nécessaires à sa mise en œuvre peuvent avoir une incidence positive sur ces problèmes grâce à la restauration de services écologiques.

Il est donc nécessaire, dans un premier temps, de déterminer les problèmes environnementaux qui existent dans ces périmètres. Tout d'abord, dans ces zones, qui appartiennent toutes les deux au bassin hydrographique Rhône-Méditerranée, l'état des eaux superficielles est considéré comme mauvais et passable concernant les nitrates (*DIREN Bourgogne*, carte en [Annexe 4](#)). Les deux aires d'étude font d'ailleurs partie d'une « zone vulnérable nitrates » (*MAAP, 2008*) qui englobe des « parties de territoires alimentant des masses d'eau dépassant ou risquant de dépasser le seuil de 50 mg/l en nitrate, ainsi que celles présentant des tendances à l'eutrophisation »¹⁶.

En ce qui concerne le vignoble, on note également une pollution des eaux par les pesticides et les métaux lourds (Cu, Mn, As) mais le sol est aussi concerné avec des problèmes d'érosion hydrique (*DIREN Bourgogne, 2007*) et des concentrations élevées en métaux.

L'échelle du territoire est une échelle importante à prendre en considération dans la mesure où elle présente une dimension collective. En effet les problèmes de dégradation de l'environnement impactent la qualité de vie des habitants (qualité et prix de l'eau, etc.) d'une zone donnée. En outre, l'action publique est possible à cette échelle. Les pouvoirs publics locaux (communes, EPCI, conseils généraux) peuvent dans une certaine mesure prendre des décisions politiques (fermeture de points de captage, protection d'aires de captage) et mettre en place des actions (contrôles physico-chimiques de l'eau, usines de traitement de l'eau) en faveur de la préservation d'actifs naturels. Ils peuvent donc être intéressés par cette étude.

¹⁶ MEEDDM, Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) : <http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/donnees-essentielles/activites-humaines/agriculture-et-environnement/les-zones-vulnerables-a-la-pollution-par-les-nitrates.html>

II.3. Démarche suivie pour l'évaluation économique

Les principales étapes de l'évaluation économique des biens et services fournis par les mycorhizes à arbuscules sont les suivantes :

- 1) Identification des biens et services,
- 2) Hiérarchisation de ces biens et services,
- 3) Choix des méthodes d'évaluation économique adaptées,
- 4) Evaluation des services,
- 5) Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) pour les cultures d'oignon et de vigne à l'échelle de l'exploitation agricole et du territoire.

II.3.1. Identification des biens et services et de leurs caractéristiques

La détermination des biens et services rendus par les CMA s'est essentiellement basée sur un article de Gianinazziet *al.* (2010) portant sur le rôle clé de ce type de champignons dans les services écosystémiques. Cependant, quelque soit l'échelle (parcelle, exploitation, territoire) et la culture (oignon, vigne) auxquelles nous nous sommes intéressées, l'identification des fonctions biologiques et écologiques qui permettent de disposer de ces biens et services doit être réalisée.

Il est ensuite possible de caractériser ces derniers en précisant les types de bénéficiaires concernés et le(s) type(s) de valeur de ces services. Cela va permettre de guider le choix des méthodes d'évaluation économique à utiliser.

Un classement des services écologiques fournis par les endomycorhizes à arbuscules peut ensuite être établi, en fonction de critères détaillés ci-après. Cela permet de déterminer les services sur lesquels il faut porter l'attention et pour lesquels les résultats de l'évaluation économique auront plus de poids.

Ainsi, pour l'échelle de l'exploitation agricole, on se base sur l'itinéraire technique des cultures. En effet celui-ci peut-être décomposé en étapes au cours desquelles sont utilisés des intrants dont certains remplacent les services écosystémiques. On hiérarchise ensuite les services en fonction du poids économique (en terme de charges / prix de revient) de l'étape de l'itinéraire technique qui leur est associée. Par exemple, les étapes de fertilisation peuvent être associées au service « meilleur apport en éléments nutritifs » puisque celui-ci permet une réduction de l'apport de ce type d'intrant. Si ces étapes représentent la charge économique la plus importante dans l'itinéraire technique, le service correspondant est à considérer avec plus d'attention que les autres.

A l'échelle du territoire, la hiérarchisation des biens et services se fait par rapport à l'importance des problèmes environnementaux évoqués précédemment. A titre d'exemple, si la zone considérée est sujette à des problèmes de pollution par les nitrates et n'a pas ou peu de problème d'érosion, on portera plus d'intérêt au service « meilleur apport en éléments nutritifs » qu'à celui « augmentation de la stabilité du sol » dans l'analyse de nos résultats.

Il est également à noter que certains services ne seront que partiellement évalués à cause de données incomplètes. D'autres ne seront pas pris en compte soit parce que les données sont manquantes, soit parce qu'en fonction de la culture et de l'échelle considérée ils ne sont pas présents. On admettra donc que les résultats chiffrés représentent une valeur minimale de la valeur d'usage indirecte des CMA.

II.3.2. Evaluation monétaire des services

Il est, en premier lieu, important de préciser que dans cette étude nous avons volontairement adopté une approche anthropocentrée en ne s'intéressant qu'à la valeur d'usage indirect des services rendus par les mycorhizes à arbuscules. Au-delà de la méthode, ce travail vise également à déterminer si cette pratique agricole de la mycorhization, qui présente un avantage écologique certain, est aussi intéressant économiquement. En effet, en mettant en place des actions valorisant les services rendus par les CMA, le but est de conserver un niveau de production en rendant son coût moins dépendant d'intrants et de la fluctuation de leur prix. Parallèlement, la qualité environnementale des territoires,

des ressources (sol, eau) et des produits agricoles est aussi visée. Notre travail ne s'attache pas à ce dernier point, mais une étude spécifique pourrait être intéressante et complémentaire.

II.3.2.1. Démarche générale

Pour chacun des services nous avons choisi une méthode d'évaluation économique permettant de lui attribuer une valeur monétaire. Afin d'être le plus pertinent possible, le choix s'est fait en fonction des caractéristiques du service (valeur, bénéficiaire, type) mais également par rapport au champ d'application des différentes méthodes existantes.

Comme le montre le tableau suivant (**Tab. 2**), dans le cas d'actifs environnementaux non marchands dont font partie les services écosystémiques, plusieurs méthodes existent mais elles consistent toutes à estimer une variation marginale du bien-être de l'Homme liée à un changement de l'environnement (par exemple de la biodiversité et des services qu'elle fournit).

Tableau 2 : Méthodes d'évaluation économique des actifs non marchands (source CAS)

	Préférences révélées	Préférences déclarées
Méthodes directes	Monétarisation au prix du marché Coûts de restauration, de remplacement Coûts évités	Evaluation contingente
Méthodes indirectes	Dépenses de protection / prévention Coûts de déplacement Prix hédonistes	Analyse conjointe

Dans notre cas, où les services ont une valeur d'usage, nous avons adopté une approche par les coûts de la même manière que des études d'évaluation de services rendus par les écosystèmes réalisées à plus grande échelle (*Costanza et al., 1997 ; Pimentel et al., 1997*).

Il existe plusieurs méthodes basées sur les coûts : changement de productivité, coût de remplacement, coût d'opportunité mais c'est la monétarisation au prix du marché et la méthode des coûts évités, permettant d'évaluer le service au moyen des économies qu'il permet de faire, qui semblent les plus adaptées. Ces méthodes révèlent les préférences des individus par l'observation de leurs comportements contrairement aux méthodes de préférences déclarées qui passent par des enquêtes de terrain. De plus, elles sont considérées comme des méthodes directes puisqu'elles permettent d'obtenir directement des indications de valeur.

II.3.2.2. Détails d'application des méthodes d'évaluation en fonction des services identifiés

En fonction du service auquel on s'intéresse, les méthodes d'évaluation choisies ne sont pas les mêmes et une méthode ne requiert pas le même type de données pour différents services.

Au niveau de l'exploitation agricole, les services « meilleur apport en éléments nutritifs », « bioprotection contre les stress biotiques » et « meilleure tolérance aux stress abiotiques » permettent d'envisager des changements dans les pratiques culturales, en particulier une diminution de certains intrants tels que les fertilisants, les pesticides ou encore l'eau d'irrigation. A l'aide de la méthode des coûts évités, ces services seront évalués au travers de l'économie permise par ces réductions.

Concernant « l'augmentation de la stabilité du sol », l'idée est similaire et la méthode utilisée est la même. Les mycorhizes, en améliorant la stabilité et la structure du sol, permettent de limiter le phénomène d'érosion hydrique. Le principe est donc, pour ce service, de chiffrer l'économie permise par cette protection du sol.

En revanche, si l'on se place à l'échelle supérieure, celle du territoire, les problématiques sont différentes et prennent un aspect sociétal. L'évaluation économique des services pourrait passer par une estimation monétaire des conséquences de l'utilisation des mycorhizes, associée à des changements d'itinéraires techniques, à l'échelle d'une région de production. Cela concerne par

exemple la diminution de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation ou encore la réduction de la pollution des eaux et des sols par les pesticides et les engrais.

Pour l'estimation économique du service de fixation de carbone, on peut directement se référer au prix du marché du carbone. En effet, la création en 2005 d'un système européen d'échange de quota a permis de faire émerger un prix de la tonne de CO₂. Cependant, en 2008, le rapport Quinet a révisé ce prix de marché et préconise une valeur tutélaire, utilisée pour la définition des politiques publics et les calculs économiques. C'est cette valeur que nous avons choisi d'utiliser dans notre étude.

En ce qui concerne le service de « meilleure qualité des plantes pour la santé humaine », son évaluation est plus compliquée à appréhender dans la mesure où les personnes les plus concernées sont les consommateurs. Cette évaluation n'a pas été réalisée dans cette étude. Elle nécessite, en effet, un travail supplémentaire de quantification de l'impact de la consommation de ces produits sur la santé, qui n'était pas possible de mettre en œuvre pendant ce stage.

II.3.3. Présentation et agrégation des résultats

Une fois les différents services évalués, on peut déterminer une valeur d'usage de l'ensemble des services rendus par les mycorhizes à arbuscules et obtenir ainsi une valeur indicatrice unique par échelle d'étude. Les résultats sont cependant à utiliser avec prudence dans la mesure où différentes méthodes de calcul ont été utilisées et où les services étudiés n'étant pas totalement indépendants les uns des autres, certains pourraient avoir été soit comptabilisés plusieurs fois soit sous-estimés.

Pour chaque échelle on compare 2 scénarios :

- un où l'on se base sur des pratiques agricoles conventionnelles actuelles
- un où l'introduction de CMA dans les cultures est associée à des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Il a aussi été décidé de présenter les estimations économiques sous la forme d'un intervalle quand cela était possible. Cela permet de refléter la part d'incertitude des données utilisées qui démontre une certaine variabilité dans les pratiques culturales ainsi que dans les conditions environnementales (climat, pression biotique, etc.).

A l'échelle de la parcelle d'essai, les résultats se traduisent par une présentation, pour chaque service identifié, de la conduite conventionnelle des cultures d'oignon et de la vigne, ainsi que des bénéfices permis par des changements de pratiques associés à la mycorhization des cultures, et cela en rapport avec les services que nous avons identifiés.

Au niveau de l'exploitation agricole et du territoire, nous avons réalisé une Analyse Coûts-Bénéfices (ACB), également appelée Analyse Coûts-Avantages pour chacune des deux cultures. Celle-ci consiste à déterminer, pour chaque scénario envisagé ci-dessus, l'ensemble des coûts et bénéfices (actuels et futurs), de les chiffrer et de les comparer.

Cela implique de fixer :

- une année de référence, c'est-à-dire celle à partir de laquelle on prend en compte les coûts et les bénéfices,
- un taux d'actualisation qui permet de ramener les coûts et bénéfices futurs à la valeur de l'année de référence.

Dans cette étude nous avons considéré l'année 2010 comme l'année de référence. Par ailleurs nous avons utilisé le taux d'actualisation qui est fixé pour les choix publics en France à savoir 4% sur une période de 30 ans (*Rocard, 2009*). C'est également cette durée d'étude qui a été choisie car même si dans le cas de la vigne la production dure plus longtemps, l'exactitude des estimations diminue à plus long terme, surtout dans le domaine agricole où les prix peuvent fluctuer de manière sensible d'une année sur l'autre.

La somme de ces coûts et bénéfices actualisés permet notamment de calculer la Valeur Actualisée Nette (VAN) qui indique quel scénario est le plus « souhaitable » (VAN positive et la plus élevée possible) pour la période choisie.

Cette méthode est surtout utilisée par les pouvoirs publics pour déterminer la pertinence de la mise en place de politiques environnementales (*MEDAD, D4E, 2007*) mais elle peut tout aussi bien être utilisée pour comparer différentes variantes d'un projet (*Pearce et al., 2006*) à l'échelle d'une exploitation ou d'une filière.

Au final, ces résultats permettent de mettre en lumière si la mycorhization peut contribuer au développement d'une agriculture durable c'est-à-dire à des pratiques agricoles économiquement viables, plus respectueuses de l'environnement et socialement acceptables des points de vue de l'agriculteur (conditions / temps de travail, charges, ...) et de la société civile qui supporte les coûts relatifs aux externalités négatives des activités humaines (ex : coût de traitement de l'eau pollué par les fertilisants et les pesticides générées par l'agriculture).

III- PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

Il est important de noter que les informations et données utilisées ont été choisies de manière à être les plus actualisées possibles et à s'intégrer au mieux dans les limites de l'étude (culture, aire géographique, type de service, méthode d'évaluation). On admet néanmoins que ces données ne sont pas stables dans le temps (les itinéraires techniques varient d'une année sur l'autre et les données expérimentales peuvent être modifiées par de nouvelles études) et l'espace (variations des itinéraires techniques entre les régions).

III.1. Caractéristiques des services rendus par les CMA

Les services que nous avons identifiés et détaillés au 1.2.2.2. reposent sur plusieurs types de fonctions écologiques. Tout d'abord les fonctions de prélèvement des nutriments, de résistance à des facteurs environnementaux et les relations trophiques ont un impact seulement indirect pour l'homme car elles concernent les plantes. De plus, il existe un enchaînement de fonctions avant de parvenir aux services économiquement intéressant (Fig. 7).

En revanche, en ce qui concerne les fonctions de structuration du sol et de piégeage de particules¹⁷ (dans notre cas le carbone), elles sont à l'origine d'un service plus direct pour l'homme.

La symbiose en jouant sur ces fonctions permet d'améliorer certains services qui avaient fortement diminué en zone agricole.

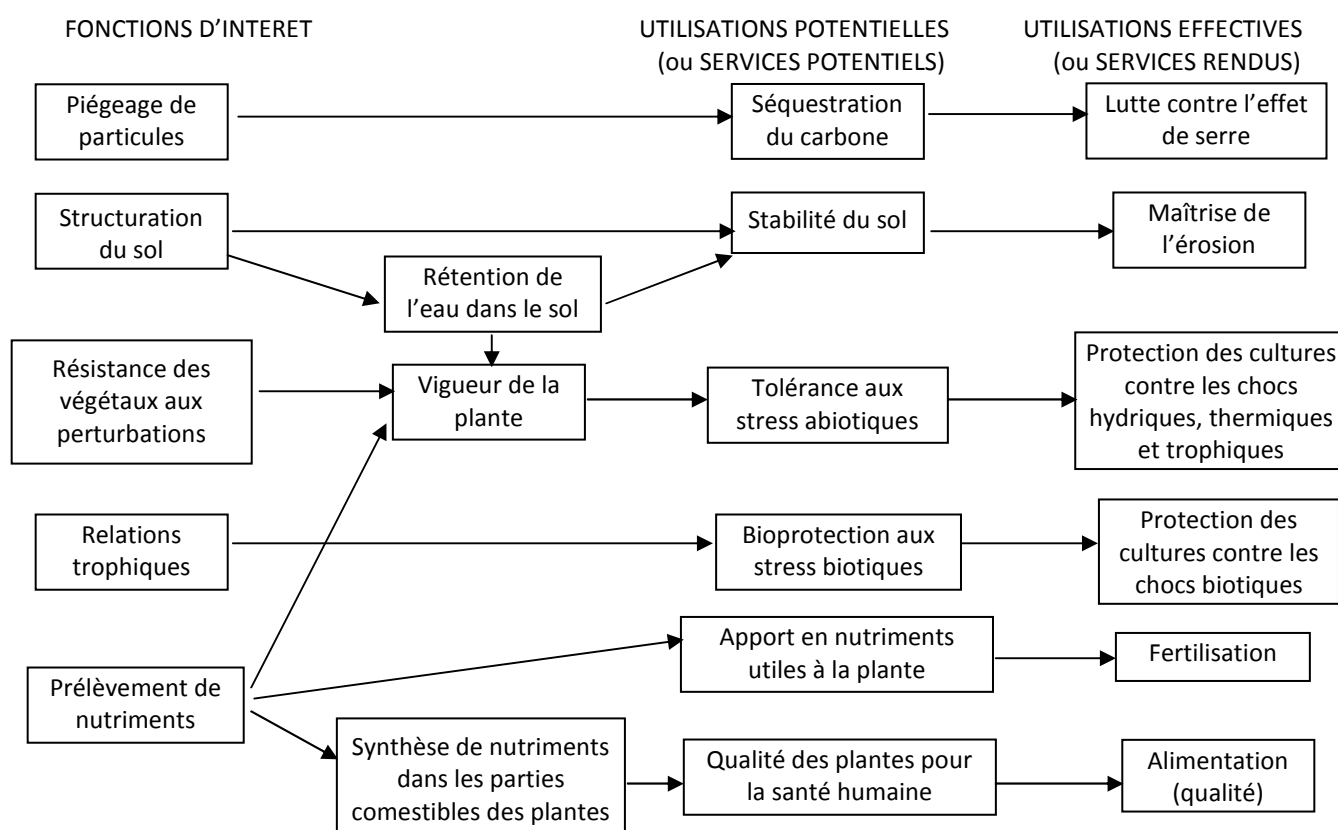


Figure 7 : Lien entre fonctions écologiques, services rendus par les CMA et leurs utilisations par l'Homme

Il est aussi à noter que ces services sont de nature différente. Certains sont considérés comme collectifs (comme la fixation du carbone) mais la plupart sont de nature mixte car ils induisent des bénéfices

¹⁷ Élément ou molécule présent(e) dans l'air ou l'eau (MEEDDM, SEEIDD, 2010)

publics et privés. En effet dans l'exemple de l'apport plus élevé en substances nutritives, ceci entraîne de manière indirecte à la fois un bénéfice pour l'environnement (moins de pollution) donc pour la société en général mais également un gain pour l'agriculteur puisque ses dépenses relatives aux intrants chimiques de synthèse peuvent diminuer.

Nous pouvons enfin nous intéresser à hiérarchiser ces services en comparant leur importance relative en fonction des critères fixés au II.3.1..

A l'échelle de l'exploitation agricole, dans le cas de la culture de l'oignon, les services d'apport en éléments nutritifs, de bioprotection contre les stress biotiques et de tolérance aux stress abiotiques seront à considérer avec plus d'attention car ils correspondent à des charges en intrants (engrais, pesticides, eau) pour l'agriculteur. Pour la vigne, en plus des deux premiers précédemment cités, le service de stabilité du sol aura un intérêt plus important pour le viticulteur, pour les mêmes raisons.

En ce qui concerne le niveau territorial, l'état de la qualité des eaux ayant une situation préoccupante en Bourgogne, les services d'apport en élément nutritif et de bioprotection contre les stress biotiques permettant respectivement de réduire l'utilisation des engrais et des pesticides, vont avoir un importance majeure. Le service de stabilité du sol va avoir plus d'intérêt en région viticole. Enfin, d'un point de vue plus global, le service de séquestration du carbone est également à prendre en compte.

III.2. Echelle de la placette

III.2.1. Itinéraires techniques moyens pour l'oignon et la vigne

L'oignon est une plante bisannuelle mais la production de bulbes peut être considérée comme une culture annuelle puisqu'elle nécessite seulement une saison culturale. Dans notre cas où l'on s'intéresse à l'oignon de jours courts, la culture s'étale sur une période allant de Mars à Août.

La fertilisation NPK est assez importante et se fait en 2 fois, voire plus pour l'azote. La majorité des éléments minéraux est néanmoins apportée en fumure de fond avant la plantation des bulbilles de 2 ans à une densité d'environ 450 000 bulbes / ha.

La protection phytosanitaire par traitements fongicides se résume pour l'essentiel à la lutte contre le mildiou qui peut causer jusqu'à 25% de perte dans la production. Le nombre de traitements est variable selon la pression en pathogènes. Des insecticides sont également appliqués pour lutter notamment contre les thrips. En outre, des herbicides sont utilisés pour limiter les adventices dans les rangs, avec une application en pré-levée puis des applications ponctuelles si nécessaire.

Enfin, l'oignon est une culture irriguée, le plus souvent par aspersion (enrouleur, irrigation non gravitaire) mais les volumes prélevés n'engendrent pas le paiement de la redevance « Prélèvement » versée à l'Agence de l'eau.

Le **Tableau 3** résume les pratiques culturales de la culture de l'oignon sur lesquelles nous nous sommes basées dans cette étude.

Tableau 3 : Pratiques culturales conventionnelles moyennes pour la culture de l'oignon en Bourgogne

Types		Données	Sources
Fertilisation	N	120 - 160 U ¹⁸ , en 2-3 apports	Entretien Val Union + Vionnet (2000)
	P	80 U, en 1-2 apport(s)	
	K	170 U, en 2 apports	
	Mg	35 U, 1 apport	
Protection phytosanitaire	Fongicides	10 applications	Entretien Val Union
	Insecticides	2 à 4 applications	
	Herbicides	2-3 applications	

¹⁸ U réfère à unité fertilisante par hectare. 1 unité correspond à 1 kg de l'élément minéral considéré par hectare.

Irrigation	4-5 tours d'eau de 30 mm soit 1200 à 1500 m ³ /ha/an	Entretien Val Union
Plantation	450 000 bulbes / ha, bulbilles de 2 ans	Dijon Céréales

La vigne est quant à elle une culture pérenne dont la durée de production peut dépasser les 50 années et même parfois plus. Sa culture a recours à une fertilisation relativement peu importante comparée aux cultures annuelles. Elle est réalisée essentiellement avant la plantation mais il peut arriver d'apporter des amendements (organiques et/ou minéraux) à une vigne déjà en place. Cette pratique dépend beaucoup de la composition du sol. De plus, l'irrigation de la vigne, en dehors de l'étape de plantation, n'est pas pratiquée en Bourgogne. La densité de plantation varie de 5000 à 9000 ceps/ha selon les vignobles et la pente des parcelles.

En revanche, la viticulture conventionnelle nécessite un nombre important de traitements phytosanitaires, pour lutter principalement contre le mildiou et l'oïdium. Les viticulteurs bourguignons réalisent en moyenne 14 traitements¹⁹ de fongicides en 8 passages. Cela peut dépasser la quinzaine dans certains vignobles (ceux de Beaune par exemple). Concernant les herbicides et les insecticides, le nombre de traitements est moins important, on peut même noter que la moitié des parcelles du vignoble bourguignon n'a pas reçu de produits insecticides en 2006 (MAAP, 2008).

Enfin, on relève un problème d'érosion hydrique des sols des parcelles viticoles. D'après Garcia et *al.*, on a ainsi observé une perte allant jusqu'à 26 tonnes de sol par hectare et par an dans le vignoble bourguignon. L'utilisation excessive de produits chimiques déstructure les sols. En effet, lorsque la couverture végétale a été supprimée par les herbicides, la terre de surface n'est plus retenue, le sol nu est alors plus sensible à l'érosion. En outre, l'utilisation des fongicides et insecticides affecte la faune du sol, qui joue un grand rôle dans la structure et la formation du sol.

Le **Tableau 4** présente un récapitulatif de l'itinéraire technique de la vigne sur lequel nous nous sommes basés pour l'évaluation économique.

Tableau 4 : Pratiques culturelles conventionnelles moyennes pour la culture de la vigne en Bourgogne

Types		Données	Sources
Fertilisation	N	28 U	MAAP, 2008
	P	43 U	
	K	52 U	
Protection phytosanitaire	Fongicides	14 traitements, 8 passages	Roby et <i>al.</i> , 2008 ; MAAP, 2008
	Insecticides	1 traitement, 1 passage	
	Herbicides	2 traitements, 2 passages	
Irrigation		aucune	Roby et <i>al.</i> , 2008
Plantation	Complantation	taux de 1 à 2 % par an	
	Densité de plantation	5000 à 9000 ceps / ha	
Perte de sol par érosion		1-26 T	Garcia et <i>al.</i> , 2007

III.2.2. Résultats expérimentaux de l'effet de la mycorhization des cultures de l'oignon et de la vigne

Plusieurs centaines d'études ont été réalisées concernant l'effet des mycorhizes sur divers paramètres de culture ou caractéristiques des plantes cultivées, dans plusieurs pays dont la France, les USA, l'Inde, la Chine ou encore l'Egypte, et sur plusieurs cultures (oignon, riz, blé, soja, pomme de terre, framboisier,...). Les chiffres utilisés ne proviennent donc pas seulement d'essais réalisés sur l'oignon et la vigne mais l'UMR PME nous a précisé que les effets sont similaires car ce sont les mêmes processus

¹⁹ Un traitement correspond à l'application d'une spécialité commerciale au cours d'un passage, qui lui peut associer plusieurs traitements. (Roby et *al.*, 2008)

qui sont en jeu. De plus on peut dire que les chiffres présentés dans le **Tableau 5** ne concernent que l'effet des mycorhizes à arbuscules car dans la majorité des études le sol utilisé pour les essais est stérilisé ou pasteurisé ce qui limite les biais liés à l'action d'autres organismes du sol.

Concernant les protocoles expérimentaux, les espèces de CMA utilisées sont souvent les mêmes que celles présentes dans les biofertilisants à base de mycorhizes ou dans les inocula (appartenant souvent au genre des *Glomus*) utilisés au champ. De plus, les conditions de culture des témoins sont aussi souvent assimilables à celles que l'on trouve au champ (variétés de plantes utilisées, fertilisation, irrigation,...).

Ce que l'on peut tout d'abord retenir des expérimentations menées est que l'inoculation de CMA permet de diminuer l'utilisation des fertilisants et des pesticides de 20 à 30 %, pour la culture de l'oignon et de la vigne, sans diminuer le rendement de ces cultures. On peut notamment réduire de moitié les doses d'azote et d'un tiers celles de phosphore.

Les mycorhizes permettent aussi de limiter l'irrigation dans le sens où les tours d'eau peuvent être plus espacées. En effet, une plante mycorhizée supporte une durée entre deux irrigations 30 à 50 % plus importante.

En augmentant la vigueur de la plante ainsi que sa biomasse (aérienne et racinaire), la mycorhization des cultures permet une fixation de carbone supplémentaire estimée à 3,7 T/ha.

Même si les résultats sont comparables pour la plupart des paramètres étudiés, il y a toutefois quelques différences entre la culture de l'oignon et celle de la vigne.

En effet, pour le service d'amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine, on observe, dans le bulbe d'oignon, une augmentation de la teneur en certaines molécules « positives » pour la santé telles que des composés soufrés non synthétisés par l'Homme (isoalliine, acide aminé soufré) et qui jouent un rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires et de certains cancers digestifs (Arnault *et al.*, 2005). Certaines molécules antioxydantes voient aussi leur concentration augmenter.

Pour la vigne on note que la teneur en certaines molécules (caroténoïdes, composés phénolés) est plus élevée, cependant, les résultats recueillis concernent seulement les feuilles et non la partie utilisée à savoir la grappe.

Grâce aux CMA la stabilité du sol est améliorée ce qui implique moins de perte de sol notamment par érosion hydrique. Cela nous intéresse pour la vigne car les régions viticoles sont touchées par ce phénomène. Un travail de recherche mené par Wu *et al.* (2007) se sont attachés à mesurer le lien entre l'inoculation de CMA dans le sol et la stabilité de celui-ci au travers de la proportion de macroaggrégats. Ils montrent que la mycorhization permet une augmentation de 26 à 33 % de cette proportion. C'est pourquoi, dans notre étude, afin de donner un ordre d'idée de la valeur monétaire de ce service nous avons émis l'hypothèse d'une diminution de 30 % du phénomène d'érosion hydrique.

Tableau 5 : Effet de la mycorhization sur les cultures

Services rendus par l'endomycorhize à arbuscules	Paramètres mesurés	Vigne	Oignon	Sources
Meilleur apport en éléments nutritifs	Diminution de la fertilisation	Totale : 20-30 %		Amaranthus, 2000 Carpio <i>et al.</i> , 2005 TERI ²⁰ , UMR PME
		N : 50 %		
		P : 30 %		
Bioprotection contre les stress biotiques	Diminution de l'utilisation des pesticides	20 à 30 %		Amaranthus, 2000
Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques	Diminution de l'irrigation	30 à 50 %		Abo-Ghalia and Khalafallah, 2008 Subramanian <i>et al.</i> , 2005

²⁰ TERI : The Energy and Resources Institute (ONG indienne)

Fixation de carbone	Piégeage de carbone supplémentaire	10 % soit 3,7 TCO ₂ /ha		Malajczuk, 2009
Amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine	Augmentation de la teneur en minéraux et en métabolites secondaires	Caroténoides : 31 % Composés phénolés : 106 %	Quercétine : 52 % Antioxydant : 36 % Isoalliine : 48 % Méthyl cystéine sulfoxide : 106 %	Gianinazzi et <i>al.</i> , 2010
Augmentation de la stabilité du sol	Diminution de la perte de terre et de nutriments	Hypothèse de 30 %	non concerné par ce service	Wu et <i>al.</i> , 2007

III.3. Evaluation économique au niveau de l'exploitation agricole

III.3.1. Services pris en compte et estimation

Pour l'estimation monétaire des services, les données nécessaires aux calculs étaient exprimées à l'hectare. Pour se placer à l'échelle de l'exploitation agricole, nous avons ainsi multiplié ces données par la surface moyenne d'une exploitation agricole spécialisée en oignon ou en vigne dans les zones prises en compte au II.2.2.3. à savoir **7,6 ha** pour la culture d'**oignon** et **10,3 ha** pour la **vigne**.

III.3.1.1. Pour la culture d'oignon

- Meilleur apport en éléments nutritifs

Comme cela est présenté précédemment, l'utilisation des CMA dans les cultures permet une diminution globale de 20 à 30% de l'utilisation des fertilisants. Avec une charge initiale en produits entre 490 et 602 €/ha/an, l'économie permise par ce service est de 745 à 1231 €/an pour un producteur d'oignon.

En affinant les calculs et en tenant compte d'une réduction de 50% de l'azote, 30% du phosphore et 20 à 30 % des autres fertilisants et amendements on évite une dépense de **1163 à 1535 €/an** à l'échelle de l'exploitation (détails des calculs en [Annexe 5](#)). Ce sont ces dernières valeurs que nous retiendront pour la suite de l'analyse économique.

- Bioprotection contre les stress biotiques

Les produits phytosanitaires représentent aussi une charge importante dans le fonctionnement de l'exploitation, environ 600 €/ha/an. Comme ils peuvent également être diminués de 20 à 30%, cela réduit alors le coût d'un montant de **919 à 1 377 €/an** pour un exploitant d'oignon en Val de Saône (détails des calculs en [Annexe 5](#)).

- Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques

Le principal stress abiotique qui peut affecter les cultures d'oignon en Val de Saône, est la sécheresse. Il n'y a pas de problème de salinité, de teneur élevée en métaux ou de carence en minéraux dans notre zone d'étude. Ce service est donc estimé au travers du poste irrigation de l'exploitation. D'après un technicien de la coopérative Val Union les producteurs prélèvent l'eau d'irrigation via des forages privés.

En France, tout préleveur d'eau est soumis à une « redevance prélèvement », versée aux Agences de l'eau. Son montant dépend :

- de la quantité d'eau prélevée

- d'un taux qui change en fonction de la zone de prélèvement, du type d'eau prélevée (superficielle ou souterraine) et de l'usage de l'eau (potable, industrie, irrigation gravitaire ou non, gestion concertée ou non)²¹.

La zone de production d'oignon que nous avons choisi d'étudier se trouve en Zone de Répartition des Eaux (ZRE), cette redevance est alors demandée à partir de 7000 m³ d'eau prélevée par an. C'est le cas des exploitants de notre échantillon qui ont besoin entre 9120 et 12 160 m³ d'eau pour l'irrigation de leurs cultures d'oignon.

En mycorhizant les cultures, une partie des agriculteurs auraient des besoins inférieurs à 7000 m³ et n'auraient donc plus à payer la redevance, l'autre partie paierait une redevance moins élevée. L'économie réalisée serait alors comprise entre **27 et 90 €/an** (détails des calculs en **Annexe 5**).

- Fixation de carbone

La valeur du carbone retenue dans le rapport Quinet est de 32€ la tonne de CO₂ en 2010. Le rapport préconise également que cette valeur atteigne 56€/T en 2020 et 100€/T en 2030, ce qui revient à une progression d'un peu moins de 6% par an (hors inflation). Le rapport Rocard publié en 2009 et visant à instituer une taxe carbone en France a confirmé ces préconisations. On peut cependant noter que la récente crise financière a fait chuter les cours du carbone. En effet, cette année la tonne de carbone vaut près de 13€ sur le marché spot alors qu'elle atteignait entre 20 et 25 € avant la crise.

Ainsi, en considérant une fixation de 28T [3,7x7,6] de CO₂ supplémentaire grâce à la mycorhization de la SAU moyenne d'une exploitation d'oignon en Bourgogne, la valeur monétaire de ce service peut être estimée à **896 €** pour l'année 2010. De plus, en tenant compte de l'augmentation de la valeur du carbone, l'évaluation économique du service s'élève à 1575 € en 2020 et 2812 € en 2030 (détails des calculs en **Annexe 5**).

- Augmentation de la stabilité du sol

Pour l'oignon ce service n'a pas été évalué dans la mesure où les terrains situés dans la zone d'étude choisie sont plats et peu touchés par des problèmes d'érosion (**Annexe 6**).

III.3.1.2. Pour la vigne

- Meilleur apport en éléments nutritifs

De la même manière que pour l'oignon on estime ce service, pour une exploitation viticole, entre 274 à 411 €/an et se basant sur une diminution de 20 à 30 % des produits fertilisants avec des charges en conventionnelles pour ces produits de 1780 €. En tenant compte d'une réduction de 50% de l'azote, 30% du phosphore et 20 à 30 % des autres fertilisants et amendements, des calculs plus précis nous amènent à une fourchette comprise entre **452 à 511 €/an** (détails des calculs en **Annexe 7**).

L'intervalle de valeurs et le montant sont moins importants que pour l'oignon car les données récoltées concernant les pratiques sont plus homogènes et la fertilisation beaucoup plus faible pour la vigne.

- Bioprotection contre les stress biotiques

En suivant le même raisonnement que pour la culture de l'oignon, ce service est estimé entre **1 832 à 3 645 €/an** pour un viticulteur bourguignon (détails des calculs en **Annexe 7**).

La différence entre les 2 cultures provient du fait que les quantités des pesticides utilisées sont beaucoup plus importantes pour la vigne ce qui représente des sommes non négligeables.

- Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques

Pour la vigne ce service n'a pas été estimé. En effet cette culture n'est pas irriguée dans la zone d'étude, il est donc difficile d'évaluer économiquement la meilleure tolérance au manque d'eau / à la sécheresse qui pourrait être le principal stress abiotique pour cette culture dans la région. De plus,

²¹ Source Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse : <http://www.eaurmc.fr/aides-et-redevances/redevances-et-primes/prelevement-deau.html>

certains vignerons sont attachés à ce que ce stress existe car il constitue, selon eux, un facteur favorable à la qualité du vin.

- Fixation du carbone

En utilisant les mêmes valeurs du carbone que pour la culture d'oignon mais en considérant une fixation de 38T [3,7x10,3] de CO₂ à l'échelle d'une exploitation viticole bourguignonne, on estime ce service de piégeage supplémentaire de carbone à **1220 €** pour 2010 (détails des calculs en [Annexe 7](#)). Par ailleurs, en 2020, la valeur de ce service serait de 2134 €. En 2030, il s'élèverait à 3811 €.

- Augmentation de la stabilité du sol

Pour la vigne, ce service permettrait de limiter le phénomène d'érosion hydrique des sols. Des mesures sont mises en place par les viticulteurs pour lutter contre cela (travaux, remontée de terre,...). Peu d'étude se sont attachées à chiffrer économiquement l'érosion, cependant une étude estime le coût de l'érosion pour l'exploitant à 600€/ha/an (*source Léonard, 2003*).

En considérant l'hypothèse d'une diminution 30 % de la perte de terre en cas d'érosion hydrique grâce à la présence des CMA, ce service peut être évalué à **1854 €/an** à l'échelle de l'exploitation agricole (détails des calculs en [Annexe 7](#)).

L'estimation a été réalisée sur un aspect physique (perte de terre) mais un aspect biologique (perte de nutriments, d'organismes) existe aussi. Cependant pour quantifier ce deuxième aspect, une analyse de terre est nécessaire et on ne sait pas dans quelle mesure il interagit et/ou est compensé par d'autres services (en particulier celui de meilleur apport en éléments nutritifs).

III.3.1.3. Bilan de la monétarisation des services

Les différents services écosystémiques fournis par les CMA que nous avons évalués peuvent être estimés, à l'échelle d'une exploitation moyenne, et en appliquant la méthodologie que nous avons proposée, entre 2 591 et 3 948 € pour la culture d'oignon et entre 5 180 et 7 230 € pour la vigne pour l'année 2010 ([Tab. 6](#)).

Tableau 6 : Récapitulatif de la valeur économique des services rendus par les CMA, à l'échelle d'une exploitation agricole, pour la culture de l'oignon et de la vigne en Bourgogne

Services rendus par l'endomycorhize à arbuscules	Oignon	Vigne
Meilleur apport en éléments nutritifs	745 à 1581 €	274 à 511 €
Bioprotection contre les stress biotiques	919 à 1 377 €	1 832 à 3 645 €
Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques	27 à 90 €	Non évalué
Fixation de carbone	900 €	1 220 €
Augmentation de la stabilité du sol	Non évalué	1 854 €
Amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine	Non évalué	
Total	2 591 à 3 948 € (341 à 519 €/ha)	5 180 à 7 230 € (503 à 702 €/ha)

La valeur totale des services peut être replacée par rapport aux situations économiques des types d'exploitations étudiées (maraîchères et viticoles) ([Annexe 8](#)). Ainsi, nous pouvons dire que, pour l'oignon, cette valeur correspond à la production brute d'un peu plus d'un hectare mais au montant des charges opérationnelles d'à peine un hectare. Pour la vigne, elle correspond au tiers du montant de la production brute d'un hectare mais aux charges opérationnelles de 2 à 3 ha.

A l'échelle d'une exploitation, les services rendus par les CMA paraissent donc avoir un impact économique plus important dans le cas de la vigne car leurs bénéfices sont de l'ordre du double de ceux obtenus pour la culture de l'oignon.

Plus précisément, nous remarquons que le service de bioprotection contre les stress biotiques peut représenter jusqu'à 50% du montant total des services pour la vigne. Cette tendance est confirmée par les résultats de la Commission européenne (2008) qui montre que ce service représente la 4^{ème} activité économique de la biodiversité du sol en terme de valeur.

Pour l'oignon, en revanche ce service est du même ordre de grandeur que celui de meilleur apport en éléments nutritifs.

Concernant la fixation du carbone, l'estimation économique du service est du même ordre de grandeur que d'autres services. Ce service revêt un enjeu global car si la mycorhization venait à se développer dans les cultures, les quantités de carbone piégées deviendraient alors non négligeable et présenteraient un avantage collectif.

Enfin, comme nous l'avons déjà mentionné au II.3.2.2., le service d'amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine n'a pas été estimé. Son calcul permettrait d'approcher la valeur d'usage totale des services fournis par les CMA.

III.3.2. Analyse des résultats à l'aide d'une Analyse Coûts-Bénéfices (ACB)

III.3.2.1. Cadre de l'ACB

A l'échelle d'une exploitation agricole « standard », l'ACB réalisée a consisté en la comparaison de 2 scénarios : - un scénario de référence, de « non action » qui prend en compte un mode de conduite conventionnel des cultures (niveau moyen des pratiques actuelles)

- un scénario où l'on inocule les cultures avec des CMA associé aux changements de pratiques que permet la mycorhization (détaillés au III.2.2.).

Pour l'oignon l'inoculation se passe au moment de la plantation des bulbilles, sous la forme de spores. Pour la vigne on considère que tous les pieds repiqués annuels sont mycorhizés.

III.3.2.2. Listes des coûts et bénéfices à l'échelle de l'exploitation agricole

A ce niveau, nous avons décidé de prendre en compte les coûts et bénéfices pour l'exploitant et non pas ceux engendrés sur l'ensemble de la filière (fournisseurs d'intrants, coopératives, consommateurs,...).

- Coûts de la mycorhization

Pour l'**oignon**, on se base sur un coût initial de 70 €/ha ce qui représente un coût de **532 €/an** [70 x 7,6] pour l'ensemble de la SAU d'une exploitation moyenne. De plus, ces coûts reviennent tous les ans puisque c'est une culture annuelle. Par ailleurs, il faut sûrement ajouter au coût d'achat de l'inoculum celui de matériel adapté à l'application des mycorhizes dans la parcelle cultivée et du temps supplémentaire consacré à cette application. En effet, certaines entreprises commercialisant des inoculum prétendent que l'on peut utiliser des semoirs traditionnels pour les appliquer au champ. Selon des chercheurs de l'UMR PME, cette technique n'apparaît pas très pertinente et le développement de matériel plus adapté est nécessaire.

Par ailleurs, selon l'UMR PME, certaines pratiques agricoles permettent de maintenir le potentiel mycorhizogène du sol telles que diminution du labour et la présence quasi-permanente d'un couvert végétal. Celles-ci permettraient ainsi de diminuer la quantité d'inoculum et donc son coût d'achat.

Pour la **vigne**, le surcoût pour l'achat d'un pied mycorhizé s'élève à 0,25€ par plant. Pour une densité comprise entre 5000 et 9000 ceps/ha et un taux de complantation de 1 à 2 % par an on peut estimer le

coût supplémentaire pour l'achat des ceps mycorhizés entre 129 €/an [0,25 x 5000 x 0,01 x 10,3] et 464 €/an [0,25 x 9000 x 0,02 x 10,3] à l'échelle d'une exploitation viticole bourguignonne.

Cependant comme plus de racines sont conservées pour la plantation qu'un pied normal, le trou doit être plus important. En l'absence d'un équipement adapté, cette étape nécessite donc environ le double le temps de travail par rapport à une plantation normal. Le surcoût de main d'œuvre s'élève de 670 [13x5x 10,3] à 2410 €/an en se basant sur un coût horaire de main d'œuvre de 13€ à raison de 5h/ha supplémentaire par rapport à une plantation classique (Roby et al., 2008).

Au total on atteint donc un surcoût compris entre **800 et 2 874 €/an** dans le cas où le viticulteur mycorhize tous ses repiquages et plante manuellement.

- Bénéfices liés à la mycorhization

Les avantages procurés par la mycorhization et les changements de pratiques associés sont estimés par les coûts évités de la non-action. On va ainsi prendre en compte l'estimation de tous les services précédemment évalués à l'exception de la fixation du carbone qui ne représente pas un gain direct pour l'agriculteur. Par ailleurs, dans le cas de la vigne, la plus grande vigueur des plants, procurée par l'interaction de plusieurs services, permet de réduire les pertes à la plantation de 14 à 2 % (Camprubi et al., 2008). Cela représente un bénéfice compris entre et € (Annexe 9).

Ainsi, on obtient une valeur de la somme des bénéfices actualisés comprise entre **1 691 et 3 048 €** pour la culture d'oignon et entre **4 022 et 6 237 €** pour la vigne (Tab. 7).

Tableau 7 : Bénéfices des services rendus par les CMA à l'échelle de l'exploitation agricole pour 2010

Bénéfices (en €) / Cultures	Fertilisation	Traitements phytosanitaires	Irrigation	Diminution de l'érosion	Diminution des pertes à la plantation	Somme des bénéfices
Oignon	745 à 1 581	919 à 1 377	27 à 90	-	-	1 691 à 3 048 (223 à 401 €/ha)
Vigne	274 à 511	1 832 à 3 645	-	1854	62 à 227	4 022 à 6 237 (390 à 606 €/ha)

Les résultats dépendent de plusieurs paramètres mais la réduction des fertilisants et des pesticides prend une place très importante. En effet, ces facteurs représentent à eux deux plus de 95% des bénéfices pour l'oignon et jusqu'à près de 70% pour la vigne. Pour l'oignon, l'ordre de grandeur est le même pour les deux facteurs. En revanche, pour la vigne, la seule réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires contribue jusqu'à hauteur de 60% des bénéfices.

On pourrait ainsi généraliser en disant que la mycorhization apporte plus d'avantages aux cultures qui nécessitent des quantités importantes d'intrants chimiques. Cet aspect peut-être combiné avec l'effet milieu de culture puisque plus la pression biotique et abiotique est forte, plus les effets de la mycorhization se font sentir et donc plus les bénéfices peuvent être importants.

Par ailleurs, que ce soit pour la culture d'oignon ou de la vigne, la diminution de l'utilisation de pesticides, réduit le risque de dégradation de la santé des agriculteurs, ce qui pourrait être traduit sous la forme d'un bénéfice lors d'une ACB. Dans ce cas-là, il faudrait, au préalable de l'évaluation économique, réaliser une analyse dose-réponse qui permettrait de savoir dans quelle mesure la santé des personnes qui manipulent ces produits est modifiée par ces changements de pratiques.

III.3.2.3. Bilan de l'ACB à l'échelle de l'exploitation agricole

La Valeur Actualisée Nette (VAN) d'un scénario de mycorhization à l'échelle d'une exploitation agricole revient entre 20 843 et 44 420 € pour la culture d'oignon et entre 20 645 et 97 777 € pour la vigne (Tab. 8). Etant donné que l'on considère qu'un projet peut être approuvé quand la VAN est positive, on peut dire que le fait de mycorhizer les cultures et d'adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement est intéressant économiquement pour ces deux cultures.

Tableau 8 : Bilan de l'ACB à l'échelle de l'exploitation agricole

	Somme des coûts actualisés	Somme des bénéfices actualisés	VAN	Ratio coûts/bénéfices
Oignon	9567 €	30 410 à 53 987 €	20 843 à 44 420 €	18 à 31 %
Vigne	14 387 à 51 685 €	72 331 à 112 164 €	20 645 à 97 777 €	20 à 46 %

Dans le cas de la culture de l'oignon, la VAN est positive et représente le montant moyen des charges opérationnelles pour plus ou moins un an à l'échelle d'une exploitation maraîchère (**Annexe 8**).

Pour la vigne, le scénario est peut être plus intéressant dans la mesure où le montant de la VAN correspond au maximum au montant moyen des charges opérationnelles pour plus de 3 ans. En tenant compte des variations de conditions de culture, la VAN de la vigne peut ainsi être jusqu'à plus de 4 fois supérieure à celle de l'oignon. Cela s'explique par des bénéfices plus importants pour la vigne, essentiellement en terme de réduction de coûts liés aux pesticides (**Tab.7**).

Cependant la VAN minimale de la vigne représente quasiment le même montant que la VAN minimale de l'oignon. Cet écart important est dû à la grande variabilité des coûts de mycorhization pour la vigne qui dépendent fortement du pourcentage de repiquage et de la densité de plantation (5000 ceps/ha en Côte Chalonnaise et jusqu'à 9000 ceps/ha en Côtes de Beaune et Côtes de Nuit).

Le rapport coûts/bénéfices est plus élevé pour la vigne que pour l'oignon : de 20 à 46 % pour vigne contre 18 à 31 % pour oignon. Cependant comme nous l'avons fait remarquer précédemment, les coûts pour la culture de l'oignon sont sous-estimés. En effet le coût de matériel/main d'œuvre supplémentaire n'a pas été pris en compte comme pour la vigne par l'absence de données existantes. Le ratio est donc surement plus élevé pour la culture de l'oignon. Dans tous les cas, nous observons néanmoins que le montant des coûts ne dépasse jamais la moitié des bénéfices engendrés par la mycorhization des cultures.

III.4. Evaluation économique au niveau du territoire

III.4.1. Services pris en compte et estimation

Pour l'évaluation des services rendus par les CMA à cette échelle, nous avons considéré que l'ensemble des exploitations de la zone d'étude pour l'oignon et pour la vigne (présentées au II.2.2.) changeaient leurs pratiques culturales à la suite de la mycorhization de l'ensemble de leur SAU. Ainsi, les données à l'hectare ont été multipliées par les surfaces de production d'oignon et de vigne dans ces deux zones de production à savoir **400 ha** pour l'oignon et **13 570 ha** pour la vigne.

III.4.1.1. Dans la zone de production de l'oignon

- Meilleur apport en éléments nutritifs

Dans certains cantons de la zone d'étude pour l'oignon, l'eau est à la limite, voire dépasse le seuil de potabilité de 50mg de nitrates par litre d'eau (**Annexe 10**). Des actions de traitement de l'eau pour sa potabilisation sont donc réalisées. D'après l'Agence de l'eau Adour-Garonne (2003) le surcoût pour les usagers domestiques dû aux dépenses liées à ce traitement est de 0,30 €/m³ d'eau potable facturé.

La diminution de la quantité de fertilisants utilisés associée à la mycorhization de la culture de l'oignon devrait permettre une diminution de la pollution diffuse (en particulier par les nitrates) liée à l'épandage d'engrais sur de grandes surfaces. L'effet devrait être à la fois localisé au niveau des eaux superficielle (ex. les cours d'eau) et souterraines (nappes phréatiques) de la zone de production mais aussi délocalisé en aval du bassin versant.

Afin d'évaluer économiquement ces services il faudrait connaître la quantité d'eau concernée par les traitements et surtout l'importance de la diminution de l'utilisation des fertilisants par les producteurs d'oignon sur la teneur en nitrates des eaux distribuées dans la zone d'étude.

- Bioprotection contre les stress biotiques

Dans la zone d'étude choisie pour la culture de l'oignon, la totalité des points de contrôle étaient conformes concernant la teneur en pesticides de l'eau distribuée en 2008 (**Annexe 11**). La réduction de l'utilisation de ces produits par les producteurs d'oignon de la zone, ne pourra que renforcer cette conformité, sous réserve que les autres agriculteurs, ceux présents dans la zone d'étude de l'oignon mais également ceux situés en amont du bassin versant, n'augmentent pas leur utilisation de pesticides.

- Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques

La diminution de la consommation d'eau pour l'irrigation de 30 à 50% va avoir un effet plus localisé que les deux services précédents. En effet, l'impact concernerait, cette fois-ci, l'aspect quantitatif des masses d'eau, en particulier le niveau de la nappe phréatique dans laquelle pompe la majorité des producteurs d'oignon de la zone d'étude. Il s'agit de la nappe de la Tille, dont la situation est plutôt bonne puisque son niveau est normal et a tendance à être stable²².

A l'échelle du territoire de production de l'oignon en Côte d'Or, ce service rendu par les CMA ne serait donc pas celui qui aurait le plus d'intérêt pour la collectivité, en considérant que la consommation de l'eau de cette nappe par les autres utilisateurs de cette zone n'augmente pas sensiblement.

- Fixation du carbone

En conservant la valeur de 3,7 T/ha de CO₂ supplémentaire piégé dans le cas où l'on mycorhize les cultures, et une valeur de 32 € la tonne de CO₂ (valeurs utilisées au III.3.1.1.), l'estimation de ce service s'élève à **47 360 €** [3,7x400x32] pour la zone d'étude de l'oignon en 2010. Par ailleurs, la valeur de ce service serait de 148 000 € en 2030.

- Augmentation de la stabilité du sol

Pour les mêmes raisons que celles évoquées au III.3.1.1. ce service n'aurait pas à être évalué pour la culture d'oignon à l'échelle du territoire.

III.4.1.2. Dans la zone de vignoble

- Meilleur apport en éléments nutritifs

Dans les cantons de Côte d'Or de la zone d'étude de la vigne, la pollution de l'eau par les nitrates est modérée à moyenne (entre 10 et 40 mg/L) voire même nulle par endroit (**Annexe 10**). Dans ce cas, ce service a donc un peu moins d'importance que pour l'oignon. Sa monétarisation pourrait suivre le même raisonnement que celle proposée pour la zone de production de l'oignon. Ainsi les informations nécessaires seront de la même nature. Nous pouvons néanmoins remarquer que la valeur absolue de ce service sera probablement plus élevée que celle obtenue pour l'oignon car la zone d'étude est beaucoup plus étendue mais elle devrait être relativement moins importante du fait que la pollution est moindre.

- Bioprotection contre les stress biotiques

La pression des pesticides est très forte dans le vignoble bourguignon. En effet, entre Dijon et le Sud de Beaune, moins de 90% des points de contrôle de la qualité de l'eau sont conformes sur cette partie de

²² DIREN Bourgogne :

http://www.bourgogne.ecologie.gouv.fr/plugins/fckeditor/UserFiles/Carte_situation_nappes_Bourgogne_septembre_2009.pdf

vignoble (**Annexe 10**). Dans ces cas, la concentration maximale admissible de la teneur en produits phytosanitaires dans l'eau potable de 0,1 µg /L est dépassée²³.

La diminution de la quantité de pesticides utilisés dans les vignes de la zone d'étude permise par l'inoculation de CMA devrait entraîner une diminution de la pollution diffuse des eaux, de surface ou souterraines, par ces produits. Cet effet devrait être, de la même manière que précédemment, localisé et délocalisé.

L'évaluation économique de ce service pourrait se faire sur le même principe que celui de meilleur apport en éléments nutritifs dans la zone de production de l'oignon. Le surcoût de l'eau potable, pour les usagers domestiques, lié à la teneur trop élevée en pesticides dans l'eau, est différent de celui dû aux nitrates puisque l'Agence de l'eau Adour-Garonne (2003) l'estime à 0,0675 €/m³ d'eau potable facturé. Les volumes d'eau concernés par les traitements seront également différents puisque la zone considérée n'est pas la même.

- Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques

Pour les mêmes raisons que celles évoquées au III.3.1.1. ce service n'aurait pas à être évalué pour la culture de la vigne à l'échelle du territoire.

- Fixation du carbone

De la même manière que précédemment on obtient une valeur de **1 606 688 €** [3,7 x13570x32] pour l'année 2010 à l'échelle de la zone de vignoble retenue. En outre, ce service peut être estimé à 5 020 900 € en 2030.

- Augmentation de la stabilité du sol

D'un point de vue territorial, ce service permet de limiter le phénomène d'érosion hydrique et ses conséquences (exemple des coulées de boues) ainsi qu'une diminution des particules en suspension dans l'eau. L'effet est donc plutôt localisé.

En considérant un coût de l'érosion hydrique pour les collectivités de 115€/ha/an (*source Léonard, 2003*) et en posant l'hypothèse d'une diminution du phénomène d'érosion hydrique de 30% grâce à la mycorhization des vignes, l'estimation de ce service s'élève à 35€/ha soit **468 165 €** pour 2010 à l'échelle de la zone d'étude.

III.4.1.3. Bilan

D'après une première réflexion sur les services rendus par les CMA, à l'échelle des territoires de production en oignon et en vigne retenus, il apparaît que l'estimation des services qui pourrait intéresser le plus les collectivités sont :

- pour l'oignon, celle du service d'apport en éléments nutritifs car les masses d'eau de la zone d'étude sont sujettes à des problèmes de qualité liés à la présence de nitrates. Son évaluation économique reste à réaliser.

- pour la vigne, majoritairement celle du service de bioprotection contre les stress biotiques car en permettant une réduction de l'utilisation des pesticides, il pourrait avoir une influence positive sur la qualité des eaux de la zone de vignoble étudiée.

Le service de l'augmentation de la stabilité du sol n'est pas à négliger non plus, dans la mesure où les phénomènes d'érosion hydrique peuvent générer des dégâts importants (ex. coulées de boues) et donc des dépenses non négligeables pour la collectivité.

- pour les 2 cultures, celle du service de fixation du carbone. L'importance est à la fois environnementale dans le cadre global de la lutte contre l'effet de serre et économique comme nous l'avons montré.

²³ Cemagref : <http://www.cemagref.fr/Informations/Presse/Dossthem/pesticides/index.htm>.

III.4.2. Pistes de réflexion pour une ACB à l'échelle des deux zones d'étude retenues

III.4.2.1. Cadre possible de l'ACB

On peut envisager deux scénarios qui se baseraient sur le même principe que ceux retenus pour l'échelle de l'exploitation agricole :

- un scénario de non-action où l'on considère la situation actuelle, dans les 2 aires, comme référence
- un scénario où l'on mycorhize l'ensemble des surfaces de production en oignon et en vigne dans les 2 zones d'étude avec les mêmes conditions qu'au III.3.2.1. c'est-à-dire une inoculation annuelle des bulbes pour les oignons et de tous les repiquages pour la vigne.

On peut conserver le même taux d'actualisation que précédemment à savoir 4% sur une période de 30 ans, ainsi que la même année de référence, 2010. Nous sommes néanmoins conscients que les changements et actions à prévoir ne pourront pas tous s'effectuer cette année-là au vu de l'aire concernée et que tous les viticulteurs ne sont pas forcément intéressés par cette pratique. Il pourrait ainsi être envisageable de réaliser une enquête auprès d'eux afin d'estimer le nombre potentiel d'exploitation concerné puis d'établir un échéancier, qui définirait, par exemple, un nombre moyen annuel d'exploitations qui se mettraient à mycorhizer leurs plantations.

III.4.2.2. Proposition d'une listes de coûts et bénéfices

On se place au niveau d'un territoire de production, les coûts et bénéfices à considérer pour réaliser l'ACB doivent donc concerner la collectivité.

- Coûts envisagés

Puisque les coûts de la mycorhization en eux-mêmes sont supportés par l'agriculteur (cf. III.3.2.2.), nous n'aurions pas à les prendre en compte pour l'ACB. En revanche, si l'on envisage la mycorhization des cultures à l'échelle d'un territoire de production il se peut que sa mise en place soit encadrée par des collectivités. Il existe alors dans ce cas ce que l'on appelle des coûts de transaction. Ils sont de 3 types : coûts de recherche de l'information, coûts de négociation et de décision et coûts de surveillance et d'application.

Dans notre cas il pourrait s'agir, par exemple, des coûts nécessaires à la réalisation d'enquêtes pour connaître les agriculteurs intéressés, des coûts nécessaires à l'organisation de réunions avec ces producteurs afin de leur présenter cette pratique, ... L'évaluation à l'échelle de l'exploitation agricole pourrait d'ailleurs servir de support et inciter les agriculteurs à mycorhizer leurs cultures.

- Bénéfices envisagés

Pour l'oignon il s'agirait essentiellement de bénéfices permis par l'amélioration de la qualité de l'eau c'est à dire la diminution des dépenses de la collectivité (usagers, usine de traitement de l'eau, communes) liées à la pollution par les nitrates.

Pour la vigne, les bénéfices seraient du même type que précédemment mais liées aux pesticides. La collectivité dépenserait également moins dans le cas d'une mycorhization des vignes de la zone d'étude, grâce au service de stabilité du sol, qui limiterait les conséquences des phénomènes d'érosion hydrique.

Enfin, nous pouvons mentionner que, contrairement à l'échelle de l'exploitation agricole où les bénéfices et coûts étaient considérés fixes tous les ans (hors actualisation), les bénéfices pourraient augmenter les premières années en envisageant que le nombre d'exploitations mycorhizant leurs cultures augmente d'une année sur l'autre, et que les effets sur l'environnement soient progressifs.

IV – DISCUSSION

IV.1. Biais et limites de l'étude

- Objets de l'étude

Nous nous sommes intéressés dans ce travail à une fraction de la biodiversité microbienne du sol, les champignons mycorrhizogènes à arbuscules ainsi qu'à l'évaluation économique des différents services écologiques qu'ils fournissent en agriculture. Cependant certains des services présentés ne sont pas seulement rendus par ce cortège d'espèces mais résultent d'interactions avec différents organismes du sol tels que les vers de terre ou les bactéries. L'évaluation économique réalisée dans cette étude estime donc une partie de la valeur monétaire que l'on peut accorder aux services écosystémiques (valeur d'usage indirect) rendus par la biodiversité du sol.

En effet, il existe dans le sol d'autres types de symbioses mutualistes faisant intervenir les racines des plantes, qui permettent de fournir le service de « meilleur apport en éléments nutritifs ». Dans l'exemple des rhizobiums ce sont des bactéries qui s'associent aux racines des plantes de la famille des Légumineuses (Fabacées, entre 16 000 et 19 000 espèces végétales connues). Elles ont un rôle très important au niveau de l'alimentation azotée de ces plantes grâce à la formation de nodules sur les racines.

En ce qui concerne la structure du sol, elle est affectée par d'autres organismes que les champignons mycorrhizogènes, en particulier la macrofaune et la mésofaune (mammifères, vers de terre, arthropodes,...).

Par ailleurs, comme nous l'avons vu tout au long de l'étude, nous nous sommes basés sur la culture de l'oignon et de la vigne. Le but était, entre autres, de montrer et d'analyser les différences des résultats de l'évaluation monétaire, entre les cultures annuelles et les cultures pérennes, lors d'une mycorrhization de celles-ci. On admet cependant que, du fait des différences entre les itinéraires culturaux et entre les zones de production, les catégories « culture annuelle » et « culture pérenne » ne sont pas forcément homogènes. Pour ces raisons, les résultats chiffrés doivent être nuancés et pris plus comme une indication que comme une valeur absolue.

- Retour sur l'évaluation économique et son analyse

Selon le rapport du CAS, l'analyse économique est pertinente pour étudier la biodiversité et ses services pour deux raisons principales : elle est source de valeur pour la société humaine et celle-ci, à travers ses actes et ses décisions a un impact sur cette biodiversité (*Chevassus-au-Louis et al., 2009*). Cependant la monétarisation des services écosystémiques possède des faiblesses sur plusieurs points :

- l'estimation économique a été réalisée en recréant un prix de marché. Or, fondamentalement, les services écosystémiques n'en ont pas puisqu'aucun droit de propriété ne leur est attribué. On peut donc se demander si le fait de monétariser ces actifs naturels est pertinent. Certains experts disent que c'est utile dans le cas de projets de conservation de services écosystémiques mais pas pour estimer monétairement un actif environnemental qui possède une valeur non anthropocentrée (*Morse-Jones et al., 2010*).

- l'argent n'est pas une unité stable que ce soit dans le temps (un euro aujourd'hui n'a pas la même valeur qu'il y a 5 ans), dans l'espace (les pays n'ont pas les mêmes niveaux de vie et mêmes parfois les régions au sein d'un même pays) et dans la société (chacun ne se fait pas la même idée de l'argent). Cela concerne les données initiales comme les résultats de l'évaluation. Certaines méthodes d'évaluation s'affranchissent de cette unité en se basant sur la matière (bilans-matière), sur l'énergie (analyses éco-énergétique) ou encore sur une surface (empreinte écologique). Cependant ces méthodes alternatives possèdent également des limites.

- l'évaluation économique s'attache à mesurer des phénomènes/des processus (*Cohen de Lara et Dron, 1997*), elle dépend donc d'informations. Or, les mécanismes sous-jacents aux services (fonctions

écologiques) ne sont pas encore bien connus, les données nécessaires ne sont pas forcément encore disponibles (collecte des données non effectuée, avancement des connaissances scientifiques insuffisant, indétermination) les valeurs obtenues sont donc incomplètes. Comme le souligne le rapport du CAS, on comprend l'importance dans les années à venir pour la recherche de se concentrer sur la production de données (*Chevassus-au-Louis et al., 2009*) pour les futures évaluations économiques car leurs résultats en découlent.

- dans ce travail, nous nous sommes attachés à calculer une valeur indicatrice unique (la valeur d'usage indirect) afin d'évaluer les services écosystémiques rendus par les champignons mycorrhizogènes à arbuscules ce qui ne reflète pas nécessairement la complexité des processus écologiques mis en jeu. L'analyse multicritère contourne cette faiblesse en évaluant séparément plusieurs critères afin de comparer différentes options d'un choix (*Chevassus-au-Louis et al., 2009*).

En ce qui concerne l'ACB, elle est assez controversée dans le domaine de l'environnement. Certains experts estiment en particulier que la valeur intrinsèque de certains actifs naturels ne peut pas être analysée à partir de préférences humaines. Selon eux les gens sont en effet mal informés sur l'environnement et répondent en fonction de leurs intérêts personnels, leurs réponses sont donc biaisées. Néanmoins, ce n'est pas le type de valeur auquel nous nous sommes intéressés dans ce travail. En revanche, le taux d'actualisation, terme que nous avons utilisé, est également controversé, surtout d'un point de vue éthique. En effet, plus il est élevé plus on préfère le présent c'est-à-dire que moins les coûts et bénéfices futurs n'ont de valeur. Pour certains c'est donc un facteur incompatible avec la notion de développement durable. A l'inverse, un taux d'actualisation nul permet de donner beaucoup d'importance à l'avenir. C'est applicable pour les projets environnementaux ayant une portée à long terme mais ce n'est pas forcément très réaliste dans la mesure où personne ne peut prévoir ce qui se passera dans plusieurs dizaines d'années. La modulation de ce taux permet ainsi de refléter la préférence plus ou moins importante pour le présent et révèle donc le degré de durabilité que l'on souhaite pour le projet étudié.

Enfin, à propos de la classification des services, nous avons choisi de nous focaliser sur l'aspect économique au niveau de l'exploitation agricole (profit de l'agriculteur) et environnemental au niveau du territoire (problèmes qui découlent des pratiques agricoles actuelles). Il est tout de même important de noter que les aspects macro-économiques, macro-sociaux et macro-environnementaux existent tous les trois à ces échelles et interfèrent entre eux (**Tab. 9**).

Tableau 9 : Critères d'évaluation en fonction de l'échelle d'étude et de l'approche choisie

Echelle \ Approche	Economique	Sociale	Environnementale
Exploitation agricole	Coûts évités par la mycorrhization et les changements de pratiques	Conditions de travail (temps, santé)	Utilisation de produits chimiques, érosion, prélèvement d'eau
Territoire	Nouveau marchés (biofertilisants), emplois, soutien de la recherche	Santé (qualité des aliments, de l'eau), emploi agricole	Qualité des eaux, érosion, prélèvement d'eau

Une classification et une évaluation économique optimale des services et des bénéfices qu'ils apportent devrait donc tenir compte des trois approches puisque les décisions (publiques ou privés) s'effectuent le plus souvent par une combinaison de celles-ci et pas seulement de manière unilatérale.

- Données utilisées

L'étape de collecte des données a été l'une des plus longues et s'est presque étalée sur toute la durée du stage.

La plupart des informations recueillies concernent le département de la Côte d'Or et/ou plus largement la région Bourgogne. Or, les résultats montrent que, même au sein d'une même culture, dans une zone de production définie, des écarts importants existent à cause principalement des différences de pratiques culturales. On peut donc s'attendre à ce que les ordres de grandeur des résultats obtenus dans la présente étude soient différents dans d'autres zones de production française, même pour un type de culture similaire (annuelle ou pérenne). Par ailleurs, il se peut que les estimations présentées soient également modifiées en fonction des cahiers des charges (conventionnel, raisonné, biologique) suivis par les agriculteurs ou de leurs pratiques vis-à-vis du sol.

En ce qui concerne les données sur l'effet de la mycorhization, certaines sont tirées d'essais expérimentaux au champ, d'autres ont été réalisées en conditions contrôlées afin de limiter les interactions avec des facteurs biotiques ou abiotiques et de révéler l'effet des seuls CMA. Dans ce cas, le véritable mode de conduite de l'agriculteur n'est que partiellement reflété. Les extrapolations à l'échelle de l'exploitation agricole et du territoire, qui sont basées sur ces données au niveau parcelle, sont donc biaisées, car les véritables conditions au champ diffèrent de celles des expérimentations. En effet, en situation réelle, la présence d'autres organismes du sol peut interférer avec l'action des CMA tout comme les conditions environnementales (température, sécheresse, ...).

En outre, les itinéraires techniques sur lesquels nous nous sommes basés pour l'évaluation prennent en compte quantités d'intrants utilisées (eau d'irrigation, fertilisants, pesticides) mais ne mentionnent pas le temps de travail nécessaire à leur application. Or, la mycorhization, en permettant de diminuer l'utilisation de certains intrants (eau, engrais, pesticides), entraîne également une modification, pour l'agriculteur, du temps de travail à accorder à l'irrigation, à la fertilisation ou à la protection phytosanitaire. Les coûts associés devraient donc être pris en compte dans l'évaluation des services ainsi que dans l'ACB.

Il est également important de mentionner que les domaines abordés dans cette étude, que ce soit le volet mycorhization ou évaluation économique, font actuellement toujours partie de sujet de recherche et d'études. Les données et méthodes utilisées pourront ainsi être modifiées/affinées si de nouvelles études sont réalisées par la suite sur un sujet similaire. Les biais et limites énoncés ci-dessus ne sont donc pas intangibles, des améliorations / approfondissements / travaux complémentaires pourront être apportés à cette étude en envisageant de nouvelles pistes de travail.

IV.2. Perspectives

- Poursuivre l'évaluation et l'analyse économique à l'échelle du territoire

L'approche à cette échelle est plus complexe qu'à celle de l'exploitation agricole car les liens de causes à effets entre les services écosystémiques, les pratiques agricoles et l'état de l'environnement ne sont pas aussi directes et sont moins connus. Nous avons pu évaluer économiquement certains services (fixation du carbone et stabilité du sol), cependant pour les autres, les résultats sont qualitatifs.

Nous précisons néanmoins le type de données nécessaires pour obtenir des résultats quantitatifs. Pour l'ACB nous avons également proposé des pistes pour les scénarios ainsi que pour les coûts et bénéfices possibles. Un travail d'évaluation économique ultérieur pourrait s'appuyer sur ces préconisations.

- Elargissement des objets d'étude

Ce travail pourrait ainsi être poursuivi en s'intéressant à d'autres organismes du sol d'importance majeure tels que les vers de terre (catégorie mésofaune) ou encore les bactéries (catégorie microflore) et sur les mêmes services que ceux évoqués dans cette étude afin d'en obtenir une valeur plus précise à l'échelle du sol.

Il faut également replacer cette étude dans le fait que d'autres services que ceux mentionnés dans celle-ci sont réalisés par des organismes du sol et peuvent également intervenir dans le domaine agricole. Par exemple, le recyclage des déchets, notamment réalisé par les vers de terre, apparaît comme le service apportant le plus de bénéfices économiques à l'échelle mondiale (*Commission européenne, 2008*).

Dans un **autre domaine** que celui de **l'agriculture**, les champignons mycorhizogènes peuvent également être utilisés pour la bioremédiation des sols. Cela consiste à réduire la toxicité d'un contaminant chimique en le transformant, le supprimant ou l'immobilisant par l'utilisation de plante et de micro-organismes. Les mycorhizes permettent cette technique par une combinaison des services évoqués dans cette étude. La plus grande vigueur de la plante permet de capter d'avantage de molécules polluantes et de mieux résister à de fortes teneurs en éléments toxiques. Ce procédé, qui peut concerner la dépollution des sols d'anciens sites industriels ou miniers est appelé à se développer dans le contexte actuel où les techniques « propres » d'un point de vue environnemental sont de plus en plus demandées.

Nous avons ici évalué, à travers les services écosystémiques qu'ils fournissent, la valeur d'usage indirect des CMA. Nous avons vu qu'ils n'ont pas de valeur d'usage directe étant donné qu'ils ne produisent aucun bien (en tout cas à l'heure actuelle) mais leur **valeur d'option** existe (capital de micro-organismes du sol à préserver). Concernant la **valeur de non usage**, elle existe également mais elle apparaît difficile à évaluer dans notre cas. En effet, la valeur d'existence et la valeur d'héritage, qui sont ses principales composantes sont évaluées par des méthodes de préférences déclarées telles que la méthode d'évaluation contingente ou l'analyse conjointe. Elles permettent de révéler le Consentement à Payer (CAP) des individus pour cette valeur de l'actif environnemental. Or, la biodiversité du sol est mal connue du grand public, à part quelques espèces emblématiques (appartenant surtout à la macro et mésofaune) comme la taupe ou le vers de terre. Concernant la micro-flore du sol, et en particulier les CMA, il apparaît donc encore moins pertinent de questionner les citoyens sur leur CAP, puisqu'une grande partie ne connaît même pas l'existence de ces organismes.

- Utilisation d'autres méthodes d'évaluation

Si la technique de la mycorhization contrôlée se développe et perdure dans les années à venir, la qualité des sols sera améliorée. En effet, les services cités dans cette étude seront observés de manière beaucoup plus marquée grâce aussi à des pratiques plus respectueuses de l'environnement et du sol. Une plus-value de la terre apparaîtra peut-être entre des parcelles où les champignons mycorhizogènes et la biodiversité du sol en général sont présents et des parcelles où le sol est en plus mauvais état à cause de pratiques beaucoup moins respectueuses depuis plusieurs années. Dans ce cas la plus-value pourra être considérée comme un bénéfice dans un scénario « mycorhization » de l'ACB. On pourrait envisager d'utiliser la méthode des **prix hédoniques** appliquée au marché du foncier pour l'évaluer.

Par ailleurs, concernant le service « amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine », son évaluation pourrait faire l'objet d'une étude complémentaire. Comme il s'agit d'un service de nature collective, une méthode d'évaluation basée sur les préférences déclarées serait donc à première vue adaptée. Or, le domaine de la santé est assez mal appréhendé par les individus, l'évaluation par le biais de la méthode d'évaluation contingente par exemple pourrait donc être de mauvaise qualité. Il paraît plus approprié de préconiser une **analyse « dose-réponse »** afin de déterminer dans quelle mesure la consommation de ces produits améliore la santé des individus à laquelle on associe la méthode des coûts évités afin de chiffrer économiquement ces effets (en termes de réduction de dépenses de santé par exemple). Enfin, concernant l'échelle d'étude, elle sera à ajuster en fonction des aires de distribution des produits concernés.

- Aspects sociologiques

Dans le cas de la culture de l'oignon où la majorité des exploitants du département (et même de la région) sont regroupés en coopérative, l'aspect relationnel prend une place importante dans le choix du fonctionnement de l'exploitation. Un jeu d'acteur et de pouvoir est surement instauré au sein de la coopérative et il peut avoir un poids dans les décisions des agriculteurs. Les raisons économiques ne sont donc pas les seules à intervenir dans les changements de pratiques.

Dans le cadre d'une approche plus sociologique et d'économie expérimentale, il pourrait ainsi être intéressant de se pencher sur les motivations / contraintes qui interviennent lors de l'adoption de pratiques plus favorables à l'environnement par les exploitants agricoles. Ce travail pourrait s'appuyer sur l'étude Ecophyto R&D qui s'est penchée sur ces questions en questionnant des acteurs de la R&D et des filières et en établissant un diagnostic de leur communication technique (INRA, 2010).

IV.3. Bilan sur le développement actuel de la mycorhization contrôlée

La mycorhization contrôlée, qui semble intéressante d'un point de vue environnemental et économique pour certaines cultures, a cependant encore du mal à se développer en France. En effet, on constate par exemple qu'il existe seulement 3 entreprises en France qui distribuent des produits à base de mycorhize contre 15 en Allemagne (source Jardins de France). Un nombre plus élevé d'entreprises ne réduiraient pas forcément les prix car les investissements sont importants, il permettant néanmoins d'augmenter l'offre et de créer une concurrence technologique.

Cette situation résulte du contexte (réglementaire, agricole, technologique) et de plusieurs acteurs.

Tout d'abord, la **législation** concernant les biofertilisants diffère entre les pays et est actuellement peu favorable au développement de cette biotechnologie en France. En effet ces biofertilisants nécessitent, comme n'importe quelle matière fertilisante, l'obtention d'une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM), délivrée pour 10 ans par le Ministère de l'Agriculture, qui est une procédure lourde notamment financièrement (jusqu'à 300 000€). Au niveau européen, il n'existe pas de réglementation harmonisée pour la production de matières fertilisantes (dont celles à base de champignons mycorhizogènes) d'où les situations très différentes entre les pays de l'UE. Cependant l'accord de réciprocité pour la vente permet à n'importe quel produit fabriqué dans l'Espace Economique Européen²⁴ (EEE) d'être vendu dans l'un des pays membre.

De plus, un effort plus important doit être fourni dans le contrôle de la qualité des inoculum commerciaux, car plusieurs articles (Tarbell et Koske, 2007 ; Grotkass et al., 2003) révèlent qu'elles peut être douteuse.

Les **contraintes technico-économiques** sont également présentes. En effet la production d'inoculum à base d'éléments de champignons mycorhizogènes, fait intervenir des technologies de pointe telles que les multiplications in vitro. Cela entraîne des investissements initiaux importants en termes de matériel, de main-d'œuvre qualifiée en plus des contrats licences pour les méthodes de production brevetées. Cela explique le coût non négligeable de la mycorhization pour l'agriculteur, qui en plus de l'achat d'inoculum, subit également des frais supplémentaires en terme d'application du produit et de changements de techniques de plantation (cf. III.3.2.2.).

On peut tout de même remarquer que dans certains pays tels que la Chine et l'Inde, où la demande potentielle est beaucoup plus élevée, la recherche dans ce domaine est très active. La production d'inoculum se fait de manière plus massive qu'en Europe, ces biofertilisants ont alors des prix très compétitifs par rapport aux produits chimiques classiques peu abordables pour les agriculteurs de ces pays.

²⁴ Concerne les 27 membres de l'Union Européenne ainsi que les 3 pays membres de l'Association Européenne de Libre Echange (AELE) à savoir l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège. (source Insee)

L'**industrie phytosanitaire** qui, si cette biotechnologie et ses applications se développent, risque de voir ses ventes en produits fertilisants et pesticides diminuer. Ce marché est bien implanté dans le système actuel et représente plus de 15% des comptes de l'agriculture (UNIFA, 2007). D'importants lobbies existent, notamment en France, l'un des pays européens et même mondiaux le plus consommateur. Cependant, certaines entreprises de ce secteur se lanceront peut-être sur ce marché récent des biofertilisants afin de diversifier leur ventes et de compenser les éventuelles pertes de marché à venir. De plus, leurs capitaux élevés leur permettraient de supporter les coûts d'investissements élevés évoqués au paragraphe précédent et la commercialisation de ces produits respectueux de l'environnement leur donnerait une image plus « verte ».

Enfin les **agriculteurs** eux-mêmes tiennent également un rôle dans ce jeu d'acteurs. L'agriculture est un secteur assez conventionnel et conservateur, difficile à pénétrer avec de nouvelles biotechnologies. A la suite de conférences il a été observé que les jeunes agriculteurs seraient plutôt sceptiques et réticents à changer leurs pratiques. En effet, les habitudes et les traditions sont marquées et ils préféreraient utiliser des techniques culturelles de leurs parents, sans nécessairement raisonner les quantités de produits chimiques utilisées. A l'inverse les agriculteurs plus âgés, qui constatent les effets négatifs des produits de l'industrie pharmaceutique depuis plusieurs décennies et même les limites de leur efficacité sembleraient plus enclins à essayer cette biotechnologie et à changer leurs pratiques.

CONCLUSION

En se basant sur les itinéraires techniques moyens de deux cultures bourguignonnes, l'oignon et la vigne, nous avons cherché à estimer la valeur économique des services écosystémiques rendus par les CMA. Ces micro-organismes, existant depuis plusieurs centaines de millions d'années établissent des symbioses avec 80% des plantes terrestres. Ils permettent un meilleur apport en éléments nutritifs, une bioprotection contre les stress biotiques, une meilleure tolérance aux stress abiotiques, l'augmentation de la stabilité du sol, la séquestration de carbone et l'amélioration de la qualité des plantes pour la santé humaine.

La caractérisation de ces services nous permet de dire qu'ils ont une valeur d'usage indirect puisque ce ne sont pas des biens directement consommables par l'Homme. Ils peuvent en revanche, être exprimés au travers d'une activité telle que l'agriculture, et en particulier lorsque l'inoculation de CMA dans les cultures est accompagnée de changements dans les pratiques culturales.

Ainsi, en condition expérimentale, ces services permettent, entre autre, de diminuer l'utilisation des engrais et pesticides de 20 à 30 %, de réduire l'irrigation de 30 à 50 % ou encore de piéger 10 % de plus de carbone qu'une parcelle non mycorhizée.

L'identification du type et de la nature des services rendus par les CMA nous a permis de choisir les méthodes de monétarisation les plus appropriées. Nous avons ensuite proposé une démarche d'évaluation et d'analyse économique de ces services qui, sous réserve d'améliorations et d'études complémentaires, pourrait être appliquée à d'autres cultures et/ou d'autres organismes du sol.

A l'échelle de l'exploitation agricole, l'évaluation économique s'est en grande partie basée sur la méthode des coûts évités. Les services ont été estimés par la diminution, pour l'agriculteur, des coûts relatifs à la réduction de certains intrants permis par la présence de CMA dans le sol. On remarque que les services de meilleur apport en éléments nutritifs et de bioprotection contre les stress biotiques représentent, en moyenne à eux deux, plus de 50% de la somme de la valeur des services pris en compte.

Les valeurs trouvées ont ensuite été analysées au moyen d'une ACB. Elle nous permet de dire que la mycorhization est intéressante à mettre en place d'un point de vue économique à l'échelle d'une exploitation moyenne. En effet, sur une période de 30 ans, la somme des coûts nécessaires à la mise en place de la mycorhization des plantes cultivées n'excèdent jamais la moitié des bénéfices engendrés par les services écosystémiques. Ces bénéfices sont de l'ordre de 30 410 à 53 987 €/ha/an pour la culture de l'oignon et de 72 331 à 112 164 €/ha/an pour la vigne. De plus, la réduction de l'utilisation des fertilisants et des pesticides contribuent à hauteur d'au moins 70% de la somme des bénéfices.

Nous nous sommes également placés à l'échelle de territoires de production des deux cultures d'étude, en Bourgogne, afin d'élargir le cadre de l'étude. Certains des services ont été évalués économiquement sur le même principe que celui de l'échelle précédente. Pour les autres, l'étude a été qualitative et a permis de déterminer des voies pour les monétariser et réaliser une ACB à ce niveau.

La mycorhization des cultures pourrait avoir plusieurs intérêts. On savait qu'à l'échelle de la placette d'essai elle présentait des avantages environnementaux et sociaux. Cette étude nous permet désormais de dire que l'inoculation de CMA présente un avantage économique pour les agriculteurs. Nous ne pouvons cependant pas encore dire si la mycorhization présente un avantage économique pour la collectivité car ce point n'a pas été finalisé.

On peut toutefois dire qu'elle constitue un facteur d'une agriculture durable et pourrait devenir un des maillons d'une nouvelle conception de l'agriculture et pourquoi pas d'une révolution verte (*Gerbault, 2009*). Cette pratique agro-écologique apparaît, en effet, comme une piste intéressante pour une agriculture plus propre puisqu'en renforçant la vigueur des plantes elle permet de réduire l'utilisation de certains intrants sans diminuer le rendement. Elle nécessite des modifications des itinéraires

techniques mais comme le précise l'étude Ecophyto R&D (*INRA, 2010*) la réduction des pesticides prévu dans le plan Ecophyto 2018 (et plus généralement l'utilisation des produits chimiques) ne se fera pas sans changements de pratiques.

Cependant pour que cette pratique se généralise des efforts sont encore nécessaires. Le contexte législatif français peu favorable à son développement doit évoluer. En outre, pour que le marché des grandes cultures soit accessible un travail de recherche et développement doit être poursuivi. Une démarche de sensibilisation auprès des agriculteurs pourrait être utile.

Enfin, à travers cette étude nous approchons la notion de « substituabilité » des services, et la question de savoir si les services rendus par les écosystèmes sont totalement remplaçables par les activités humaines. Cette étude montre que les pratiques agricoles mises en place par l'Homme qui se substituent aux services écosystémiques ne sont pas aussi efficaces qu'eux, que soit d'un point de vue environnemental mais aussi économique. Elle contribue donc à penser que la complexité des processus et des interactions mis en jeu dans l'expression des services écosystémiques les rendent non reproductibles donc indispensables à l'Homme. Le dernier rapport du groupe de travail de l'étude TEEB mentionnent ce dernier point et insiste d'ailleurs sur la nécessité de prendre en compte les services liés aux écosystèmes dans les politiques locales pour des raisons aussi bien économiques que sociales.

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABO-GHALIA H. H. et KHALAFALLAH A. (2008). Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *Journal of applied sciences research*, vol. 4, n°5, p.570-580.

Agence de l'eau Adour-Garonne (2003). Surcoûts supportés par les usagers domestiques du fait des pollutions par les nitrates et les pesticides. Synthèse des données disponibles version 3. Disponible sur : http://www.economie.eaufrance.fr/IMG/pdf/AEAG_surcouts-trait_pesticides_nitrates.pdf. (consulté le 23 septembre 2010)

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (page consultée le 9 août 2010). Prélèvement d'eau. <http://www.eaurmc.fr/aides-et-redevances/redevances-et-primes/prelevement-deau.html>.

Agence Européenne pour l'environnement (AEE) (2002). Dégradation du sol et développement durable en Europe: ayons les pieds sur terre. Série sur les problèmes environnementaux, n°16, 32p. Disponible sur : http://www.eea.europa.eu/fr/publications/Environmental_issue_series_16. (consulté le 23 juillet 2010).

Agreste (2010). Comptes régionaux de l'agriculture. Séries 2009. Accessible à partir de <http://agreste.maapar.lbn.fr/ReportFolders/ReportFolders.aspx>.

Agreste (2006). Enquête Pratiques culturales vigne 2006. Cépages. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/pratiques2008T59.pdf>. (consulté le 13 août 2010)

ARNAULT I. et al. (2005). Propriétés pesticides des alliées : biodésinfection des sols maraîchers au moyen d'oignon et poireau. *Phytoma, la défense des végétaux*, Janvier 2005, n°578, p.40-43. Disponible sur : <http://www.critt-innophyt.asso.fr/html/publi.htm#biodesinfection>. (consulté le 20 juillet 2010).

BOLGER T. et al. (2000). The biodiversity, function and management of soil invertebrate populations - an Irish perspective. In : *Achievement and Challenge : Rio +10 and Ireland*. Convery, F.C. & Feehan, J., Dublin, p.2-10.

BOUCHET P. et al. (2005). Les champignons : mycologie fondamentale et appliquée. Editions Masson, Paris, 191p.

BOURGUIGNON C. et L. (2008). Le sol, la terre et les champs. Pour retrouver une agriculture saine. Sang de la Terre, Paris, 221p.

CAMPRUBI et al. (2008). Response of the grapevine rootstock Richter 110 to inoculation with native and selected arbuscular mycorrhizal fungi and growth performance in a replant vineyard. *Mycorrhiza*, n°18(4), p.211-216.

CARPIO L. A. et al. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers : effects on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *Fistulosa*) under high production temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, vol. 130, p.131-139.

Cemagref (page consultée le 5 Août 2010). Sur la trace des pesticides. <http://www.cemagref.fr/Informations/Presse/Dossthem/pesticides/index.htm>.

Chambre d'Agriculture de Bourgogne (page consultée le 20 septembre 2010). Agriculture bourguignonne. Chiffres clés. <http://www.bourgogne.chambagri.fr/agriculture-bourguignonne/chiffres-cles.html>

CHEVASSUS-AU-LOUIS B. et *al.* (2009). Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique. Rapports et documents du Centre d'analyse stratégique, 376p.

CNRS (page consultée le 19 août 2010). Extinction des espèces et crises d'extinction. http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA_p2_f1&zoom_id=zoom_a2_1

CNRS (page consultée le 5 Août 2010). Pratiques agricoles et biodiversité du sol. http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapC_p5_d1&zoom_id=zoom_d1_2.

COHEN DE LARA M. et DRON D. (1997). Evaluation économique et environnement dans les décisions publiques. Rapport au Ministre de l'Environnement. La Documentation Française, Collection des rapports officiels, Paris, 416p.

Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité (CSPNB) (2007), « La biodiversité au travers des exemples ». Disponible sur : alpsknowhow.cipra.org/background_topics/.../atraversexemples_ganz.pdf. (consulté le 2 juin 2010).

Commission européenne (2008). L'économie des écosystèmes et de la biodiversité. Rapport d'étape. Office des publications officielles des Communautés européennes, 64 p. Disponible sur : www.cbd.int/iyb/doc/prints/teeb-fr.pdf.

Commission européenne (2008). The economic value of soil biodiversity. In : The International Day for Biological Diversity, Bonn, 22 Mai 2008. Disponible sur : <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/Themes/Biodiversity/CBP/17.pdf>.

COSTANZA R. et *al.* (1997). The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, vol. 387, p.253-260.

DDT de la Côte d'Or (page consultée le 7 juillet 2010). Présentation de l'agriculture en Côte d'Or. http://ddaf21.agriculture.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=44,

Dijon Céréales (page consultée le 23 juin 2010). Les oignons. http://www.dijon-cereales.fr/02_assiette/oignons.htm.

DIREN Bourgogne (page consultée le 23 septembre 2010) . Le réseau piézométrique régional. Indicateurs de situations de nappes. http://www.bourgogne.ecologie.gouv.fr/plugins/fckeditor/UserFiles/Carte_situation_nappes_Bourgogne_septembre_2009.pdf

DIREN Bourgogne (2007). Qualité des eaux superficielles en Bourgogne. Bilan 2006. Disponible sur : http://www.bourgogne.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf_Bilan2006.pdf. (consulté le 9 juin 2010).

DIREN Bourgogne (2007). Vers un profil environnemental de la Bourgogne. Disponible sur : http://www.bourgogne.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf_profil_2007_internet.pdf. (consulté le 24 juin 2010).

DODD J. C. (2000). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro- and natural ecosystems. *Outlook on Agriculture*, vol.29, n°1, p.63-70.

Environment, Heritage and Local Government of Ireland (2008). The Economic and Social Aspects of Biodiversity. Benefits and Costs of Biodiversity in Ireland. Dublin, 199p. Disponible sur : <http://www.environ.ie/en/Heritage/PublicationsDocuments/FileDownload,17321,en.pdf>. (consulté le 2 juin 2010)

FMI (page consultée le 22 septembre 2010). World economic outlook databases, Avril 2010. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/01/weodata/index.aspx>

FranceAgriMer, Direction Marchés, Etudes et Prospectives (2009). Chiffres clés 2008 provisoires. Fruits et Légumes frais et transformés. Disponible sur : <http://www.franceagrimer.fr/informations/conso/10-05/chiffres-cles-fl-2008.pdf>. (consulté le 6 Juillet 2010).

GARCIA J.-P. et *al.* (2007). Érosion des sols viticoles par les événements orageux (Vosne-Romanée) : quels risques pour le futur?. In : *Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ?*, actes du colloque international et pluridisciplinaire, Dijon et Beaune, 28-30 mars 2007.

GERBAULT S. (2009). Les mycorhizes. Outils d'une horticulture et d'une agriculture durables. *Jardins de France*, Juin 2009, p.19-25.

GIANINAZZI S. et *al.* (2010). Agroecology : the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, DOI 10.1007/s00572-010-0333-3.

GIANINAZZI S. et VOSATKA M. (2004). Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meet business. *Canadian Journal of Botany*, vol. 82, n°8, p.1264-1271.

GIANINAZZI S. et WIPF D. (2010). Des champignons au service des plantes. *PHM*, Février 2010, p.9-11.

GOSLING P. et *al.* (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n°113, p.17-35.

GROTKASS C. et *al.* (2003). Trade with beneficial mycorrhizal in Europe : suitable quality management avoids distribution of unwanted organisms in mycorrhizal inoculum. Disponible sur : http://www.phytomedizin.org/fileadmin/alte_Webseiten/Invasive_Symposium/articles/033_Grotkass.pdf. (Consulté le 18 août 2010).

INRA (2010). Ecophyto R&D. Quelle voies pour réduire l'usage des pesticides ?. Résumé de la synthèse du rapport d'étude, 4p.

INRA Dijon (page consultée le 20 août 2010). Inventaire de la biodiversité microbienne des sols français. http://www.dijon.inra.fr/la_sciences/inventaire_de_la_biodiversite_microbienne_des_sols_francais.

INSEE (page consultée le 10 Août 2010). Espace Economique Européen / EEE. <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/espace-eco-europeen.htm>.

LAFFITTE P., SAUNIER C. (2008). Rapport sur les apports de la science et de la technologie au développement durable - Tome II : La biodiversité : l'autre choc ? l'autre chance ?. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Paris, 192p. Disponible sur : <http://www.senat.fr/rap/r07-131/r07-1311.pdf>.

- LEONARD M. (2003). L'érosion hydrique des sols cultivés : analyse systémique et propositions de gestion. Résumé. Disponible sur http://www.pacte.cnrs.fr/IMG/html_Leonard_these.html.
- MAAP (2008). Les pratiques culturales dans les vignes de Bourgogne en 2006. *Agreste Bourgogne*, n°96, août 2008, 4p. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R2608A12.pdf>. (Consulté le 19 juillet 2010).
- MEDAD, Direction Etudes Economiques et Evaluation Environnementale (D4E) (2007). Les méthodes d'évaluation économique. Pour la Journée de sensibilisation à l'économie de l'environnement, Paris, 8 octobre 2007.
- MEEDDM, Département en charge du Logement, de l'Aménagement Durable et des Ressources Naturelles (page consultée le 2 juin 2010). Les 10 plans d'actions sectoriels pour la biodiversité. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-10-plans-d-action-sectoriels.html>.
- MEEDDM, Le Grenelle de l'environnement, Groupe de travail n°4 (2007). Synthèse et principales mesures. Disponible sur : <http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/SyntheseG4.pdf>. (Consulté le 18 septembre 2010).
- MEEDDM, Service de l'Environnement, de l'Evaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) (2010). Vers des indicateurs de fonctions écologiques. Liens entre biodiversité, fonctions et services.
- MEEDDM, Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) (2010). L'environnement en France. Edition 2010 - Synthèse. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ree2010_synthese_illustree_BD.pdf. (Consulté le 13 août 2010).
- MEEDDM, Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) (page consultée le 16 août 2010). Les zones vulnérables à la pollution par les nitrates. <http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/donnees-essentielles/activites-humaines/agriculture-et-environnement/les-zones-vulnerables-a-la-pollution-par-les-nitrates.html>.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). Ecosystems and human well-being. Synthesis. 155p. Disponible sur : <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. (Consulté le 2 juillet 2010).
- MOROT-GAUDRY J.-F. (1997). Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspects physiologiques, biochimique et moléculaire. Editions Quae, Paris.
- MORSE-JONES S. et *al.* (2010). Ecosystem valuation : some principles and a partial application. CSERGE working paper Environmental Decision Making (EDM) Series: Environmental Valuation
- MULONGOY et *al.* (1992). Biofertilizers : agronomic and environmental impacts and economics. In : Biotechnology, economic and social aspects, issues for developing countries. DaSilva E.J. et *al.*, p.55-69. Disponible sur : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_35-36/41758.pdf.
- Mycorrhizal Applications, Inc. (page consultée le 9 Août 2010). Nature's good fungi increase crop yield. <http://www.mycorrhizae.com/wp-content/uploads/2010/03/naturesgoodfungi1.pdf>.
- Nations Unies (1993). Convention sur la Diversité Biologique. Sommet de la Terre, Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992. Disponible sur : <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-fr.pdf> (Consulté le 2 avril 2010)

- PEARCE D., MORAN, UICN (1994). The economic value of biodiversity. Earthscan books, Londres, 104p.
- PEARCE D. et al. (2006). Analyse coûts-bénéfices et environnement : développements récents. Editions OCDE, Paris, 352p.
- PIMENTEL D. et al. (1997). Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bioscience*, vol. 47, n°11, , p.747-757.
- QUINET A. (2008). La valeur tutélaire du carbone. *Rapports et documents du Centre d'Analyse Stratégique*, 100p.
- ROBY J.-P. et al. (2008). Références vigne, références technico-économiques de systèmes de conduite de la vigne. Editions Lavoisier, 268p.
- ROCARD M. (2009). Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Énergie. 84p.
- Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique (2010). Communiqué : Événement de haut-niveau pour souligner l'Année internationale de la diversité biologique. Montréal, 3p. Disponible sur : <http://www.cbd.int/doc/press/2010/pr-2010-04-16-unga-fr.pdf>.
- SUBRAMANIAN K.S. et al. (2005). Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia horticulturae*, vol. 107, p.245-253.
- TARBELL T. J. et KOSKE R. E. (2007). Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inocula in a sand/peat medium. *Mycorrhiza* (2007), n°18, p.51-56.
- TERI (The Energy and Resources Institute) (page consultée le 9 Août 2010). Mycorrhizal technology. http://www.teriin.org/index.php?option=com_content&task=view&id=66.
- UIPP (page consultée le 1^{er} juin 2010). Chiffres clés, repères monde et Europe (2007). <http://www.uipp.org/Chiffres-cles/Reperes-monde-et-Europe>.
- UNIFA (2007). Enjeux économiques de la fertilisation. Disponible sur : http://www.unifa.fr/07_enseignants/cd_ferti/dossiers/pdf/PI/10_EnjeuxEconomiques.pdf. (Consulté le 1^{er} juin 2010).
- UMR PME (page consultée le 1^{er} septembre 2010). Présentation. <http://www2.dijon.inra.fr/pme/presentation.html>
- VIONNET N. (2000). Conduite de la fertilisation de la culture de l'oignon. Rapport de stage, ENESAD.
- WU Q.-S. et al. (2007). Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology*, n°44, p.122-128.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme d'Alterre Bourgogne

Annexe 2 : Organigramme de l'UMR PME

Annexe 3 : Climats et sols de Bourgogne

Annexe 4 : Etat des eaux superficielles vis-à-vis des nitrates en Bourgogne

Annexe 5 : Détails des calculs d'évaluation économique des services rendus par les CMA à l'échelle de l'exploitation agricole

Annexe 6 : Typologie des aléas d'érosions des sols par petite région agricole

Annexe 7 : Détails des calculs d'évaluation économique des services rendus par les CMA à l'échelle de l'exploitation agricole

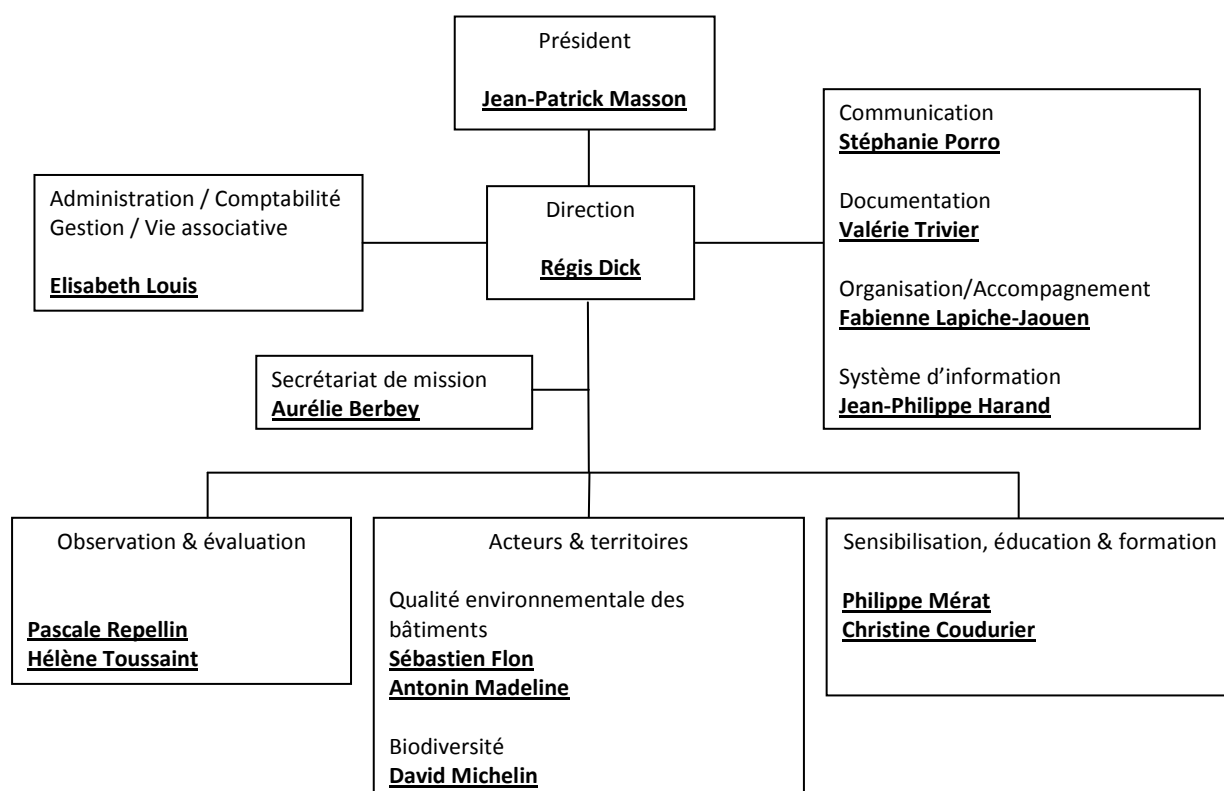
Annexe 8 : Situation économique moyenne des exploitations maraîchères et viticoles de Bourgogne

Annexe 9 : Détails des calculs de l'évaluation du bénéfice annuel lié à la réduction de la perte de plants à la plantation de la vigne

Annexe 10 : Teneur en nitrates des eaux distribuées en Côte d'Or en 2008

Annexe 11 : Teneur en pesticides des eaux distribuées en Côte d'Or en 2008

Annexe 1 : Organigramme d'Alterre Bourgogne (Septembre 2010)



DR : Directeur de Recherche
 PR : Professeur
 MC : Maître de Conférence
 CR : Chargé de Recherche
 IR : Ingénieur de Recherche
 IE : Ingénieur d'Etudes
 AI : Assistant d'Ingénieur
 TR : Technicien de Recherche
 ATP : Adjoint Technique
 Principal
 AJT : Adjoint Technique

Annexe 2 : Organigramme de l'UMR PME

Directeur
Vivienne Gianinazzi-Pearson,
 DR CNRS

Directeur adjoint
Alain Pugin,
 PR UB

OP1 "Programmes cellulaires des interactions durables entre symbiotes mycorhiziens et exploitations biotechnologiques"

Wipf D., PR UB

Gianinazzi-Pearson V., DR CNRS
 Gianinazzi S., DR CNRS émérite
 Schoefs B., PR UB
 Dumas-Gaudot E., DR INRA
 Binet M., MC UB
 Bonneau L., MC UB
 Charbonnier M., MC UB
 Morandi D., CR CNRS
 Negrel J., CR INRA
 Recorbet G., CR INRA
 Seddas P., CR INRA
 Truong-Cellier H., CR INRA
 van Tuinen D., CR INRA
 Guillier C., IR CNRS
 Kuszala C., IE INRA
 Arnould C., AI INRA
 Chatagnier O., AI INRA
 Javelle F., TR INRA
 Colombet A., ATP INRA
 Monfort-Pimet V., ATP INRA

Doctorants : C. Abdallah,
 J. Doidy, S. Hayek,
 S. Hussain, Y. Liu, V. Molinier

Post-doctorants : L. Casieri,
 I. Sanchez-Castro,
 H. Stockinger

OP2 "Signalisation cellulaire et moléculaire dans les réactions de défense"

Wendehenne D., PR UB

Adrian M., PR UB
 Garcia-Brugger A., PR UB
 Pugin A., PR UB
 Bentejac M., MC UB
 Bourque S., MC UB
 Heloir M., MC UB
 Lamotte O., CR CNRS
 Poinssot B., MC UB
 Trouvelot S., MC UB
 Daire X., IR INRA
 Chiltz A., TR INRA
 Hichami S., TR UB
 Klinguer A., TR INRA
 Boussard S., BTS alternance

Doctorants : J. Astier,
 C. Dubreuil, A. Dutartre,
 M. Gamm, E. Koen,
 H. Manzoor, S. Rasul

Post-doctorants :
 J. Kelloniemi

CDD : A. Buchwalter,
 E. Steimetz, E. Vieille

International Bank of the Glomeromycota

Gianinazzi-Pearson V., DR CNRS
 Colombet A., ATP INRA
 Monfort-Pimet V., ATP INRA

OP3 "Microdomaines membranaires et interactions plantes-microorganismes"

Simon-Plas F., DR INRA

Bouhidel K., MC UB
 Gerbeau-Pissot P., MC UB
 Leborgne-Castel N., MC UB
 Lherminier J., IR INRA
 Noirot E., IE INRA
 Thomas D., IE UB
 Fromentin J., AI INRA
 Der C., TR UB
 Robert F., TR INRA
 Debrosse N., AJT UB
 Koszala N., ATP INRA

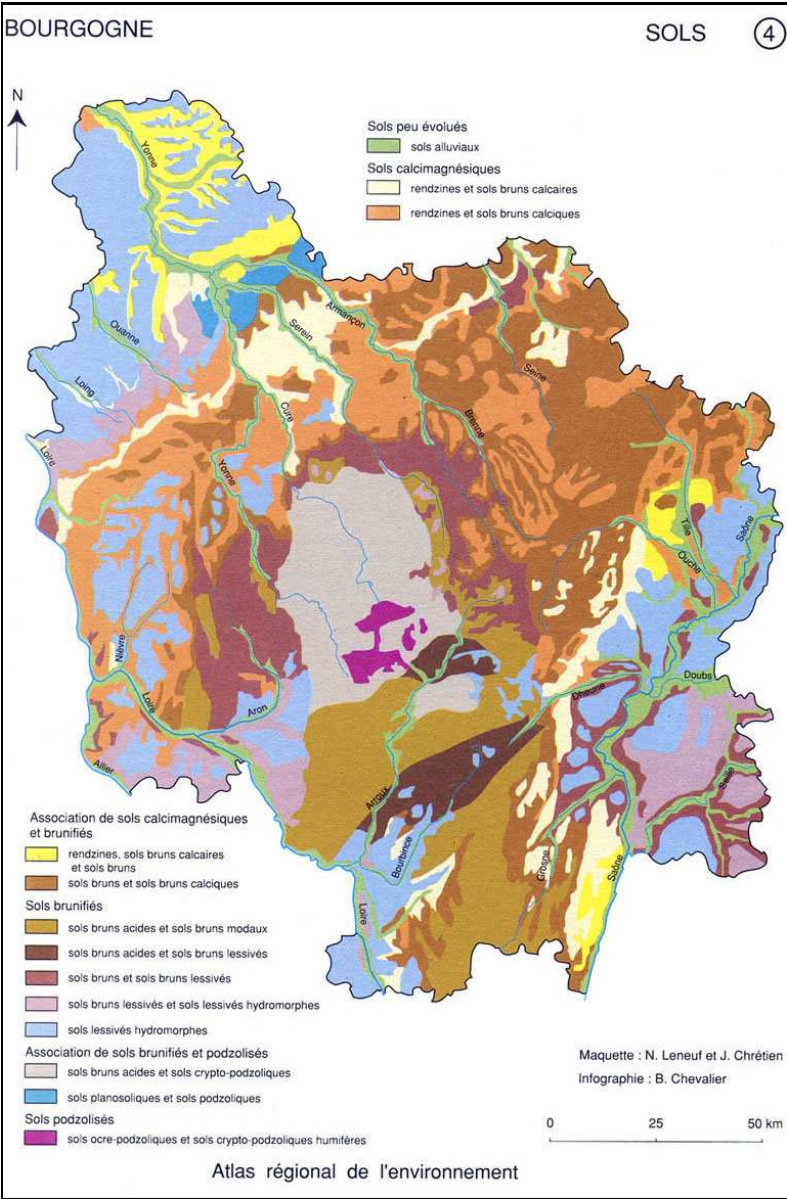
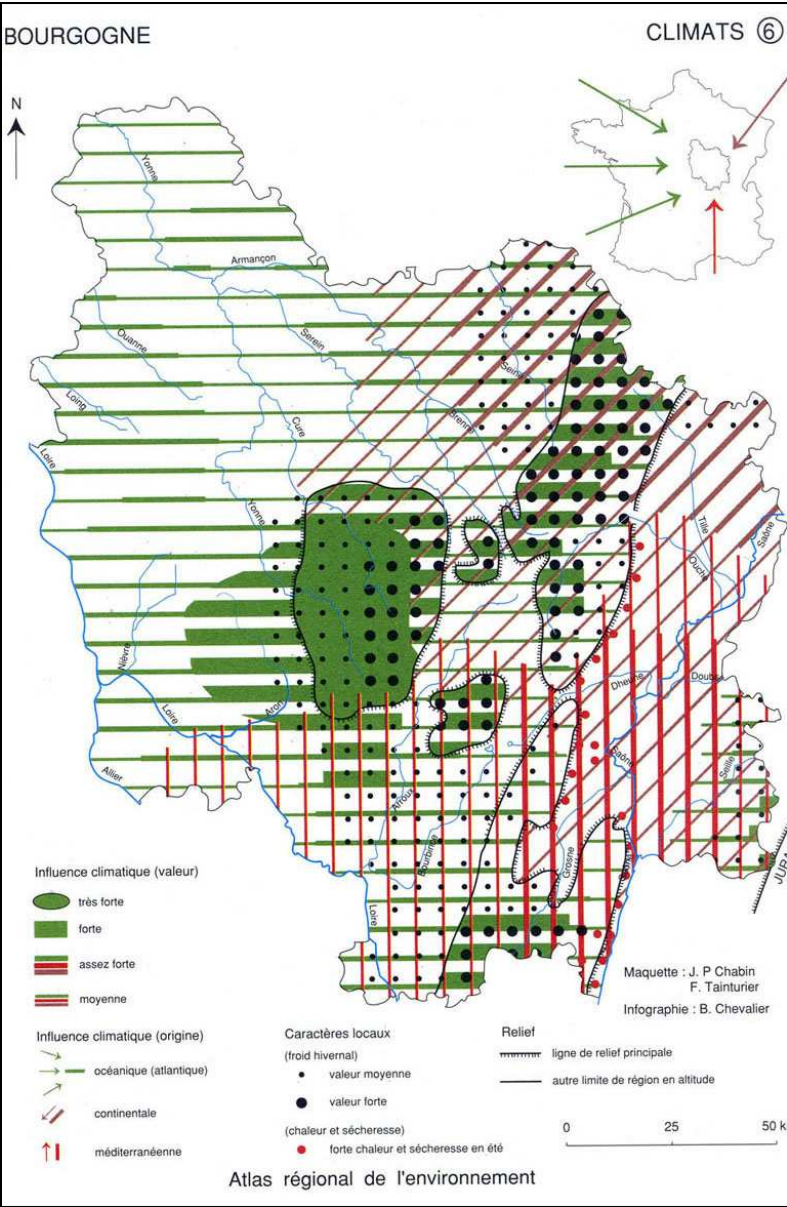
Doctorants : T. Adam,
 T. Stanislas

Post-doctorants : I. Anca

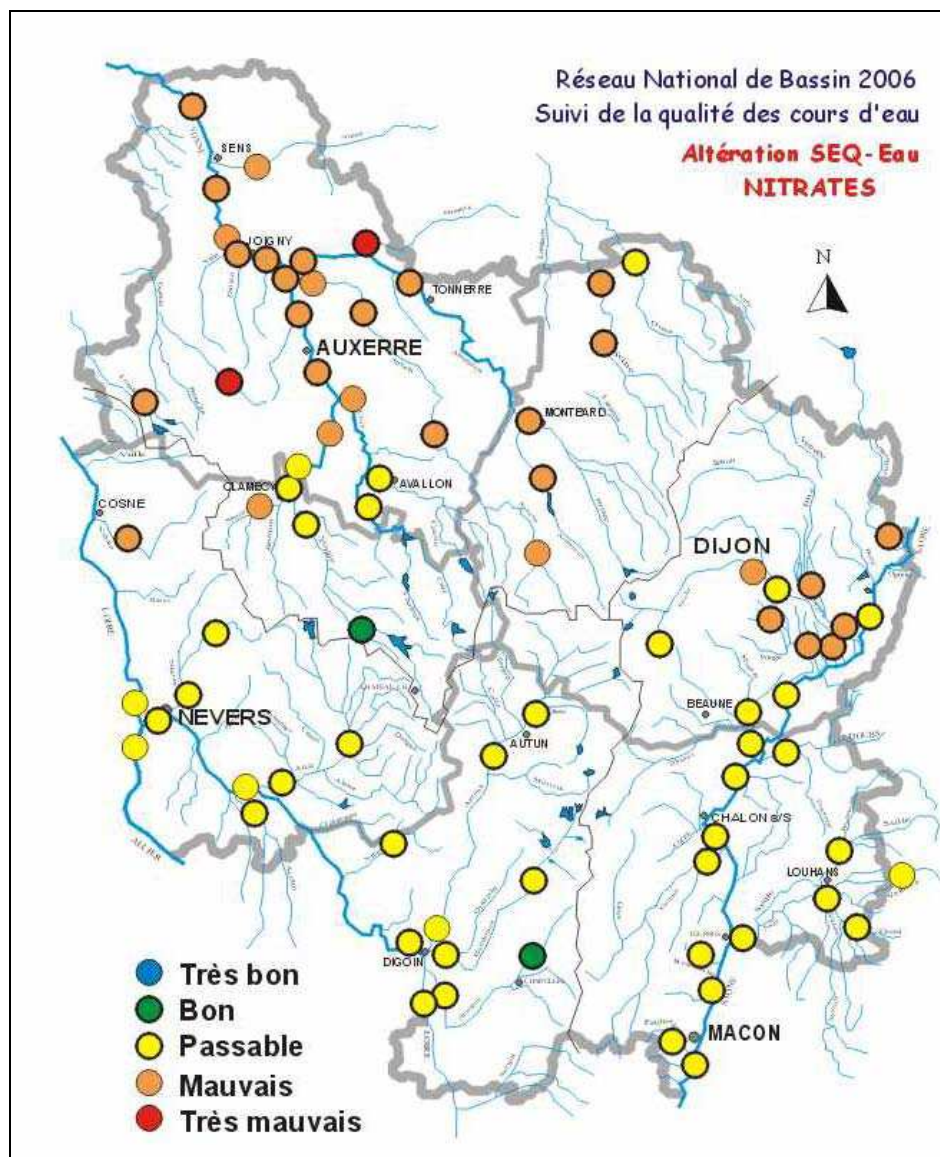
Centre de Microscopie

Lherminier J., IR INRA
 Noirot E., IE INRA
 Arnould C., AI INRA
 Bonnotte A., TR UB
 Michel J., TR INRA
 Alvarado C., Licence Pro

Annexe 3 : Climats et sols de Bourgogne (source Atlas régional de l'environnement)



Annexe 4 : Etat des eaux superficielles vis-à-vis des nitrates en Bourgogne
(source *Diren Bourgogne, Qualité des eaux superficielles en Bourgogne, Bilan 2006*)



Annexe 5 : Détails des calculs d'évaluation économique des services rendus par les CMA à l'échelle de l'exploitation agricole pour la culture d'oignon

En €/an		Coût des fertilisants en conventionnel à l'hectare	Coût des fertilisants en conventionnel au niveau de l'exploitation	Diminution permise par les CMA	Valeur du service
Meilleur apport en éléments nutritifs	Global	490 - 540	3724 - 4104	20 - 30 %	745 - 1231
	Détaillé				
	N	150 - 200	1140 - 1520	50%	570 - 760
	P	102	775	30%	232
	K	210	1596	20 - 30 %	319 - 479
	Mg	10	76		15 - 23
	Oligo-éléments	18	137		27 - 41
	Total				1163 -1535

(source des coûts à l'hectare : ValUnion)

En €/an		Coût des pesticides en conventionnel à l'hectare	Coût des pesticides en conventionnel au niveau de l'exploitation	Diminution permise par les CMA	Valeur du service
Bioprotection contre les stress biotiques	Insecticides	26	198	20 - 30 %	40 - 59
	Fongicides	367	2789		558 - 837
	Herbicides	211	1604		321 - 481
	Total	604	4591		919 - 1377

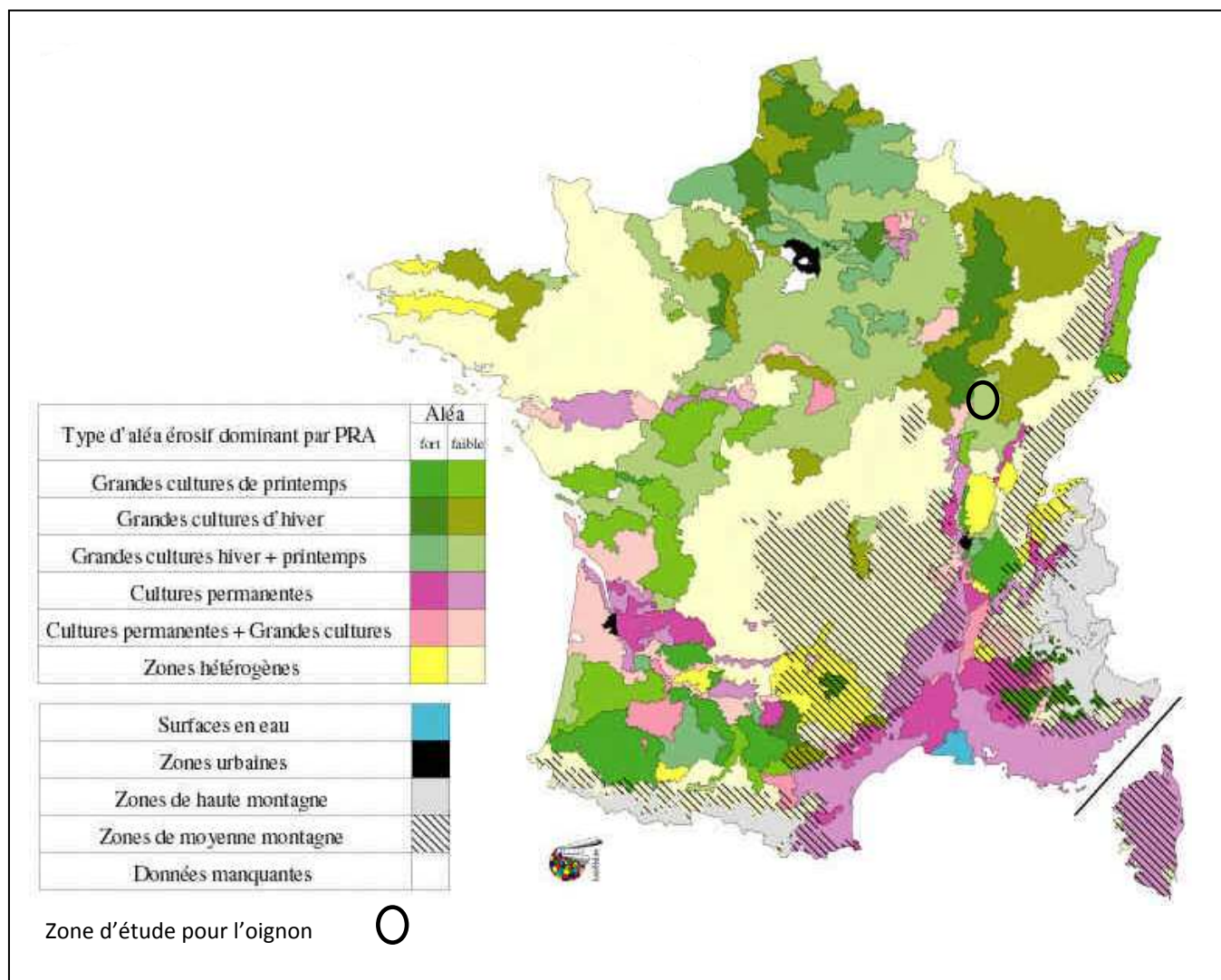
(source des coûts à l'hectare : ValUnion)

	Scénario	Volumes prélevés	Taux de la redevance	Montant de la redevance	Valeur du service
Augmentation de la tolérance aux stress abiotiques	Conventionnel	9120 - 12 160 m3	7,4 €/1000 m3	68 - 90 €	27 - 90 €
	Avec mycorhize	4560 - 8512 m3		52 - 63 €	
				0€ si prélèvement < 7000 m3	

(sources : ValUnion et Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse)

	SAU	Fixation supplémentaire de carbone	Valeur du carbone	Année	Valeur du service
Fixation du carbone	7,6 ha	3,7 T/ha	32 €/T	2010	900 €
			56 €/T	2020	1 575 €
			100 €/T	2030	2 812 €

Annexe 6 : Typologie des aléas d'érosions des sols par petite région agricole
(source INRA-IFEN, L'érosion hydrique des sols en France, 2002)



Annexe 7 : Détails des calculs d'évaluation économique des services rendus par les CMA à l'échelle de l'exploitation agricole pour la vigne

En €/an		Coût fertilisants en conventionnel à l'hectare	Coût en fertilisants en conventionnel au niveau de l'exploitation	Diminution permise par les CMA	Valeur du service
Meilleur apport en éléments nutritifs	Global	133	1370	20 - 30 %	274 - 411
	Détaillé				
	N	49	505	50%	252
	P	27	278	30%	83
	K	23	237	20 - 30 %	47 - 71
	Autres	34	350		70 - 105
	Total				452 - 511

(données à l'hectare tirées de la base Agreste, RICA 2008)

En €/an		Coût des pesticides en conventionnel à l'hectare	Coût des pesticides en conventionnel au niveau de l'exploitation	Diminution permise par les CMA	Valeur du service
Bioprotection contre les stress biotiques	Pesticides	639	6587	20 - 30 %	1317 - 1976
	Application	250 - 540	2575 - 5562		515 - 1669
	Total	889 - 1179	9162 - 12 149		1832 - 3645

(données à l'hectare tirées de la base Agreste, RICA 2008 et de Roby *et al.*, 2008)

	SAU	Fixation supplémentaire de carbone	Valeur du carbone	Valeur du service
Fixation du carbone	10,3 ha	3,7 T/ha	32 €/T	1 220 €
			56 €/T	2 134 €
			100 €/T	3 811 €

	Coût de l'érosion hydrique à l'hectare	Coût de l'érosion hydrique pour l'exploitation	Valeur du service (réduction de 30%)
Stabilité du sol	600 €/ha	6180 €	1854 €

Annexe 8 : Tableau présentant la situation économique moyenne des exploitations maraîchères et viticoles de Bourgogne

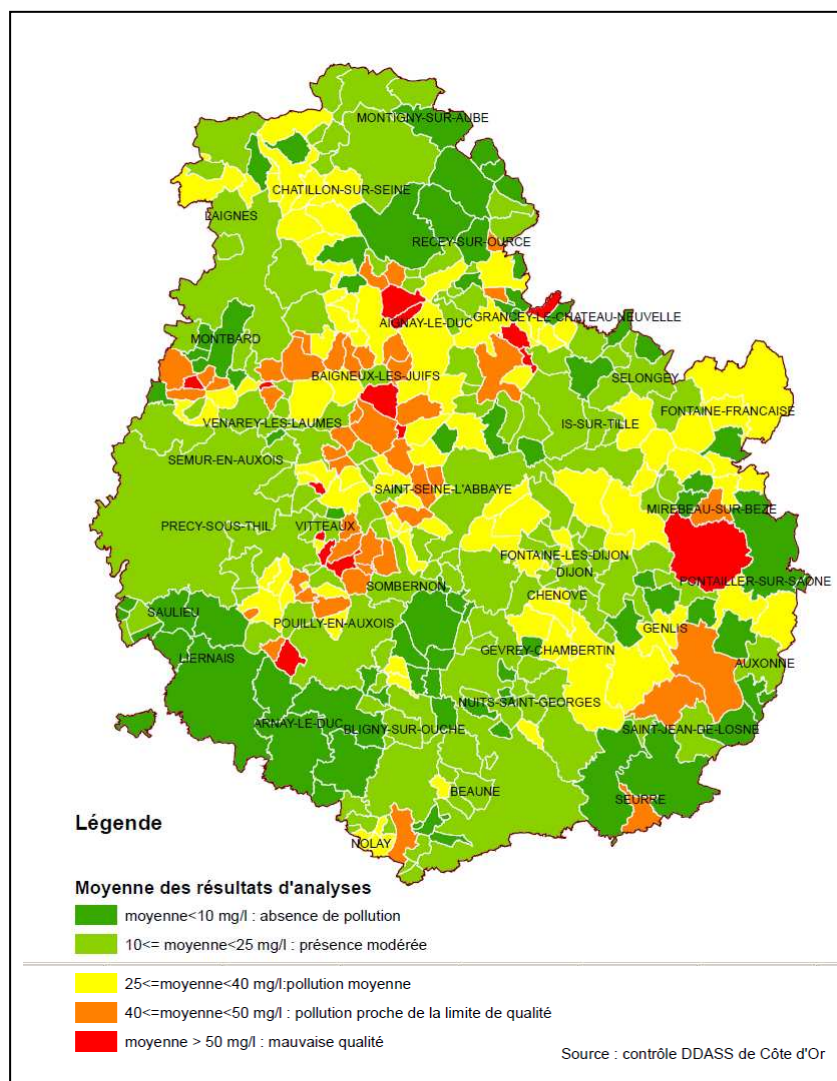
	Exploitation maraîchère		Exploitation viticole	
	A l'hectare	Pour 7,6 ha	A l'hectare	Pour 10,3 ha
Charges opérationnelles	5222 €/ha/an	39 687 €/an	2577 €/ha/an	26 543 €/an
Marge nette	1952 €/ha/an	14 835 €/an	7713 €/ha/an	79 444 €/an
Production brute	2546 €/ha/an	19 350 €/an	18 613 €/ha	191 713 €/an

(données à l'hectare tirées de la base Agreste, RICA 2008)

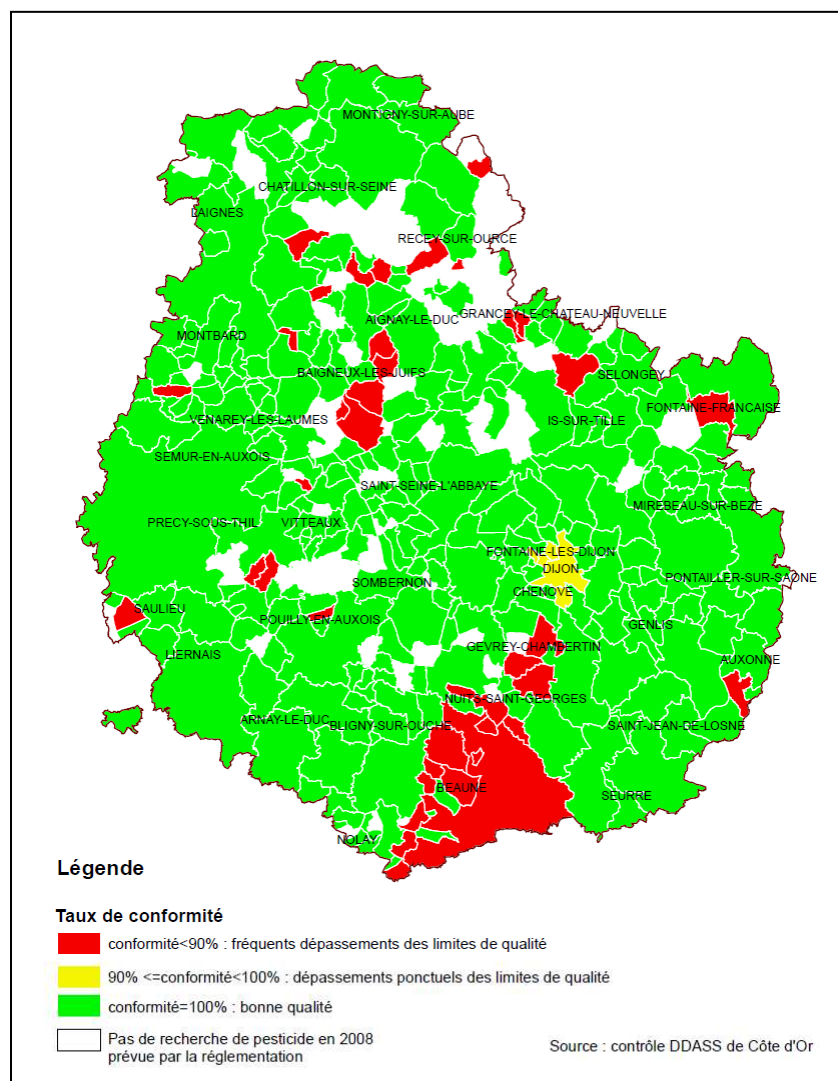
Annexe 9 : Détails des calculs de l'évaluation du bénéfice annuel lié à la réduction de la perte de plants à la plantation de la vigne

Nombre de plants repiqués	Perte normale	Perte avec mycorhization	Prix d'un plant	Bénéfice à l'hectare	Bénéfice à l'échelle de l'exploitation
50 à 180 / ha	14 % soit 7 à 26 plants	2 % soit 1 à 4 plants	1€	6 à 22 €	62 à 227 €

Annexe 10 : Teneur en nitrates des eaux distribuées en Côte d'Or en 2008



Annexe 11 : Teneur en pesticides des eaux distribuées en Côte d'Or en 2008





Résumé :

En se basant sur la culture de l'oignon et de la vigne en Bourgogne, nous nous sommes intéressés à l'utilisation de champignons mycorhizogènes à arbuscules (CMA) dans les cultures. Ceux-ci, existant depuis plus de 450 millions d'années, vivent en symbiose avec les racines de plus de 80% de plantes terrestres dont la grande majorité des plantes cultivées par l'Homme. Suite à de nombreux essais de recherche sur le domaine, le constat d'une plus grande vigueur des plantes est établi. En effet, l'inoculation de CMA permet de restaurer plusieurs services écosystémiques naturellement fournis par la biodiversité du sol mais fortement atténués par l'utilisation parfois abusive des produits chimiques. Ces services concernent l'apport en éléments nutritifs à la plante, la bioprotection contre les stress biotiques, la tolérance aux stress abiotiques, la stabilité du sol, la fixation de carbone ou encore la qualité des aliments pour la santé humaine.

Le stage a consisté en la caractérisation de ces services puis en l'élaboration d'une méthodologie afin de leur attribuer une valeur monétaire à l'aide des méthodes existantes les plus adaptées. Cette méthodologie a ensuite été appliquée à l'échelle d'une exploitation agricole et d'un territoire de production en s'appuyant sur les itinéraires techniques conventionnels des 2 cultures d'étude, l'oignon et la vigne. Les résultats révèlent que la mycorhization contrôlée associée à des pratiques plus respectueuses de l'environnement est intéressante économiquement, même pour une période de 30 ans. Ce constat s'applique à la culture d'oignon comme à celle de la vigne, même si le scénario est plus intéressant pour les cultures pérennes.

Mots-clés : évaluation économique, services écosystémiques, mycorhize à arbuscule, oignon, vigne, Bourgogne

Abstract :

Basing on the onion and vine cultivation in Burgundy, we have been interested in the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in crops. They have existed for 450 millions of years and have lived in symbiosis with the roots of over 80% of land plants, of which the large majority of plants cultivated by mankind. Following numerous research tests about this field, a higher vigour of plants is noticed. Indeed, the AMF inoculation allows restoring several ecosystemic services. They are normally provided by soil biodiversity but are badly weakened by the use, sometimes excessive, of chemical products. These services are related to the nutritive elements provision to the plant, the plant bioprotection against biotic stresses, the plant tolerance against abiotic stresses, the soil stability, the carbon storage, or the plant quality for human health.

The internship consisted in characterizing these services, then in developing a methodology in order to give them a monetary value, by the aid of the most adapted existing methods. Then, this methodology has been applied, at a farm and a territory scale, referring to conventional agricultural practices of the two studied crops, the onion and the vine. The results have revealed that the crops mycorrhization associated with more environmental respectful practices is economically attractive, even for a 30 years period. This is true for both the onion and the vine cultivation, even if the scenario of mycorrhization is more attractive for perennial crops.

Keywords : economic valuation, ecosystemic services, arbuscular mycorrhizal fungi, onion, vineyard, Burgundy