Baptiste SAUNIER

RAPPORT DE STAGE
ETUDE MYCOLOGIQUE AU SEIN DE LA FORET DE CLOUDBRIDGE (COSTA RICA)

20 Avril 2016-15 Juillet 2016

Université des sciences et techniques de Limoges
Licence professionnelle d'aménagement arboré et forestier

REMERCIEMENTS

Je remercie la Réserve Naturelle de Cloudbridge et tout particulièrement Frank Spooner (manager de la réserve), Jennifer Powell (biologiste) et Tom Gode (directeur) de m'avoir donné l'opportunité d'entreprendre un stage au Costa Rica.
Ce stage m'a beaucoup apporté quant aux différentes démarches nécessaires pour d'appréhender un nouveau milieu comme la forêt tropicale humide de Cloudbridge. J'ai apprécié m'investir dans des travaux d'étude basés sur la compréhension des populations du domaine des Fungi*1. Cette expérience m'a aussi permis de découvrir les différents centres d'intérêts d'étude de la réserve. Avec l'appui de stagiaires et surtout de l'équipe salariée, j'ai appris diverses techniques d'étude de populations animales (hiboux et grenouilles) et végétales (canopée). Merci à Marian Barz de m'avoir fait partager son savoir sur son domaine qu'est l'étude de la canopée de Cloudbridge.

Puisse cette expérience me permettre un jour de travailler dans le domaine forestier, comme je le souhaitais déjà avant, mais que mon stage a confirmé.

Baptiste's presentation

INTRODUCTION

La forêt est un écosystème, définit par un biotope et une biocénose bien précis. Il existe de nombreux types de forêts dont la forêt tropicale humide dite « forêt de nuage ». Ce type de forêt est connu pour sa diversité floristique et faunistique. La mycocénose prend une place importante dans ce milieu. En effet, la présence de champignons n'est pas anodine dans ces forêts. Le champignon tient un rôle indispensable au maintien de cet écosystème particulier.

I. LE COSTA RICA _____ *1*
A. Un pays aux richesses incommensurables _____ **1**
1. Principaux revenus économiques _____ 1
2. Les forêts tropicales _____ 3
B. Un pays entaché par la déforestation _____ **4**
1. Les courants de pensée (protection des milieux naturels) _____ 4
2. Les moyens de protection des espaces naturels sensibles à la déforestation _____ 4
II. LA RESERVE NATURELLE DE CLOUDBRIDGE _____ *5*
A. Forêt Tropicale Humide « forêt de nuages » _____ **5**
B. Objectifs et besoins de la réserve _____ **6**
C. Mon ordre de mission _____ **7**
III. MA MISSION _____ *9*
A. Les champignons et la forêt tropicale humide « forêt de nuages » _____ **9**
1. Les champignons _____ 9
B. Méthodes/dynamique de travail _____ **12**
1. Recherche documentaire _____ 12
2. Préparation des sorties terrains _____ 14
C. Collecte des informations de la base de données _____ **15**
1. Méthode _____ 15
D. Récolte et analyse des spores des champignons _____ **16**
1. Méthode _____ 16
2. Remarques _____ 17
E. Etude de l'évolution de populations de champignons _____ **18**
1. Méthode _____ 18
F. Etude de relations entre les types d'arbres et les types de champignons _____ **20**
1. Méthode _____ 20
IV. Résultats et analyses de mes études _____ *21*
A. Mise à disposition d'une base de données _____ **21**
B. Répartition des espèces fongiques sur différents sentiers _____ **22**
C. Analyses des résultats de l'étude de relations entre arbres et champignons _____ **23**
1. Site 1 (Sendero Principal Chirripo) et site 2 (Sendero Skutch) _____ 23
2. Site 3 (Sendero Montana) et Site 4 (Sendero Gavilan) _____ 25
3. Site 5 (Sendero Gavilan) et Site 6 (Sendero Principal Cloudbridge) _____ 27
4. Conclusion générale de l'étude des sites _____ 28
D. Facteurs de croissance des champignons _____ **29**
1. Les types de supports _____ 29
2. L'influence de la météo _____ 30
3. Les modes de vie _____ 31
E. Un règne parallèle : les protistes _____ **32**

REPERTOIRE ILLUSTRATIF

ANNEXES

ANNEXE 1- Zonage de Cloudbridge selon l'âge des forêts *(BARTZ Mariam)*

ANNEXE 2- Zonage de Cloudbridge selon le type de forêt *(BARTZ Mariam)*

ANNEXE 3- Carte des sentiers de la réserve de Cloudbridge *(GOOGLE EARTH-Cloudbridge)*

ANNEXE 4- Carte représentative du nombre d'espèces de champignons par sentier *(GOOGLE EARTH-Cloudbridge)*

ANNEXE 5- Carte de situation spatiale des sites d'études particuliers (*GOOGLE EARTH)*

ANNEXE 6- Tableau simplifié de la classification des EUCARYOTES

ANNEXE 7- Tableau simplifié de la classification des champignons

ANNEXE 8- Tableau simplifié de la classification des Basidiomycota

ANNEXE 9- Tableau simplifié de la classification des Ascomycota

ANNEXE 10- Graphiques de présence des principales familles de champignons selon l'altitude et la distance

ANNEXE 10 (suite)- Graphiques de présence des principales familles de champignons selon l'altitude et la distance

ANNEXE 11 : Synthèse des principales familles de champignons par sentier

ANNEXE 12 : Extrait de la base de données

PHOTOGRAPHIES

Photographies 1 : Animaux de Cloudbridge

Photographies 2 : Forêts de nuages de la Réserve Naturelle de Cloudbridge

Photographie 3 : Descriptif d'un sporophore de champignon

Photographies 4 : Descriptif d'une volve et d'une couronne d'Amanita

Photographie 5 : Légende d'un mycélium de champignon basidiomycota

Photographie 6 : Espace de travail pour récupérer les spores

Photographie 7 : Spores de champignons

Photographies 8 : Champignons associés à leur sporée

Photographie 9 : Boussole d'orientation

Photographie 10 : Densimètre forestier

Photographies 11 : Champignons spécifiques du site 1

Photographies 12 : Champignons spécifiques du site 2

Photographies 13 : Champignon Helvella sulcata du site 3

Photographies 14 : Champignon Gyrodon monticola du site 4

Photographies 15 : Ramaria cyanocephala et du Cecropia obtusifolia du site 5

Photographies 16 : Echinoporia aculeifera du site 6

Photographies 17 : Protistes 6

REPERTOIRE ILLUSTRATIF (suite)

CARTES

Carte 1 : Zonage par région du Costa Rica *(Imagenes-Tropicales-Costa)*

Carte 2 : Situation géographique de Cloudbridge *(GOOGLE EARTH)*

Carte 3 : Répartition des différentes forêts de nuages dans le monde *(WIKIPEDIA)*

MONTAGES PHOTOGRAPHIQUES

Montage photographique 1 : Relevé de surface *(GOOGLE EARTH)*

Montage photographique 2 : Transect *(GOOGLE EARTH)*

GRAPHIQUES

Graphique 1 : Données pluviométriques générales du Cerro Chirripo *(METEO BLUE)*

Graphique 2 : Principales familles fongiques du sentier Sendero Chirripo

Graphique 3 : Données climatiques du Cerro Chirripo mars à juillet 2016 *(METEO BLUE)* 1

I. LE COSTA RICA

A. Un pays aux richesses incommensurables

1. Principaux revenus économiques

Le Costa Rica est un pays d'Amérique centrale d'une superficie de 51 000 Km². Ce pays, situé entre le Nicaragua et le Panama (Carte 1), a pour capitale San José (ville située aux abords de la chaine de montagne Talamanca). Le Costa Rica est actuellement une démocratie comptant environ 3.8 millions d'habitants. La majeure partie de la population est d'origine espagnole, amérindienne et/ou africaine (le peuple autochtone ayant été quasiment anéanti dans le passé par les colonies espagnoles (conquistadores)). Les Costariciens, nom attribué à la population du Costa Rica, sont aujourd'hui couramment appelés « Ticos » (nom plus familier).

La particularité du Costa Rica réside dans sa situation géographique lui faisant bénéficier d'une position idéale pour le commerce. En effet, étranglé entre l'océan pacifique et l'océan atlantique, le Costa Rica est la voie de commerces parfaite pour faire transiter des marchandises. Le pays s'est donc appuyé sur la culture de diverses essences végétales destinées à l'exportation jusqu'en 1970. **Les produits les plus cultivés sont la banane, le café, la canne à sucre, l'ananas et le cacao.**

Carte 1 : Zonage par région du Costa Rica

Cette particularité géographique est aussi un atout considérable pour le Tourisme (premier facteur de développement économique du pays grâce à sa richesse floristique et faunistique). De nombreux écosystèmes façonnent le pays et suscitent donc l'intérêt des touristes. Le Costa Rica est une parcelle de terre aux caractères uniques (topographie et conditions climatiques bien spécifiques). Le pays est fortement influencé par divers climats venant des côtes environnantes (côtes Caraïbes et Pacifique). Il existe d'autres espaces (souvent de pleines terres) caractérisés par des climats et microclimats bien particuliers qui modélisent le paysage. La topographie du Costa Rica est aussi due aux mouvements des plaques tectoniques : **Plaque des Cocos et Plaque des Caraïbes (formant la topographie du pays actuel)**

Le Costa Rica est un vaste territoire pour la richesse floristique et faunistique qu'il offre. Près de 6% de toutes les espèces végétales et animales de la planète (plus de 850 espèces d'oiseaux y vivent) se trouvent au Costa Rica. Le tourisme s'y est fortement développé et est considéré aujourd'hui comme un élément économique porteur pour le pays.

Le Costa Rica est un pays attractif pour sa diversité végétale. Près de **12 000 plantes vasculaires** ont été recensées dont **1 400 espèces d'orchidées** et près de **2 000 espèces d'arbres**. La faune prend aussi une place majeur (**34 000 espèces d'insectes, 1 000 espèces de papillons, 850 espèces d'oiseaux** dont **6 sont endémiques, 160 espèces d'amphibiens et 220 espèces de reptiles).** Le pays compte aussi de nombreux mammifères terrestres dont le paresseux tridactyle, des singes (singe araignée, singe hurleur, le capucin et le singe écureuil), le jaguar (observé en saison sèche), le coati à nez blanc et bien d'autres espèces encore.

La richesse du Costa Rica s'appuie donc sur une grande diversité floristique et faunistique. La jungle est la forme de paysage qui définit le mieux le pays. C'est-à-dire un espace sauvage riche, où l'homme n'impacte pas le cours des cycles naturels (la nature s'épanouit sans contraintes extérieures).

Ce qui fait la richesse de ce pays est sa diversité écosystémique***2** sur une si petite zone. Les principaux écosystèmes caractérisant le pays sont :

- **Vallées plantées de bananiers, de caféiers et de rizières (écosystème artificiel),**
- **Domaines volcaniques (sur les chaines de montagnes au centre du pays),**
- **Plages de sable blanc/noir/gris,**
- **Lagunes herbacées,**
- **Forêts tropicales,**
- **Mangroves,**
- **Marais, …**

***2 Ecosystémique : C'est la diversité des écosystèmes**

(Milieu caractérisé par une biocénose (communauté d'êtres vivants) et un biotope (climat, sol,…) particulier).

2. Les forêts tropicales

Parmi les forêts tropicales du Costa Rica on distingue la forêt tropicale sèche, la forêt tropicale humide et plus spécifiquement la forêt tropicale d'altitude.

La forêt tropicale humide aussi appelé pluvisylve ou encore forêt ombrophile (qui aime l'ombre et l'humidité) tient une place majeur dans le paysage. D'après Mr. Schimper, cette forêt se définie tel un écosystème décrit par son caractère **sempervirent (toujours vert)**, ses essences **hygrophiles (qui aiment l'eau)**, sa **hauteur moyenne de 30 mètres** et **l'**abondance de **lianes et de plantes épiphytes (espèces qui vivent sur une autre plante sans la parasiter) herbacées ou ligneuses**.

Cette pluvisylve***3** est caractérisée par 4 strates (étages de végétation) : (*en partant du niveau le plus bas)*

- 1ère strate : Végétation au sol où seulement 1% de lumière parvient à pénétrer (Fungi,..)
- 2ème strate : Végétation dite intermédiaire (arbustes,…)
- 3ème strate : Canopée (partie terminale des cimes) rassemblant l'ensemble des essences héliophiles (qui aiment la lumière). Ce jardin suspendu se compose d'orchidées, de lianes, de broméliacées et de plantes épiphytes. Ces essences se développent grâce aux poussières ainsi qu'à l'eau en suspension dans l'air.
- 4ème strate : Végétation émergeantes (grands arbres)

La forêt tropicale sèche est caractérisée principalement par une **palette végétale arborée à feuillage caduque**. Ce milieu laisse place à des espaces de savanes où émergent des végétaux arbustifs. Ce type de forêt se situe dans le nord du Costa Rica dans la région de Guanacaste, région qui connait la plus longue saison sèche du pays. Les costariciens y pratiquent l'élevage de Zébus.
La forêt de haute montagne (dont la montagne Cerro Chirripo culminant avec 3 820 mètres d'altitude) se découpe en plusieurs parties.

- Dans les régions les plus basses (700-900 mètres d'altitude) la jungle est similaire à celle observée en Amérique du Sud.
- A une altitude de 1 500 mètres, la forêt est définie comme de basse montagne.
- Et enfin à 3 000 mètres, la forêt est décrite comme étant une « rain forest » (c'est-à-dire forêt de pluie ou de brouillard) et une forêt subalpine. La « rain forest » est caractérisée par des essences de lichens, mousses, fungi et protistes (dû à l'importance de l'humidité et des températures assez fraiches). La forêt subalpine ou forêts de pin et d'alpage évoque les paysages européens (surtout la Suisse). Elle est caractérisée par des conifères et un climat plutôt tempéré (avec des plantes herbacées ainsi que des petits arbustes).

***3 Pluvisylve : Forêt sempervirente** des régions humides et chaudes (pluie fréquente).

B. Un pays entaché par la déforestation

Le Costa Rica reste un pays réputé pour ses espaces naturels, bien que ce pays ait connu un tournant avec les nombreuses déforestations. Ce phénomène a atteint son essor en 1990. La déforestation résulte de la demande croissante de produits alimentaires, du développement de réseaux routiers, de l'étalement des villes sur les terres arables (les plus fertiles du pays), du développement d'un réseau de centrales hydroélectriques et de barrages. Depuis cette année, le Costa Rica ne cesse de porter de l'intérêt pour son milieu (il évite la fragmentation de l'habitat) en le protégeant et en sensibilisant la population locale ainsi que les touristes aux enjeux d'aujourd'hui. Aujourd'hui, il se trouve être l'un des leaders au niveau mondial dans le domaine de la protection des tropiques (l'ensemble des principes tournés vers la protection de l'environnement est inscrit dans la constitution du pays). La chaine de montagnes de Talamanca a connu une période de déforestation qui a débuté en 1950 avec les colons et compagnies de bois européennes (exploitation du bois de chêne : fabrication de fournitures/tonneaux pour le vin, charbon de bois).

1. Les courants de pensée (protection des milieux naturels)

La politique du pays est tournée vers la protection de la nature depuis 1970. Depuis, il existe 2 types d'écoles interprétant différemment la manière d'appréhender la gestion des espaces naturels:

-Le premier courant de pensée « parquiste » s'inspire des expériences effectuées en Amérique du Nord (concernant les parcs nationaux). Cette idéologie part du principe qu'il est essentiel de mettre de côté les populations rurales dans l'ensemble des démarches effectuées.

-Le second courant de pensée se centre sur l'idée d'intégrer les populations rurales en les faisant intervenir, contrairement au parquisme, dans la gestion à long terme des milieux (concernant les ressources des parcs). Leur objectif est de valoriser et de travailler davantage sur le concept de **biodiversité*4**.

2. Les moyens de protection des espaces naturels sensibles à la déforestation

L'implantation de végétaux dans l'ensemble du Costa Rica permet de stopper et de remédier à la déforestation des années 1900. Tous les programmes de protection ont abouti à la mise en place en 1989 de l' « Institut National de la BIOdiversité » (INBIO). L'INBIO réalise des inventaires d'espèces végétales et animales des forêts tropicales dont moins de 10 % ont déjà été recensées. Le Costa Rica s'est décidé à mettre en place un système de parcs nationaux. Dès 1960, cette idée s'est développé jusqu'à devenir **« Sistema Nacional de Areas de Conservacion*5 »**. Ce système englobe aujourd'hui **186 secteurs protégés dont 32 parcs nationaux, 8 réserves biologiques, 13 réserves forestières et 51 réserves animalières**. Néanmoins, ce concept de parcs n'est pas sans contraintes. Une partie de la population et des sociétés travaillant dans le pays ont protesté contre cette idée. En effet, les habitants de la campagne communément appelés « campesinos » ne sont plus libres d'effectuer leurs activités habituelles, c'est à dire pêcher, chasser ou même entretenir une parcelle de terre. De leur côté, les exploitants de bananiers et les sociétés minières sont limités dans leur possibilité d'exploiter des terrains à fort intérêt économique (gisement, sol adapté à la culture). Aujourd'hui l'économie du pays tourne surtout grâce au tourisme, aux campagnes de protection (parcs, réserves, …) et à la sensibilisation sur l'importance de conserver et protéger l'ensemble des écosystèmes.

***4 Biodiversité :** désigne le nombre des espèces vivantes qui peuplent un lieu donné **(au sens écosystémique).**

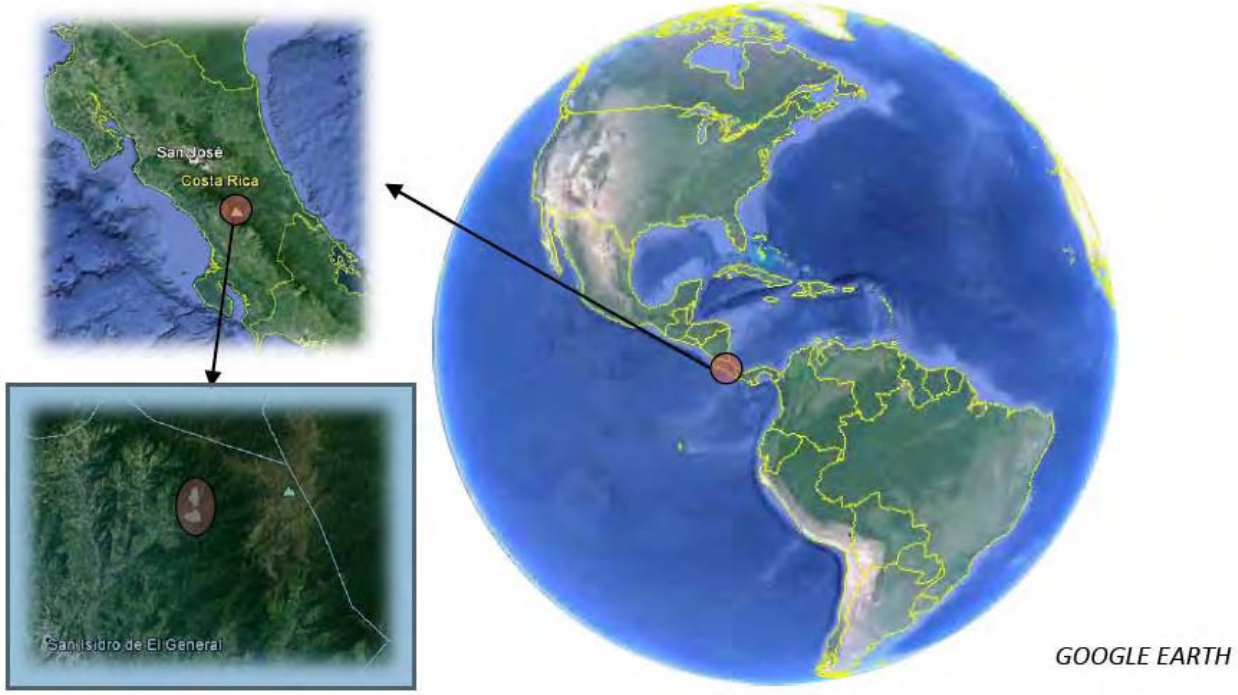
***5 Sistema Nacional de Areas de Conservacion :** système National des zones de conservation.

II. LA RESERVE NATURELLE DE CLOUDBRIDGE

A. Forêt Tropicale Humide « forêt de nuages »

La réserve naturelle de Cloudbridge (Carte 2) a été créée en 2002 (avec pour objectif la protection de l'environnement et la sensibilisation) par les New-Yorkais Ian et Genevieve Giddy pour apporter une solution à la déforestation. Cette organisation est aujourd'hui gérée par 3 personnes permanentes ainsi qu'un nombre variable de bénévoles (stagiaires,...)… Cette réserve couvre près de 182 ha sur deux flancs de montagne dont le Cerro Chirripo.
La forêt de Cloudbridge est une forêt tropicale humide d'altitude et une forêt de nuage (forêt immergée dans les nuages/le brouillard) située sur la Cordillère de Talamanca côté pacifique, aux abords de la montagne « Cerro Chirripo ». Toutes les forêts de nuages n'ont pas les mêmes propriétés à cause de leur topographie, leur géologie et leur climat qui leur est propre.
Formation de la forêt de nuage : *lorsque l'air chaud et chargé d'humidité vient frapper les flancs de Montagne de la réserve de Cloudbridge, celui-ci (air chaud) continue sa course en prenant de l'altitude. Cette prise d'altitude entraine par la suite un refroidissement conséquent de l'air et la condensation de l'humidité. Ce phénomène aboutit à la formation de nuages dit orographiques*[6] à l'origine des forêts de nuage.*

Cartes 2 : Situation géographique de Cloudbridge



*[6]**Orographiques :** « **Nuage formé par le soulèvement dû au relief, en amont ou en aval de l'obstacle.** C'est un qualificatif qui est lié à son origine. » *Wikipédia* 6

B. Objectifs et besoins de la réserve

La réserve de Cloudbridge est un lieu de recherche et d'étude au sein d'une forêt tropicale humide. De nombreuses personnes viennent bénévolement à l'année, afin de mettre à profit leurs connaissances dans divers domaines dont la flore (différentes strates), la faune (Photographies 1) avec des grenouilles, serpents, pumas, hiboux, crickets, papillons, oiseaux, … ainsi que d'autres domaines. La présence de volontaires est vitale pour la réserve afin de mieux comprendre le milieu. Les projets réalisés sur l'année se centrent essentiellement sur des sujets en manque d'informations.

La réserve de Cloudbridge se donne comme principaux objectifs ; la reforestation et la préservation de son domaine forestier ainsi que la sensibilisation des populations locales et extérieures sur l'enjeu capital des forêts dans le monde. Cloudbridge s'engage tout particulièrement dans les campagnes de plantations dans un but de reforestation. Afin de sensibiliser les plus jeunes générations, la réserve organise aussi des rencontres pédagogiques sur le thème du réchauffement climatique et l'importance des forêts au Costa Rica.

La reforestation est un enjeu primordial pour la réserve, c'est pourquoi chaque année, lorsque la main d'oeuvre le permet, des essences d'arbres sont plantées. Ce sont des essences indigènes ou à fort potentiel commercial de reboisement : Quercus costaricensis, Quercus rapurahuensis, Quercus seemannii, Alnus acuminata, Sapium pachystachys, Citharexylum caudatum, Cornus disciflora, Tecoma stans, Persea caerulea, Manilkara zapota, Ulmus mexicana, Cedrela tonduzii, Cupressus lusitanica, Tournefortia volubilis, Magnolia poasana et Ocotea ira.

Photographies 1 : Animaux de Cloudbridge

C. Mon ordre de mission

A l'échelle mondiale, les forêts de nuages (Carte 3) sont les écosystèmes les plus menacés. La forêt tropicale humide de Cloudbridge (forêt d'altitude de la chaine de montagne Talamanca) a été classée parmi les zones en déclin. Elle fait partie d'un des 34 « Biodiversity HotSpot » définis en 2000. Néanmoins, ces modes de classification ne comprennent pas les champignons (alors que ces espèces sont primordiales au maintien des forêts dont la forêt tropicale humide).
Le milieu forestier de Cloudbridge est aujourd'hui une zone menacée par des phénomènes de déforestation et de changements climatiques qui se traduisent par une hausse des températures et des précipitations (plus intenses) qui provoquerais des saisons sèches et humides beaucoup plus rudes. Si la hausse de l'humidité est favorable à la formation des nuages, il en est tout autrement pour la hausse des températures. Plus les températures augmentent et plus la forêt de nuage perd de sa superficie (car elle prend de l'altitude).

Carte 3 : Répartition des différentes forêts de nuages dans le monde

La réserve de Cloudbridge est un outil de protection mais aussi un outil d'étude. Cette organisation permet de combler le manque d'information (sur le végétal, la faune, les champignons, …), de comprendre comment évolue le milieu et de réagir en conséquence. La grande majorité des travaux réalisés se base sur le règne du végétal et de la faune. Durant ma période de stage, plusieurs missions m'ont été attribuées. Dans un premier temps, j'ai participé à une étude sur la canopée avec un autre stagiaire. Ces sorties sur le terrain m'ont permis d'enrichir mes connaissances dans le domaine d'étude du règne végétal. Dans un second temps, j'ai pris en charge le suivi de hiboux durant 1/2 semaines par mois dès la nuit tombante.
Ce suivi permet de localiser et recenser les populations de hiboux. En parallèle de ces travaux d'études (sur le règne végétal et animal), je me suis intéressé pendant 3 mois au règne des 8

champignons et son rôle dans le développement des forêts (sujet sur lequel la réserve porte beaucoup intérêt).
Ce thème du stage porte sur le règne des champignons, étroitement lié au monde du végétal et de la faune. Mon étude est donc un moyen de montrer en quoi le règne des champignons prime dans le maintien des écosystèmes forestiers. Je me suis donc posé la question de l'importance de la « mycocénose*[7] » dans la conservation de la Forêt Tropicale Humide dite « Cloud forest » (Photographies 2) de la réserve naturelle de CLOUDBRIDGE au Costa Rica. La perte de diversité affectant le règne des champignons peut-elle entrainer un déséquilibre dans l'écosystème forestier de Cloudbrige ?

Photographies 2 : Forêts de nuages de la Réserve Naturelle de Cloudbridge

***[7]Mycocénose : ensemble des espèces fongiques vivantes et coexistant** dans un espace écologique donné (ou sur un même biotope) et leurs interactions. La mycocénose s'apparente à la biocénose mais de manière beaucoup plus ciblée sur les champignons.

III. MA MISSION

La réserve de Cloudbridge ne possède aucune donnée concernant les populations de champignons, leur diversité et leur rôle dans l'équilibre de la forêt de nuage. ***Mon travail s'est donc orienté vers l'étude quantitative et qualitative de ces populations et leur relation avec le développement de la forêt tropicale humide dite 'Forêt de nuages*[8]'.***

A. Les champignons et la forêt tropicale humide « forêt de nuages »

1. Les champignons

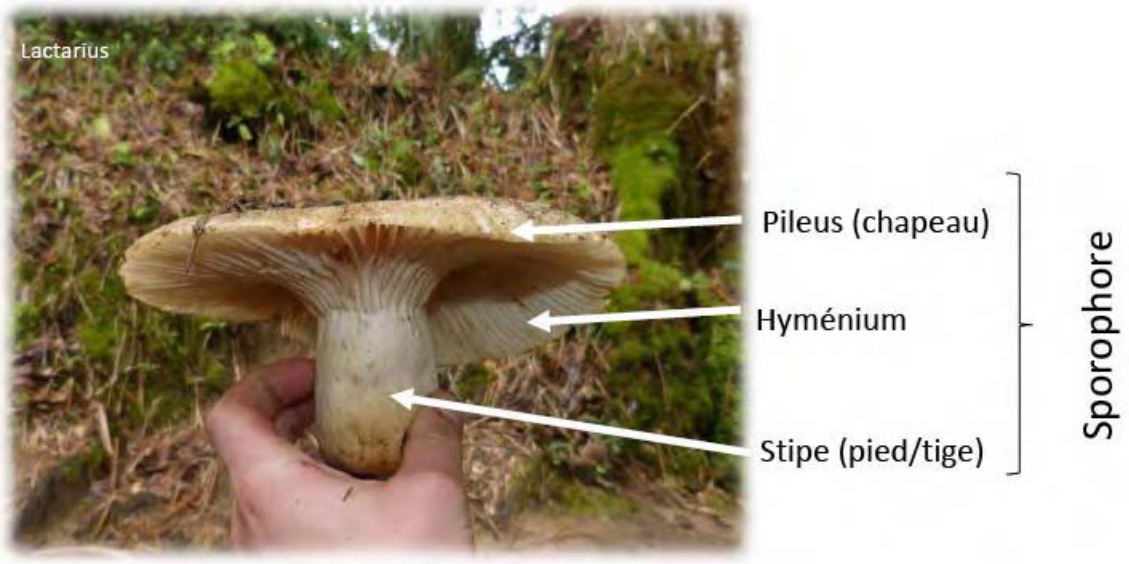
Les champignons font partie du domaine des Eucaryotes qui comprend également les végétaux, animaux et protistes (Annexe 6).

Le règne des champignons est lui-même divisé en 4 principaux embranchements : *Basidiomycota*, *Ascomycota*, *Zygomycota* et *Chytridiomycota* (Annexe 7). Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Forment un *mycélium* (appareil végétatif qui s'apparente aux racines chez les plantes),
- Organismes *hététrophes* (vivant au dépend de matière organique préformée),
- Organismes *absorbotrophes* (mode d'ingestion de la matière organique),
- Prolifération par les spores (s'apparente à la graine chez les plantes),
- Organisme *thallophytes* (ne possède pas de feuilles, racines et de tige),
- Paroi cellulaire composée de *chitine*.

Mon étude est orientée sur deux embranchements: Basidiomycota et Ascomycota. Ils sont les plus faciles à identifier car ils sont en majorité visibles à l'oeil nu. Ces deux embranchements ont la particularité d'être constituées d'un *sporophore* (partie visible) et d'un mycélium (partie non visible). Le sporophore (Photographie 3) comprend le pied/la tige et le chapeau.

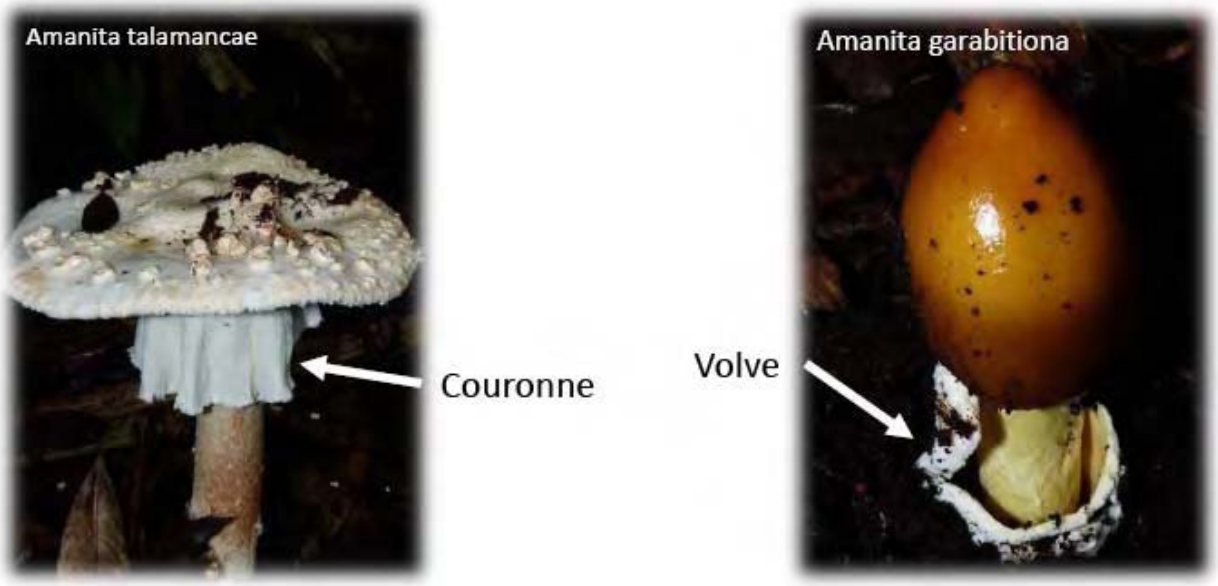
Photographie 3 : Descriptif d'un sporophore de champignon basidiomycota



*[7]**Forêt de nuages : forêt tropicale humide** d'altitude fréquemment immergée dans le brouillard/la brume.

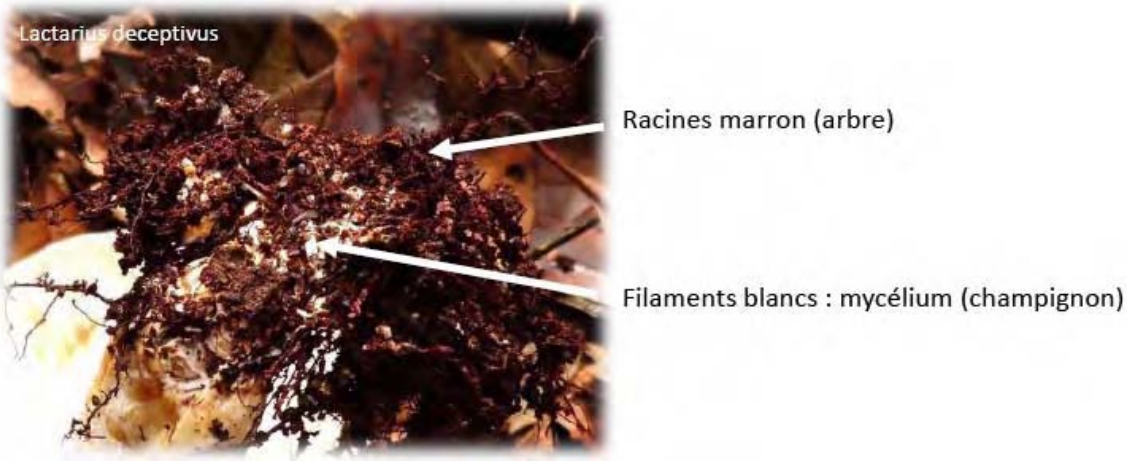
Certaines familles (Amanitaceae, ...) de l'embranchement des Basidiomycota ont des particularités morphologiques supplémentaires (Photographies 4) telles que la volve, la couronne,...

Photographies 4 : Descriptif d'une volve et d'une couronne d'Amanita



Les **Ascomycota** et les **Basidiomycota** présentent une multitude de sujets à Cloudbridge. Ils sont principalement situés dans les hauteurs de la forêt humide tropicale. Ces 2 embranchements ont des propriétés différentes dont la fructification. Les Basidiomycota se constituent surtout de champignons *mycorhiziens* et *saprophytes* alors que les Ascomycota rassemblent des champignons principalement saprophytes et responsables de la formation de l'humus. Leur mode de prolifération s'appuie sur la production de spores. Ces spores sont produits par des *basides**[9] pour les basidiomycota et par des *asques**[10] pour les ascomycota. Le mycélium du champignon (Photographie 5) a besoin de deux spores pour se développer.

Photographie 5 : Légende d'un mycélium de champignon basidiomycota



*[9] **Baside : organe reproducteur** permettant la formation de spores à **l'extérieur de cellules spécialisées.**

*[10] **Asque : organe reproducteur** permettant la formation de spores à **l'intérieur de sacs.**

Le mode de reproduction chez les Basidiomycota est principalement sexué (fusion des cellules de deux filaments de *mycélium primaire*) par le biais de spores provenant de la partie fertile du champignon (*hyménium*). Les extrémités des mycéliums primaires fusionnent pour former un *mycélium secondaire*. Celui-ci crée ensuite le mycélium du futur champignon.

Les Ascomycota ont, eux, un mode de reproduction principalement asexué.

Dans l'enceinte de la réserve le cycle des champignons est très rapide étant donné le taux d'humidité important. En début de saison des pluies (mi-avril) ils vivent environ 5 à 7 jours selon leur morphologie. En pleine saison verte (juin) ce cycle s'accélère considérablement.

Les champignons sont essentiels au maintien de l'écosystème forestier en milieu humide tropical de la forêt de nuages de Cloudbridge. Ils permettent de recycler la matière organique s'accumulant sur les sols et de soutenir la croissance des arbres.
On remarque que les champignons poussant à Cloudbridge sont localisés le long des sentiers. En effet, ils recherchent des espaces ouverts au sol sans trop de compétition (entre les champignons pour les mêmes ressources). Les arbres dans la forêt tropicale développent un réseau racinaire superficiel qui leur permet de collecter plus facilement davantage de nutriments, (le taux d'humidité est si élevé que les arbres n'ont pas besoin de chercher l'eau en profondeur). 12

B. Méthodes/dynamique de travail

1. Recherche documentaire

J'ai d'abord rassemblé l'ensemble des informations en lien avec les champignons et les paramètres essentiels à leur développement : âge de la forêt (Annexe 1), type de forêt (Annexe 2), type de sol, ... Ces informations sont importantes pour comprendre les exigences de ces organismes.

Les sols de la réserve de Cloudbridge :

Leurs principales textures sont : Sablo-limoneux, Limono-argileux, Limons fins et Limoneux.
La structure des sols, quant à elle, est différente selon l'âge de la forêt : Forêt primaire/secondaire.
Le pH du sol est relativement faible (acide) surtout dans les parties d'altitude (forêt de chêne).
Seulement quelques zones sont plus neutres à alcaline tel qu'au pied des Cupressus lusitanica - ces Cupressus sont amenés à disparaitre, laissant place à la régénération naturelle de la forêt.
Il existe deux types de morphologique de sols dont la différence provient du pourcentage d'argile en profondeur (appelés Dystrudepts et Kandihumults).
Les sols de Cloudbridge sont acides et pauvres, associés à des phénomènes externes que des études ont démontré :

- la fertilité des sols des forêts humides dépend des déplacements de poussières à l'échelle mondiale. Provenant directement des régions du Sahara et du Sahel (Afrique du Nord), ces poussières opèrent de longs déplacements jusqu'en Amérique centrale et Amérique du Sud. Elles ont pour intérêt de fertiliser les sols pauvres, apportant, en autres, du phosphore et d'influencer la formation des nuages. Les changements climatiques, en modifiant les directions des courants atmosphériques (vents dominants) bouleversent ce système.
- les sols de la forêt de Cloudbridge ne sont pas forcément sains à cause de l'usage abusif de pesticides (par l'agriculture au Costa Rica). Ceux-ci sont transportés par voies aériennes (dans des courants atmosphériques chargés d'humidité). Ces particules sont ensuite déversées sur les flancs des montagnes recouvertes de forêts.

Le développement de la flore dépend principalement de nutriments dont les éléments N-P-K.

- « **L'azote (N)** est l'un des éléments nutritifs le plus important et est souvent considéré comme l'élément clé du développement des plantes»
- « **Le Phosphore (P)** est un nutriment très important dans les premiers stades de croissance de la plante plus spécifiquement dans le développement des racines »
- « **Le Potassium (K)** est un nutriment important dans la division cellulaire, pour la formation d'hydrate de carbone et dans la lutte contre les maladies.

Toutes les essences végétales n'absorbent pas facilement les nutriments minéraux. Les champignons, ayant la capacité de fixer ces éléments et de les transférer par le biais de diverses relations symbiotiques, permettent d'y remédier.

La diversité des champignons dépend donc de phénomènes naturels ou externes. Si l'homme se montrait plus respectueux de l'environnement et s'il intervenait moins (voir pas du tout), cette diversité pourrait s'accroitre.

La forêt de la réserve de Cloudbridge :

Je me suis ensuite intéressé à la forêt qui se scinde en plusieurs parties de par son âge et son type. Ces paramètres sont indispensables pour établir les relations entre le règne du végétal et celui du champignon. Les documents pour cette partie se présentent sous forme de cartes (Annexes 1 et 2)). Ces cartes établies cette année par Cloudbridge permettent d'évaluer la diversité et la quantité de champignons selon l'âge (6 à 70 ans) et le type de forêt (régénération naturelle, plantation, vieille forêt).

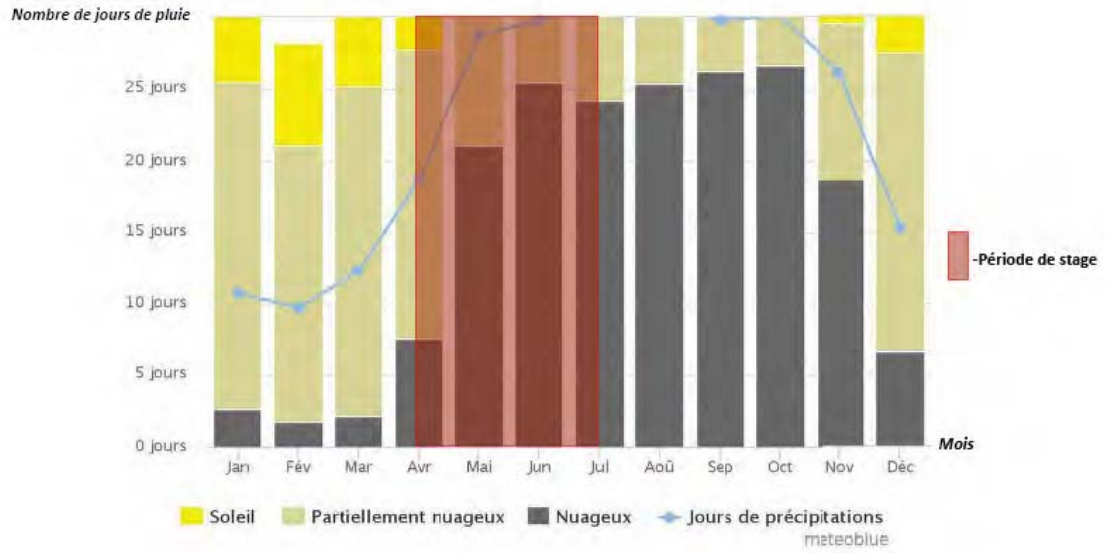
2. Préparation des sorties terrains

A la suite de mon travail de recherche documentaire, j'ai pu débuter mon étude sur le terrain. Ma méthode consiste à effectuer des relevés d'informations concernant les champignons. Les 182 hectares de forêt de Cloudbridge sont traversés par quelques sentiers (Annexe 3). Ces sentiers m'ont permis de m'orienter dans mes recherches.

Après une analyse du microclimat de Cloudbridge en période de saison verte (Mai à Novembre), j'ai organisé l'emploi du temps de mon travail. Les données les plus proches de la réserve avec un climat presque équivalent sont celles de la Cordillère de Talamanca côté pacifique, aux abords de la montagne « Cerro Chirripo » (Graphique 1).

- ✓ Températures : 12- 30°c (Matin : 15/30°c, Après-midi : 12/22°c)
- ✓ Moyenne d'ensoleillement : 13H15 (Lever: 5H30, Coucher: 18H15), matinées ensoleillées, vallée immergée dans les nuages l'après-midi.
- ✓ Pluviométrie : pluies abondantes l'après-midi souvent accompagnées d'orages (avec une chute des températures).

Graphique 1 : Données pluviométriques générales du Cerro Chirripo



En conséquence, j'ai effectué mes sorties terrains entre 5h00 et 14h00.

Mes travaux et les résultats de ces sorties terrains sont décrits dans les parties qui suivent.

Les principaux travaux effectués sont les suivants :

1. Collecte de données et photos pour constituer une base de données permettant de mieux appréhender les liens entre populations de champignons et développement de la forêt.
2. Récolte et analyse des spores des champignons
3. Etude de l'évolution de populations de champignons sur une période de 3 mois
4. Etude des relations entre types d'arbres et types de champignons, sur 6 sites particuliers

C. Collecte des informations de la base de données

1. Méthode

Le recensement des champignons me permet d'élaborer la base de données principale. Mon objectif est d'identifier l'ensemble des champignons que je trouve durant mes sorties terrains et d'établir une fiche descriptive pour chacun d'eux, associée à une image. J'effectue mes relevés au hasard autour de chacun des sentiers de Cloudbridge. Afin de mener à bien mes récoltes, j'ai utilisé un panier et un couteau (pour le ramassage) ainsi qu'un carnet et un crayon (pour la prise de note). Je me suis appuyé sur quelques supports écrits afin d'établir le contenu de mes fiches descriptives ; Principalement deux livres spécialisés sur les champignons du Costa Rica ainsi qu'un site internet répertoriant l'ensemble des champignons du Costa Rica. Je me suis aussi aidé de cartes afin de situer géographiquement les principales familles de champignons par sentier, altitude et type de forêt.

b/Liste des informations collectées:

- ✓ Nom latin/français,
- ✓ Division et Famille,
- ✓ Photographie du champignon,
- ✓ Support de développement
- ✓ Date de récolte,
- ✓ Lieu de récolte,
- ✓ Description de la morphologie du champignon
    - o Type morphologique,
    - o Taille,
    - o Diamètre du chapeau,
    - o Description détaillée du sporophore,
- ✓ Descriptif des spores (voir travaux sur les relevés des spores)

Le recensement des champignons a donc abouti à la l'élaboration d'une base de données et de graphiques représentant les familles fongiques principales à Cloudbridge.
L'ensemble de mes informations récoltées sur le terrain m'ont permis de réaliser des graphiques et des diagrammes nécessaires et d'interpréter mes résultats. L'aboutissement de mon travail se résume par la mise en place d'une base de données illustrée et documentée identifiant les différents champignons. L'objectif final de Cloudbridge étant de mieux connaître l'influence des champignons sur le développement de la forêt de nuage et ainsi pouvoir favoriser la reforestation.

D. Récolte et analyse des spores des champignons

1. Méthode

L'étude des spores des Basidiomycota est une étape importante dans la détermination des champignons. Elle permet aussi d'apporter plus de précisions dans la fiche descriptive des champignons. Pour cela, j'ai récupéré les spores de certains champignons collectés pendant mes sorties.

Le matériel nécessaire est le suivant : Un pot de verre (type pot de confiture), du papier d'aluminium, de l'alcool, un chiffon sec, une poche plastique et un scalpel stérilisé.

Je procédais de la manière suivante :

- Poser le papier d'aluminium stérilisé sur la table nettoyée
- Séparer le chapeau de la tige du champignon avec une lame stérilisée
- Récupérer le chapeau et la placer sur le papier d'aluminium (l'hyménium orienté vers le bas)
- Entourer le chapeau par le torchon sec (absorbe l'humidité)
- Retourner et poser le pot de verre sur le torchon autour du chapeau (Photographie 6)
- Etiqueter le pot de verre pour identifier le champignon analysé
- Au bout de 1 à 2 jours, retirer le pot, le chapeau et enfin le chiffon
- Récupérer le papier d'aluminium avec ses spores et le placer dans une poche plastique propre. Fermer
- Analyser les spores, photographier, répertorier la couleur (Photographie 7)

Photographie 7 : Spores de champignons du site

Photographie 6 : Espace de travail pour récupérer les spores

2. Remarques

L'analyse des spores est importante pour bien dissocier les champignons d'une même famille dont les caractères visuels externes sont très proches (Photographies 8). Ils ont des couleurs externes identiques mais leur sporée peut être de teinte différente.

Par exemple, le Nolanea murraii est jaune, mais sa sporée est brun-orangeâtre. La Russula indigo, elle, est bleue et pourtant produit une sporée blanche-crème.

Photographies 8 : Champignons associés à leur sporée

E. Etude de l'évolution de populations de champignons

1. Méthode

L'étude des champignons nécessite du temps. Pour avoir une idée générale sur la diversité fongique d'un milieu précis, il faut y réaliser des relevés réguliers chaque année. J'ai eu l'idée d'entreprendre lors de mes sorties sur le terrain des relevés sur des distances et des surfaces précises (et de les répéter chaque mois).

L'étude des champignons et de leur évolution dans le temps nécessite du matériel :

- Boussole d'orientation (Photographie 9)
- Densimètre forestier (Photographie 10)
- Ficelle
- Décamètre

Ma méthode de travail a été la suivante :

- Identifier les lieux de relevés : J'ai choisi de profiter des « bird point » situés le long des sentiers de la réserve pour mon travail.
- Situer les points cardinaux
- A partir du « bird point », repérer une surface de 20 mètres sur 15 (relevé de surface : Montage photographie 1) à l'aide d'un décamètre puis la délimiter à l'aide de la ficelle.

A partir du « bird point », repérer une distance de 10 mètres en ligne droite (transect : Montage photographie 2) à l'aide du décamètre puis la signaler avec la ficelle.

- Mesurer le pourcentage de couverture forestière à chaque extrémité du transect (2 mesures) et à chaque angle de la surface (4 mesure)
- Pour la surface : relever la quantité de champignons par catégorie (forme de l'hyménium) à l'intérieur de la surface

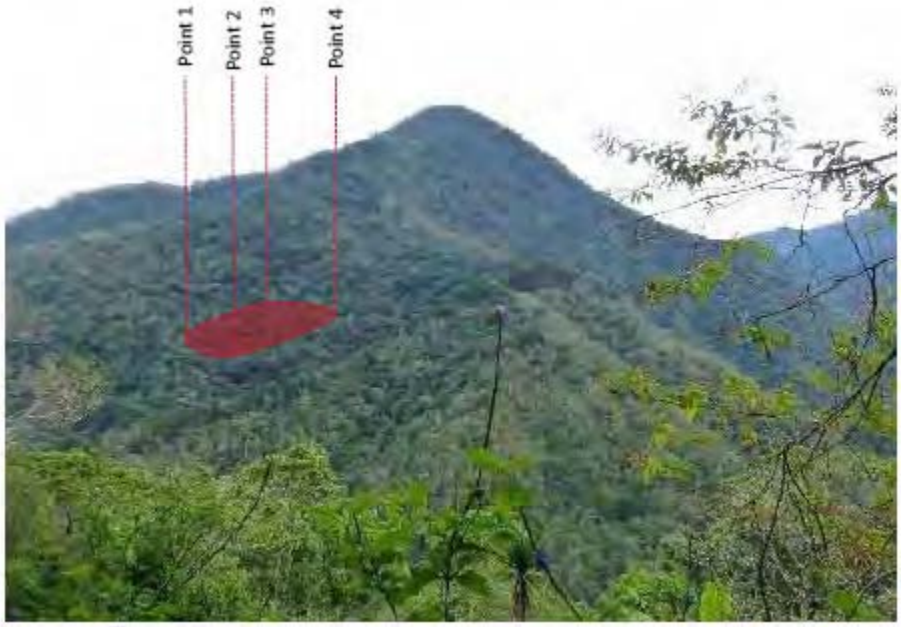
Pour le transect : relever la quantité de champignon par catégorie (forme de l'hyménium) sur une largeur d'environ 30 centimètres centrée sur la ligne

J'ai ainsi étudié 19 transects et 3 surfaces.

Photographie 9 : Boussole d'orientation

Photographie 10 : Densimètre forestier

Ces moyens d'étude des champignons permettent d'estimer les quantités, la diversité et leur évolution. Ce type d'étude doit s'effectuer sur le long terme pour permettre, après enregistrement des données sur un fichier informatique, d'en tirer des conclusions quant à l'évolution des champignons dans leur milieu. Mon analyse sera donc reprise par Cloudbridge qui va continuer des relevés mensuels.



Montage photographique 1 : Relevé de surface

Montage photographique 2 : Transect

F. Etude de relations entre les types d'arbres et les types de champignons

1. Méthode

Pendant mes sorties terrains, j'ai découvert des sites particuliers (Annexe 5) pour les champignons. C'est-à-dire des sites propices au développement d'une essence fongique que l'on ne retrouve pas ailleurs. La plupart de ces champignons particuliers se développent grâce aux phénomènes de mycorhize. La mycorhize est un moyen pour le champignon de remédier à son incapacité de fixer lui-même du carbone (*hétérotrophie* au carbone). Le carbone étant essentiel à sa croissance, le champignon cherche donc à créer diverses relations et associations (saprophytisme, parasitisme et symbiose) avec les plantes et animaux qui génèrent du carbone. La mycorhize, relation bénéfique entre 2 organismes, existe sous plusieurs formes dont l'*ectomycorhize**[11] et l'*endomycorhize**[12]. L'ectomycorhize est le type de mycorhize qui joue un rôle majeur dans cet écosystème forestier.

Les arbres concernés par les relations ectomycorhiziennes sont capitaux pour le maintien de la forêt de Cloudbridge. Ils contribuent au bon développement de l'espace forestier. En effet, ces arbres maintiennent l'écosystème forestier en vie et garantissent sa pérennité, en permettant aux nouvelles générations d'arbres de se développer et d'apporter de la diversité fongique. La réserve présente des cas d'ectomycorhizes avec les essences arborées suivantes : *Quercus costaricensis*, *Quercus copeyensis (Quercus bumelioides)* et *Alnus acuminata*.
L'étude de certains sites particuliers (Annexe 5) que je mets en place va permettre d'identifier les paramètres d'exigences mycorhiziennes des champignons. Mon choix de ces sites s'appuie sur trois types d'espaces différents :

- Zone large en forêt d'altitude peuplée de Quercus :
  - Site 1 : Sendero Chirripo, peuplé de Quercus copeyensis (essence dominante)
  - Site 2 : Sendero Skutch, peuplé de Quercus costaricensis (essence dominante)
- Zone limitée, située autour de l'espace racinaire d'un arbre précis
  - Site 3 : Sendero Montana, Quercus copeyensis
  - Site 4 : Sendero Gavilan, Alnus acuminata
- Zone limitée dans un espace à forte pente
  - Site 5 : Sendero Gavilan
  - Site 6 : Water system

Sur les sites 1 et 2, j'ai étudié des données de plusieurs espèces de champignons présentes.
Sur les sites 3, 4, 5, 6, je me suis concentré sur seul champignon dans chaque cas.

*[11] **Ectomycorhize : Symbiose** ou le mycélium forme un réseau (**réseau de Hartig)** avec les cellules végétales des radicelles d'un arbre, sans y pénétrer.
*[12] **Endomycorhize : Symbiose** ou le mycélium pénètre dans les cellules végétales des radicelles de l'arbre.

IV. Résultats et analyses de mes études

A. Mise à disposition d'une base de données

Mes relevés sur le terrain m'ont permis de rassembler des informations sur plus de 400 champignons dont :

- 150 sont totalement identifiés jusqu'à l'espèce
- 120 sont identifiés jusqu'à la famille seulement
- 130 sont non identifiés

Ma base de données est centrée sur les principaux embranchements des champignons (Annexes 6 et 7). C'est à dire les Basidiomycota et les Ascomycota (Annexes 7, 8 et 9). L'embranchement des basidiomycota compte 270 espèces de champignons, d'après mes relevés, dont les principales familles sont les suivantes:

- Polyporaceae : 26 %
- Boletaceae : 15 %
- Russulaceae : 7,5 %
- Amanitaceae : 4,5 %
- Marasmiaceae : 3,5 %
- Hygrophoraceae : 3,5 %
- Cortinariaceae : 3,5 %

L'embranchement des Ascomycota, quant à lui, compte 30 espèces de champignons, d'après mes relevés, dont la principale famille est :

- Xylariaceae: 35 %

Pour donner une idée générale de la répartition des différentes espèces de champignons dans la réserve, j'ai relevé (Annexe 4), grâce à la base de données, le nombre d'espèces de champignons par sentier :

- Sendero Chirripo : 203
- El Jilguero : 91
- Sendero Montana : 62
- Sendero Gavilan : 56
- Don Victor : 37
- Main trail Cloudbridge : 19

La réserve de Cloudbridge doit donc poursuivre les recherches sur le règne des champignons pour ainsi récolter davantage de données nécessaires et établir une base de données sur plusieurs années. Tout ceci dans le but d'exploiter la base pour suivre et comprendre l'évolution des populations de champignons. Ce qui permettra ensuite de l'exploiter dans les décisions de choix d'essences d'arbres à implanter lors des campagnes de reforestation.
L'Annexe 12 montre un extrait de la base de données.

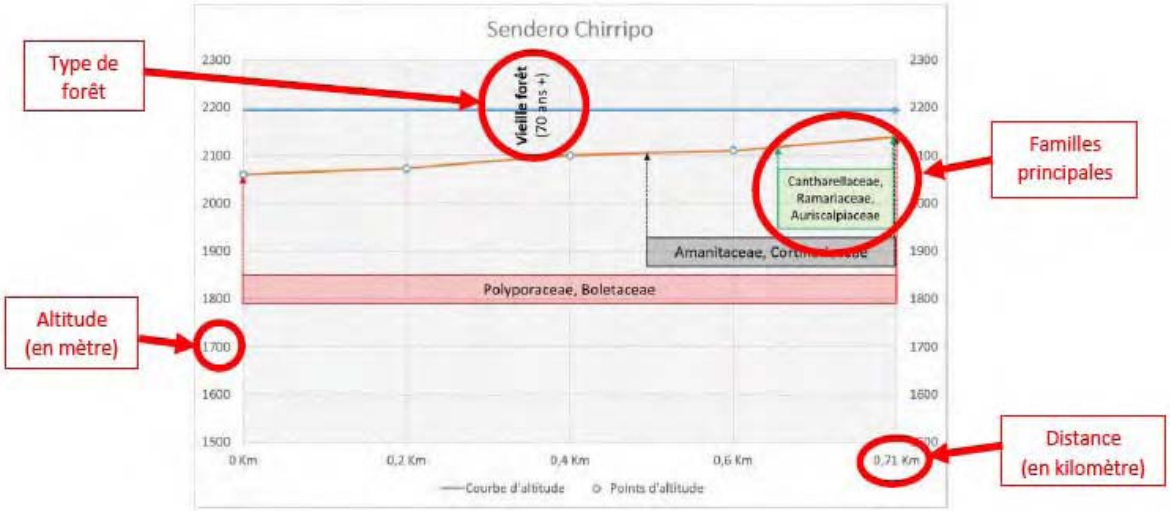
B. Répartition des espèces fongiques sur différents sentiers

Le graphique ci-dessous (Graphique 2) donne une vue de la répartition des espèces de champignons en fonction de l'altitude du terrain le long du sentier Sendero Chirripo.

Les espèces de champignons présentes sont indiquées dans les rectangles colorés (sous la courbe d'altitude du sentier). On distingue clairement la disposition étagée des différentes espèces. Ce sentier est essentiellement bordé de Quercus.

L'ensemble des relevés des quatre autres sentiers se trouve en Annexes 10 et 11.

Graphique 2 : Principales familles fongiques du sentier Sendero Chirripo



Pour conclure sur les graphiques représentant les principales familles de champignons sur les différents sentiers, on peut évoquer le fait que celles-ci sont surtout présentes dans les parties de forêt du type régénération naturelle et vieille forêt. Ce qui amène à penser que dans les zones de replantation, les populations de champignons ont besoins de plus de temps pour se développer.

La famille de champignons la plus représentée dans la réserve est la famille des Polyporaceae (présent à toutes les altitudes de la réserve). Les familles mycorhiziennes, quant à elles, c'est à dire Amanitaceae, Boletaceae, Cortinariaceae,... sont surtout présentes en altitude dans les forêts de Quercus. 23

C. Analyses des résultats de l'étude de relations entre arbres et champignons

1. Site 1 (Sendero Principal Chirripo) et site 2 (Sendero Skutch)

Pour ces deux sites, j'ai étudié les populations de champignons présents.

Sur le site 1, situé sur le pan nord de Cloudbridge, la forêt primaire*[13] (vieille forêt) de 1946 est située à 2 000 m d'altitude. On y trouve essentiellement des Quercus copeyensis. Le Quercus copeyensis est le plus présent dans cette partie de la forêt de nuage de Cloudbridge à une altitude de 1600-2600.

Mes analyses montrent que ce type d'arbre a développé des relations mycorhiziennes avec certaines espèces de certaines familles de champignons (Photographies 11) : Boletaceae, Russulaceae, Ramariaceae, Cortinariaceae, Amanitaceae, Cantharellaceae et les Bankareae. Ces espèces de champignons ne sont visibles que dans cette partie de Cloudbridge.

Quercus copeyensis

(Fagaceae)

Photographies 11 : Champignons spécifiques du site 1

*[13] **Forêt primaire : forêt naturelle d'origine** n'ayant jamais été influencées par l'homme.

Sur le site 2, situé sur le pan sud de Cloudbridge, la forêt secondaire*[14] de 2002 (régénération naturelle) est située à une altitude d'environ 1 930 m à Cloudbridge.

Je constate que l'on y trouve de multiples essences fongiques dont les Boletaceae, Russulaceae, Ramariaceae, Clavariaceae et les Bankareae (Photographies 12). L'ensemble de ces essences vivent en symbiose mycorhizienne avec les arbres à proximité dont le Quercus costaricensis.

Le Quercus costaricensis, quant à lui, se trouve surtout à une altitude de 2 000-3 600 m. Il domine les hauteurs du flanc Nord (Sendero Skutch).

Quercus costaricensis

(Fagaceae)

Photographies 12 : Champignons spécifiques du site 2

Les sites 1 et 2 ont un environnement proche à une altitude équivalente, mais certains détails influencent la diversité des familles de champignons. Cette étude comparative montre que les essences d'arbres développent des relations mycorhiziennes qui leur sont propres.

On peut supposer que l'implantation de ces essences d'arbres mycorhiziens permettra, à plus basse altitude lors de campagnes de reforestation, de favoriser le développement de familles fongiques. D'autres observations seront nécessaires.

*[14] **Forêt secondaire : forêt ayant repoussée** (par régénération ou plantation) après avoir été détruite (naturellement ou par l'homme).

2. Site 3 (Sendero Montana) et Site 4 (Sendero Gavilan)

Sur chacun des deux sites, situés sur le pan nord, je n'ai étudié qu'un seul champignon.

Le site 3 situé dans une forêt plantée en 2010 est à une altitude d'environ 1 920 m à Cloudbridge. On y trouve plusieurs familles fongiques dont les Polyporaceae, les Russulaceae et la famille bien particulière des Helvellaceae (Photographie 13). Le *Helvella sulcata* de la famille des Helvellaceae n'est présent qu'à cet endroit, au pied d'un jeune *Quercus copeyensis*.

Quercus copeyensis
(Fagaceae)

Photographie 13 : Champignon Helvella sulcata du site 3

Le 4ème site est dans une forêt plantée en 2006. Il est situé à une altitude d'environ 1 805 m à Cloudbridge. Cet endroit, situé au niveau du Bird point 15 (Annexe 2), est caractérisé par la présence du champignon *Gyrodon monticola* (Photographie 14). Ce champignon est apparu grâce à l'implantation d'un arbre spécifique : Alnus acuminata. L'arbre en question a aussi été implanté à d'autres altitudes sans qu'aucun *Gyrodon monticola* ne s'y développe. Cet arbre est présent dans un espace humide, en pente. Cette essence d'arbre fixe l'azote atmosphérique, faculté qui lui permet de pouvoir se développer vite dans les milieux à sols pauvres en nutriments.

Alnus acuminata

(Betulaceae)

Photographie 14 : Champignon Gyrodon monticola du site 4

En conclusion des analyses des sites 3 et 4, le *Helvella sulcata* et le *Gyrodon monticola* sont donc des champignons mycorhiziens jouant leur rôle dans l'écosystème forestier de Cloudbridge. La présence du Gyrodon monticola est possible depuis l'implantation d'Alnus à une certaine altitude. Cet exemple montre que l'implantation de nouvelles essences d'arbres est bénéfique à la diversité fongique. Toutefois, certains champignons nécessitent des conditions particulières pour développer des relations mycorhiziennes. Les résultats de l'analyse des sites 1 et 2 doivent tenir compte de ces observations avant de déployer une essence d'arbre à des altitudes différentes. 27

3. <u>Site 5 (Sendero Gavilan) et Site 6 (Main trail Cloudbridge)</u>

Ces deux sites ont la particularité d'être difficiles d'accès.

Le site 5, situé sur le pan nord, abrite le *Ramaria cyanocephala* (photographie 15), un champignon en forme de corail orange, cuivré à bleu vers les extrémités. Cette espèce de Ramaria se développe dans un seul endroit, à 1 810 mètres d'altitude, sur une zone en pente, non peuplé par les chênes et dans une litière épaisse (qui le dissimule).
Les Ramariaceae sont souvent concernés par des cas de mycorhize en forêt (dont le *Ramaria zippelii* dans le nord du pays). Je constate que le *Ramaria cyanocephala* pousse de manière rectiligne à proximité de racines superficielles. Il pousse le long de racines d'arbres qui semblent être le *Cecropia obtusifolia* (photographie 15) et le *Schefflera morototoni*.

Photographie 15 :Ramaria cyanocephala et du Cecropia obtusifolia du site 5

Le 6ème site est proche de la zone d'habitation de Cloudbridge. Parmi les champignons trouvés sur ce site, l'*Echinoporia aculeifera* (photographie 16) est un champignon vivant sur du bois mort. Il entretient certainement une relation de saprophisme. Il se développe seulement à 1580 mètres d'altitude dans une zone en pente près du système d'eau. La forêt en question est une régénération naturelle datée de 1990.

Photographie 16 : Echinoporia aculeifera du site 6

4. Conclusion générale de l'étude des sites

Mon analyse n'est pas suffisante pour en tirer des enseignements fiables sur le lien entre développement des arbres et des champignons. Les facteurs permettant le développement de certains champignons ne semblent limités au type d'arbre et à l'altitude. Cloudbridge devra compléter par l'étude d'autres zones et recouper avec les résultats des autres études que j'ai commencé à mener (notamment celle des facteurs de croissance faisant l'objet du chapitre suivant).

D. Facteurs de croissance des champignons

1. Les types de supports

Mes recherches m'ont permis de conclure que les principaux facteurs de croissance des champignons sont leurs supports, la météo, les relations symbiotiques et l'altitude.

Les champignons se développent sur divers supports. L'abondance de la végétation de type caduc est importante pour les champignons. Tout dépend de la relation qu'ils peuvent entretenir avec leur support. Le tableau 1 résume les conclusions de mes observations sur ce sujet.

Tableau 1 : Les supports de développement des champignons

SUPPORTS	LOCALISATION	PARTICULARITES	ILLUSTRATION
Sol (pleine terre)	*Partout (surtout près des arbres et le long des chemins)*	*Paterres mois prisés : bamboo, hautes herbes et conifères*	*Amanita citrinovira*
Sol (mousse)	*A 2 000 mètres d'altitude (dans les zones les plus humides)*	*Les zones les plus humides se situent en hauteur (pas de pente)*	*Phaeocollybia olivaceipes*
Bois mort (en décomposition)	*Partout (surtout en pleine forêt avec une litière importante)*	*Les champignons tels que la famille des Polyporaceae (lignicole*[15]*) se développent dans les zones arborés denses (surtout dans les forêts de Quercus)*	*Fistulina hepatica*
Bois vivant	*Partout*		*Laetiporus sulphureus*
Litière foliaire	*Partout (surtout en pleine forêt avec une litière importante)*		*Xylaria*
Excréments	*A 1600 mètres d'altitude (zones de pâtures)*	*Ces champignons coprophile*[16] *se développent sur des excréments de bovin (peu de bovin)*	*Chalciporus piperatus*
Epyphites	*A 1900 mètres d'altitude (Très peu fréquent)*	*Les épyphites*[17] *créés des sols en suspension (permet donc le développement de champignon)*	
Graines/Fruits	*Partout (surtout dans les zones peuplées par des Magnolia)*	*Les champignons se développent surtout sur des cônes*	

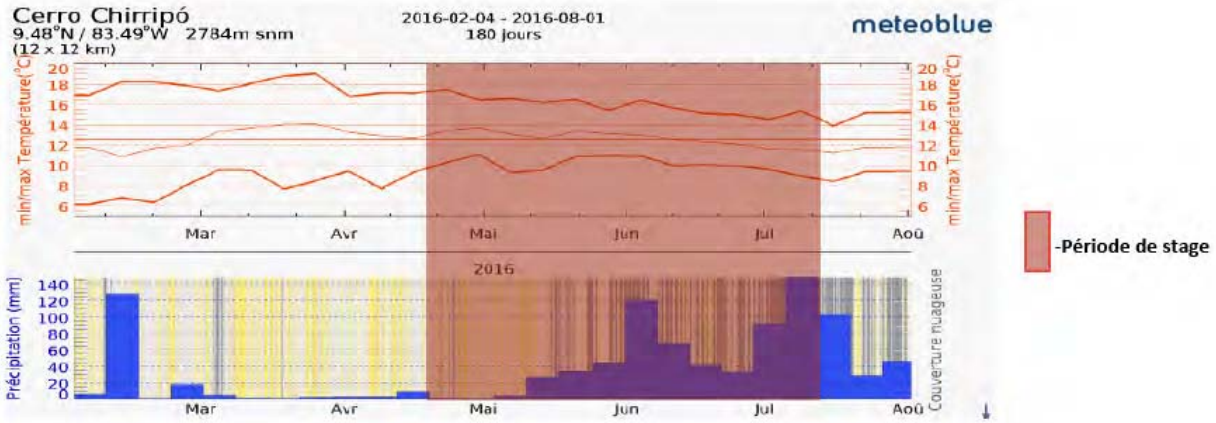
*[15] **Lignicole : champignon poussant sur ou dans le bois** (subtrat).
*[16] **Coprophile :** Caractère indiquant que le champignon pousse sur des **excréments.**
*[17] **Epyphite : plante utilisant d'autres végétaux comme support** (ce n'est pas du parasitisme).

2. <u>L'influence de la météo</u>

La météo est aussi un facteur de croissance à ne pas négliger. Mon étude a débuté pendant la période de transition entre la saison sèche et la saison des pluies (mi-avril) et pendant la période des pluies (qui débute en avril). C'est durant cette période (Graphique 3) que les sols sont les plus riches car ils ont accumulé une quantité importante de matière organique. Les températures se rafraichissent et le taux d'humidité augmente. Le type de saison en début de la période des pluies à Cloudbridge se rapproche de la période automnale de France.

D'après le graphique des données climatique (Graphique 3) le taux d'humidité augmente dès le début du mois de mai. Ce taux d'humidité augmente considérablement jusqu'à la mi-Juin.

Graphique 3 : Données climatiques du Cerro Chirripo mars à juillet 2016



D'après mes études sur le terrain, le nombre de champignons augmente de façon importante dès la fin Avril. L'ensemble de mes relevés m'a permis d'effectuer une étude comparative par mois :

- Avril : 43 espèces de champignons
- Mai : 200 espèces de champignons
- Juin : 148 espèces de champignons
- Juillet : Très peu d'espèces de champignons

L'éveil des champignons s'est réellement réalisé la dernière semaine d'avril. Très peu de champignons poussaient à partir de fin Juin (mis à part quelques champignons mycorhiziens). La température et le taux d'humidité jouent des rôles majeurs car le champignon est composé de 85 à 90 % d'eau. La durée de vie d'un champignon dépend du climat, du sol, du peuplement de son environnement et de sa propre morphologie.

3. Les modes de vie

Les champignons développent des modes de vie indispensables au maintien de la forêt et des cycles naturels. Ces modes de vie leur permettent de peupler le milieu forestier de Cloudbridge. Au sein de la réserve, on distingue des champignons symbiotiques, saprophytes et parasites :

- Les **champignons symbiotiques** présentent plusieurs types de relations dont la mycorhize. Ces champignons entretiennent une relation primordiale grâce aux ponts mycorhiziens. Cela permet le transfert de carbone d'un arbre adulte vers un jeune arbre à proximité des champignons. Cet apport de carbone aux jeunes arbres permet de remédier aux problèmes de compétition interspécifiques pour lutter contre l'absence de lumière. Ce moyen d'alimentation par voie racinaire permet aux strates végétatives d'étages inférieurs, sous la canopée, de pallier le manque de photosynthèse et de se développer convenablement.
  Principales familles de champignons mycorhiziens: Boletaceae, Amanitaceae, Hydnangiaceae (laccaria), Russulaceae, Cantharellaceae, Cortinariaceae, Gomphaceae, Hymenochaetaceae, Clavulinaceae et Sclerodermataceae,...
- Les **champignons parasites***[18], quant à eux, entretiennent une relation avec un hôte. Cette relation n'est bénéfique que pour le parasite. Le champignon puise donc les ressources de son hôte, à son dépend, afin de survivre.
  Mon étude menée à Cloudbridge a montré qu'il existe de nombreux cas de parasitisme dont l'Armillaria puigarii (champignon lignicole se développant sur le bois vivant, souvent malade) et des champignons de la famille des Polyporaceae. J'ai aussi relevé un cas de parasitisme entre un champignon, Cordyceps melolanthae et un organisme animal (araignées,…).

- Les **champignons saprophytes***[19] ont une place dans la forêt de Cloudbridge. Ils vivent seulement grâce à la matière organique morte. Ces champignons (pouvant aussi être parasites ou symbiotiques) évitent une accumulation trop importante de matière organique morte sur les sols. Ils sont importants pour leur implication dans la décomposition et le recyclage des nutriments, des plantes mortes, des animaux, des champignons et autres organismes au sein de la forêt.

L'ensemble de ces relations sont vitales pour le milieu afin de réguler et d'éviter que la forêt ne soit trop dense. C'est aussi un moyen efficace d'enrichir la litière du sol en matière organique.

*[18] Se dit d'un champignon **capable de se nourrir au dépend de son hôte.**
*[19] Se dit d'un champignon **capable de se nourrir de matière organique morte**.

E. Un règne parallèle : les protistes

Les protistes (Annexe 6) représentent un groupement d'êtres proches du règne des champignons. Ils se développent principalement sur du bois (mort ou en décomposition). A Cloudbridge, les familles de protistes (Photographies 17) sont nombreuses et se manifestent durant toute l'année. Cependant, la période marquant le début de la saison des pluies (fin mai-début Juin) est particulièrement intéressante quant à la diversité de ces populations. En effet, elle favorise une forte accumulation de matière organique sur les différents sols forestiers de Cloudbridge, qui provient de la chute de branches mortes ou en voie de décomposition ou de fruits en décomposition (Magnolia sororum). Ce règne englobe notamment les myxomycota.

Photographies 17 : Protistes

CONCLUSION

La réserve naturelle de Cloudbridge possède une grande diversité de Champignons. Ces champignons sont bio-indicateurs du milieu (sur son état de santé). Chaque type de boisement est associé à un cortège de champignons, qui évolue avec l'âge, l'état de santé du peuplement et la gestion de la forêt. Le renouvellement et la diversité des essences fongiques dépendent en autres :

- Du type d'arbre (Quercus, Alnus, Cecropia,…),
- De l'âge des arbres/de la forêt (génération du peuplement : 70 ans, 15 ans, 6 ans),
- Du type de forêt (vieille forêt, plantation ou régénération naturelle),
- De l'exploitation et des effets de la pollution atmosphérique et des propriétés édaphiques*[20].
- De l'altitude
- De la météo

Les forêts primaire et secondaire possèdent une grande diversité de champignons.
La forêt artificiellement plantée, quant à elle, est moins riche pour sa diversité fongique (cette forêt ne peut retrouver instantanément la diversité de la forêt naturelle d'autrefois).

Les inventaires de la biodiversité sont donc un moyen indispensable à la compréhension de l'écosystème forestier de zone tropicale humide d'altitude. L'étude permettant de comparer les différents types de forêts est essentielle (plantation, régénération naturelle et la forêt primaire). Cette analyse approfondie de la diversité permettra de mieux cerner les enjeux de protection d'un tel milieu.

La reforestation doit permettre d'éviter d'avoir un peuplement monospécifique (apporter de la diversité au milieu). Le maintien de la forêt de nuages de Cloudbridge assurera la conservation de l'équilibre des populations de hiboux, serpents, ….

Le travail que j'ai réalisé va permettre à Cloudbridge de mieux préparer ses campagnes de reforestation. Cependant si mon étude est importante, on ne peut la considérer comme achevée puisqu'elle ne porte que sur une période très courte et une saison particulière, alors que le développement des populations de champignons et de la forêt de Cloudbridge s'étalent sur plusieurs années. Je pense avoir convaincu mes responsables sur place de la nécessité de poursuivre mon travail.

*[20] **Edaphique :** science des sols mettant en relation la croissance des végétaux et les propriétés géologiques et physico-chimiques.

BIBLIOGRAPHIE

1/ Costa Rica

- *Expédition au coeur des mystères de la jungle* **(Maurice THINEY-2011)**
- *Costa Rica : bibliothèque du voyageur* **(GALLIMARD-2013)**

2/ Sols de la Reserve Naturelle Cloudbridge

- *An analysis of the invasive potential of Cupressus lusitanica and its effects on the chemical properties of the surrounding soils* **(Lara Van Meter-2016)**
- *Soil Types and Fundamental Soil Properties of a Costa Rican Tropical Montane Cloud Forest Reserva Cloudbridge San Gerardo de Rivas, Cordillera de Talamancas* **(Charles Schembre-2009)**

3/ Les champignons

- *Plantes & champignons: dictionnaire* **(Bernard Boullard-1997)**
- Les champignons : *194.254.27.242/photo/versiondordogne.pdf*
- Mode de vie (écologie) : *http://mycostra.free.fr/initiation/ecologie.htm*
- *The New York Botanical Garden*
- *Macrohongos de Costa Rica (Volume 1 et 2)*

4/ Les forêts de nuage et la canopée

- *Les forêts de nuages, un écosystème à l'avenir incertain : Impacts potentiels des changements globaux et locaux et pistes de solutions* **(Laurent Samson)**
- **Marian Barz (a third year student at Van Hall Lahrenstein studying forestry and nature management with a major in Tropical forestry):** *« At Cloudbridge I was for an internship to do a habitat assessment and to compare the different forest types that Cloudbridge has. I also conducted a fruitcount to get knowledge about the fruit availability of the area. »*

5/ Autres

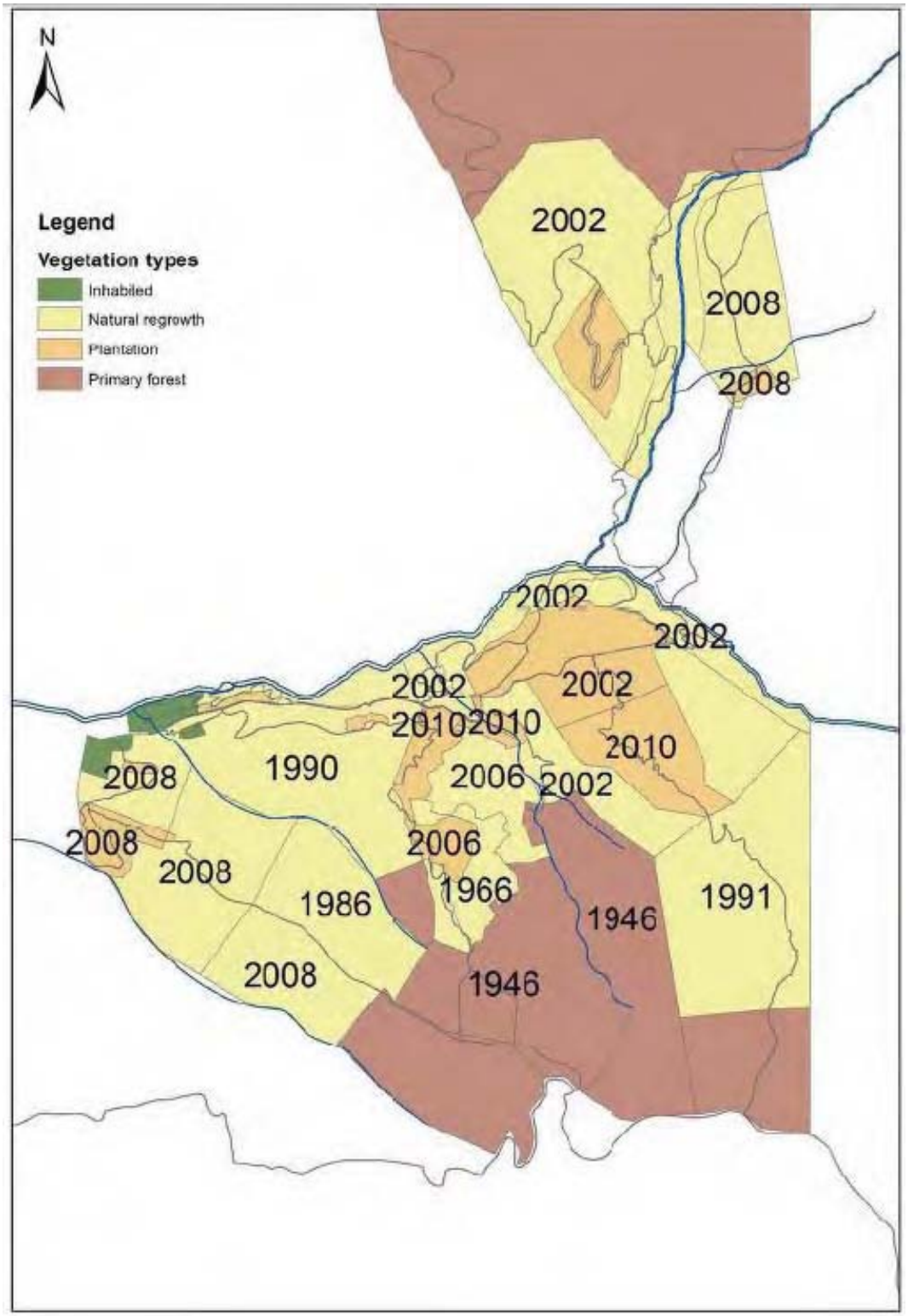
- *First international workshop : On the long-range transport and impacts of african dust on the americas* **(octobre 2011)**
- *Environmental Science and technology* **(February 15, 2007 Volume 41, Issue 4)**

6/ Photographies

- L'ensemble des photos du dossier son de Baptiste SAUNIER

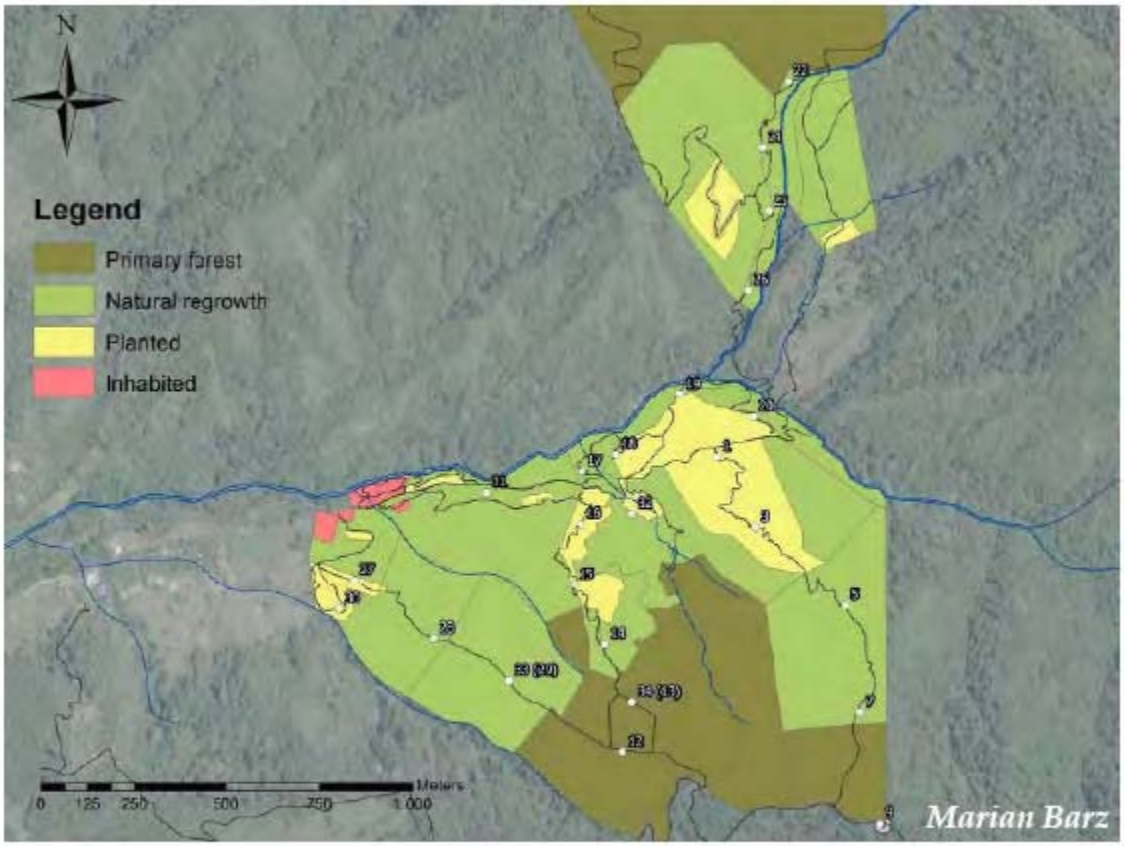
*[19] **Science des sols** qui met en relation la croissance des végétaux et les propriétés géologiques et physico-chimiques.

ANNEXE 1 : Zonage de Cloudbridge selon l'âge des forêts



Marian BARZ

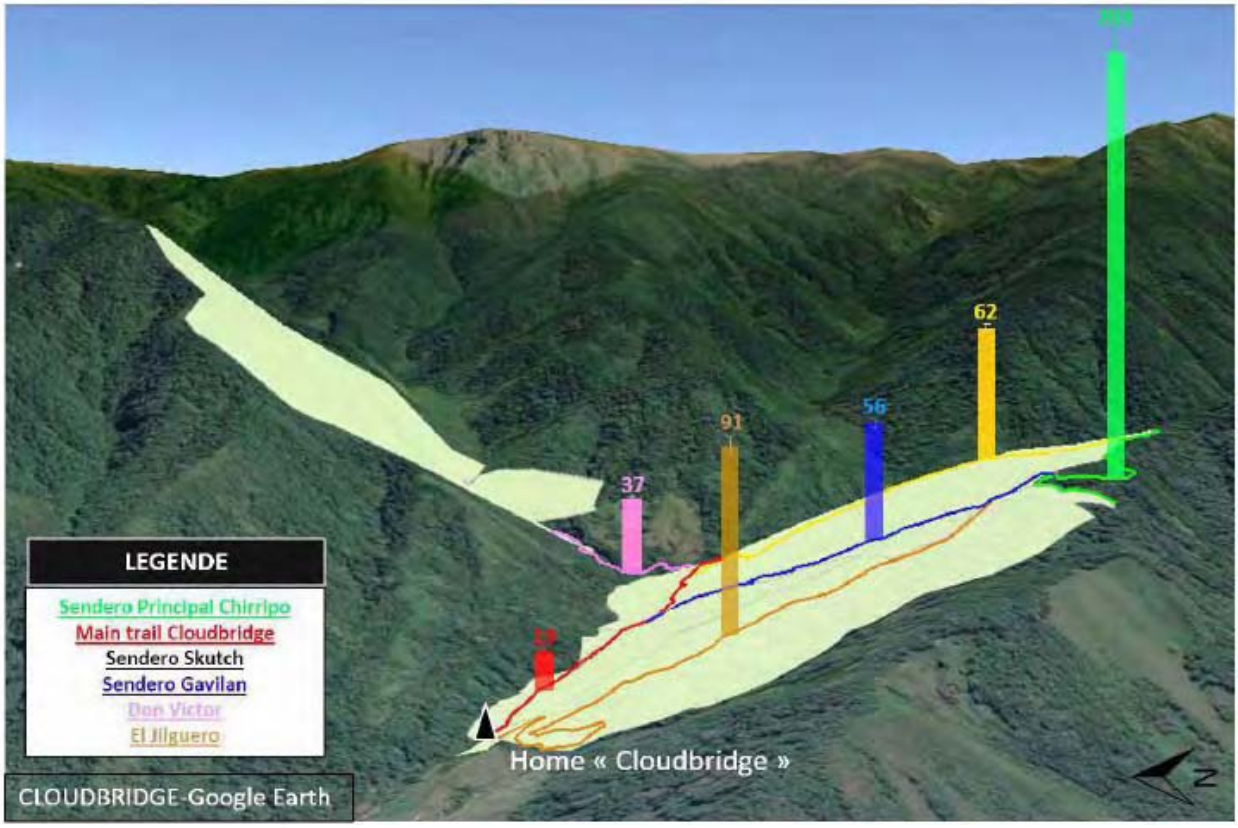
ANNEXE 2 : Zonage de Cloudbridge selon le type de forêt



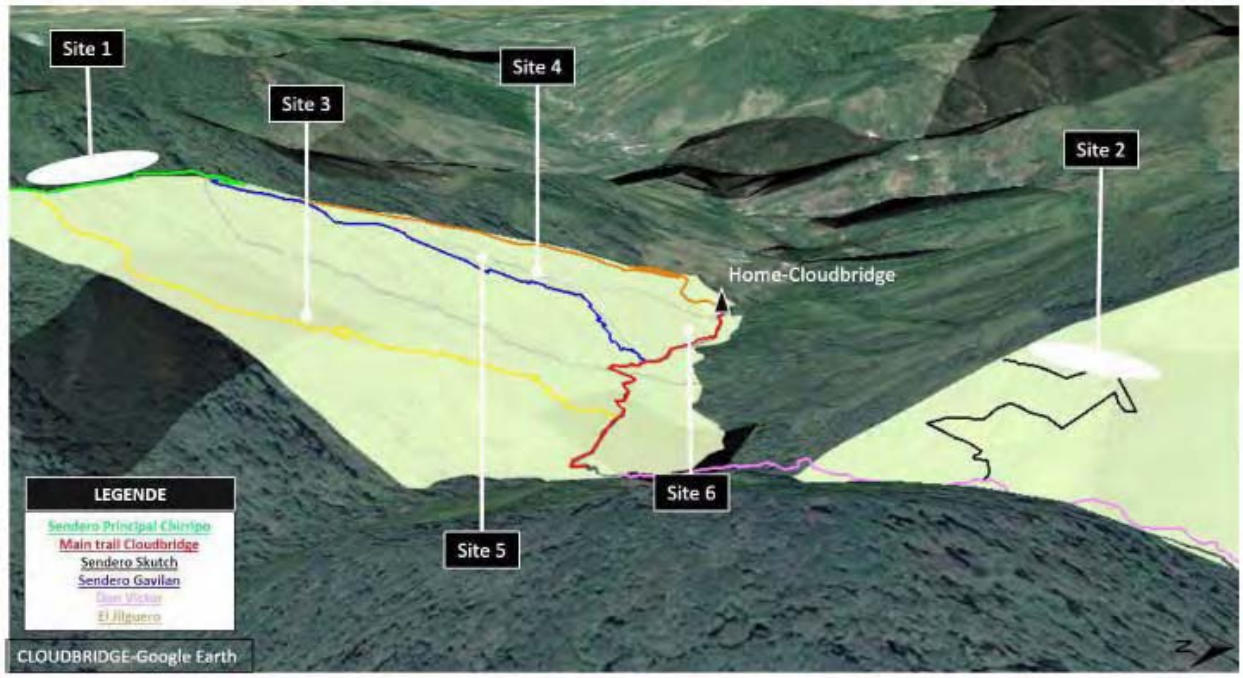
Les numéros sur la carte correspondent à des « Bird point » utilisés pour l'étude de l'évolution d'une zone précise

ANNEXE 3 : Carte des sentiers de la réserve de Cloudbridge

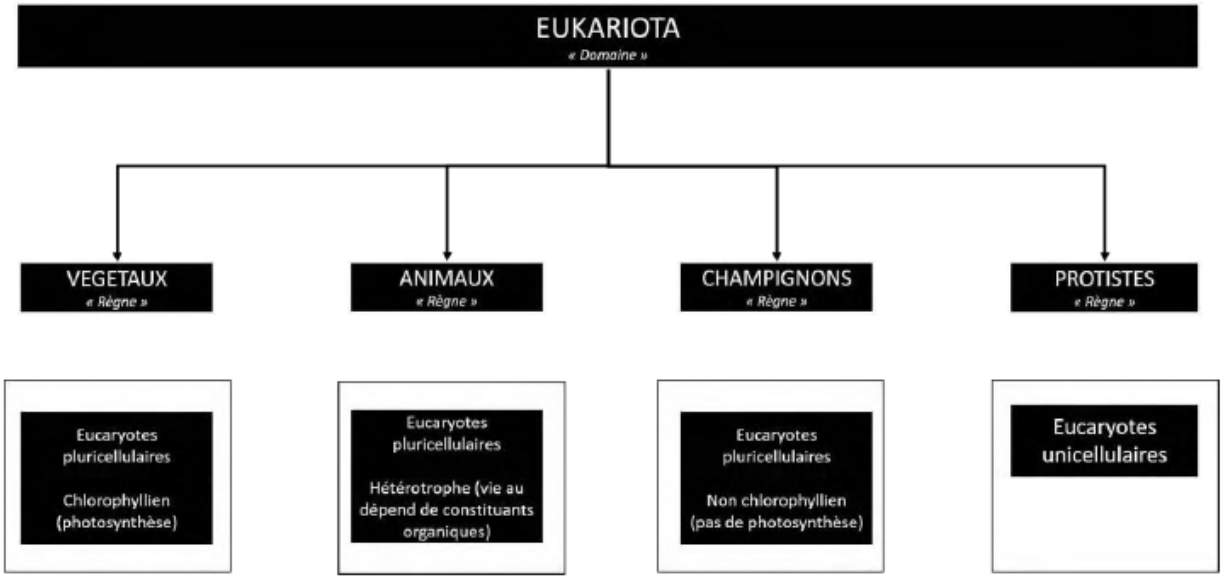
ANNEXE 4 : Carte représentative du nombre d'espèces de champignons (diagrammes) par sentier de Cloudbridge



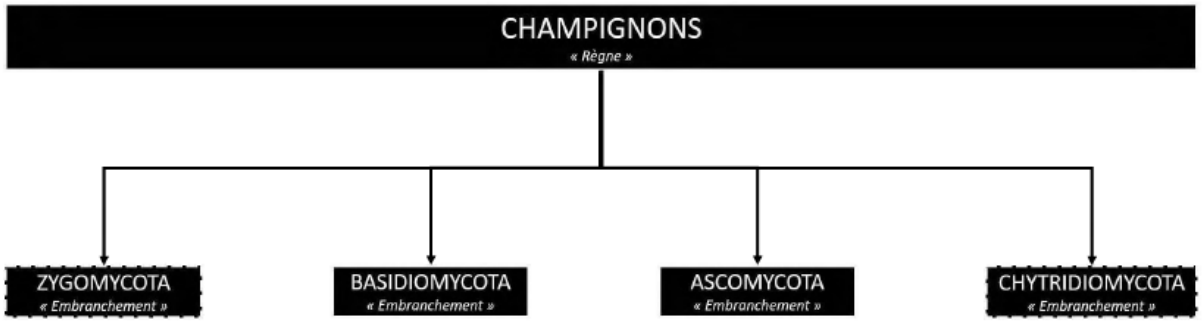
ANNEXE 5 : Carte de situation spatiale des sites d'études particuliers



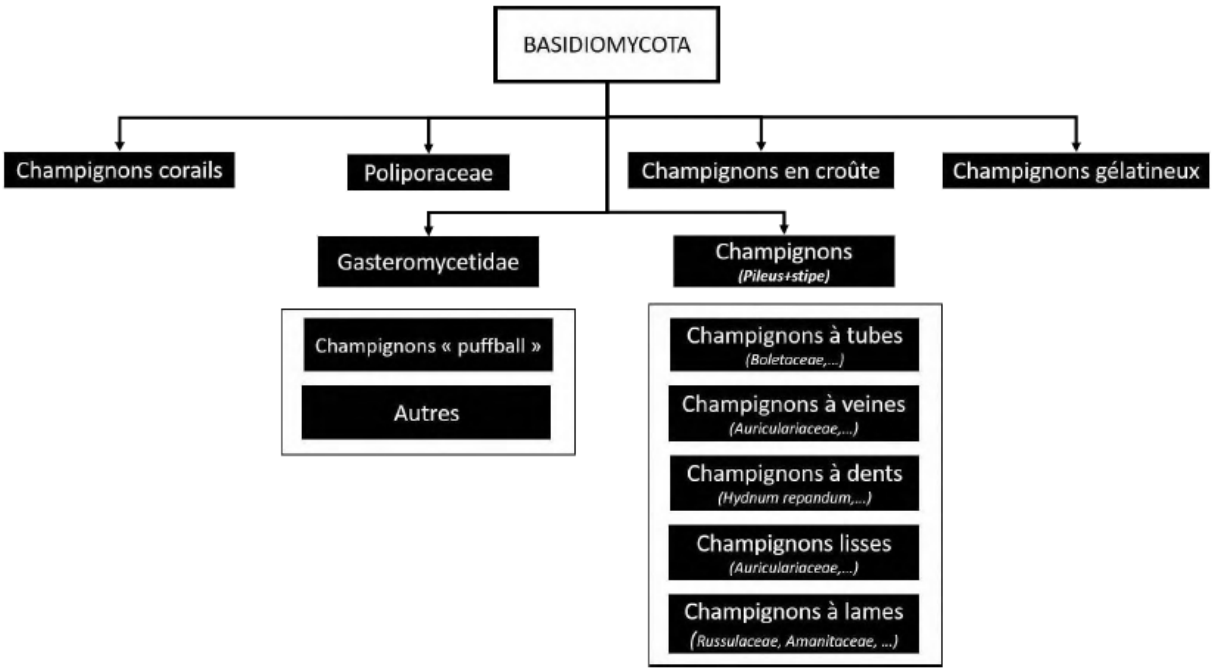
ANNEXE 6: Tableau simplifié de la classification des EUCARYOTES



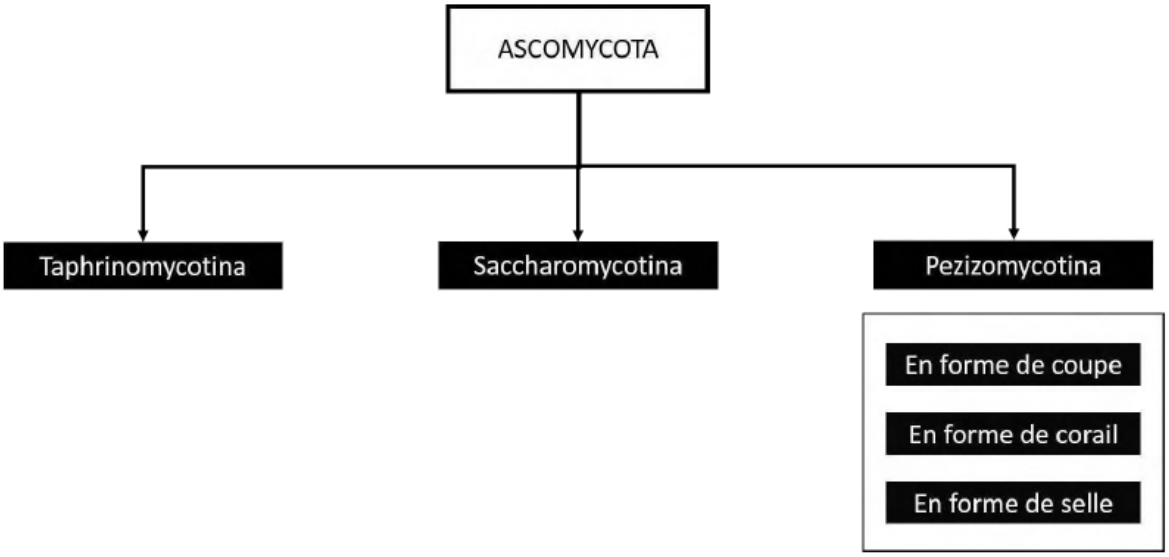
ANNEXE 7: Tableau simplifié de la classification des Champignons



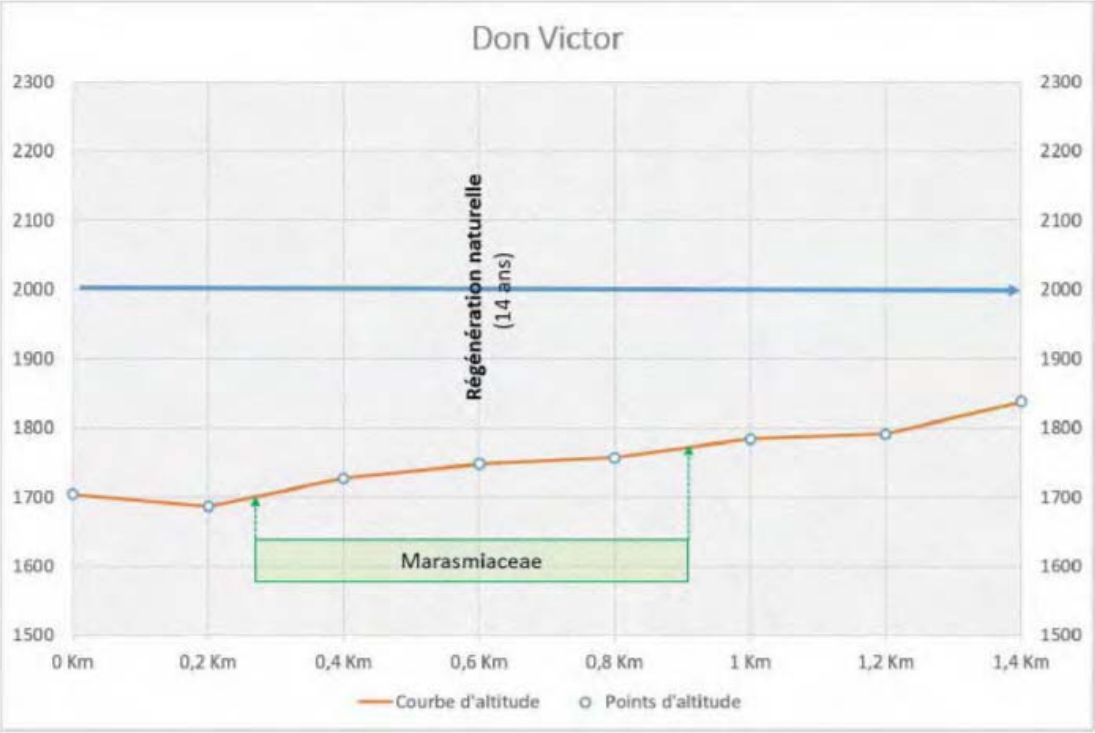
ANNEXE 8: Tableau simplifié de la classification des Basidiomycota

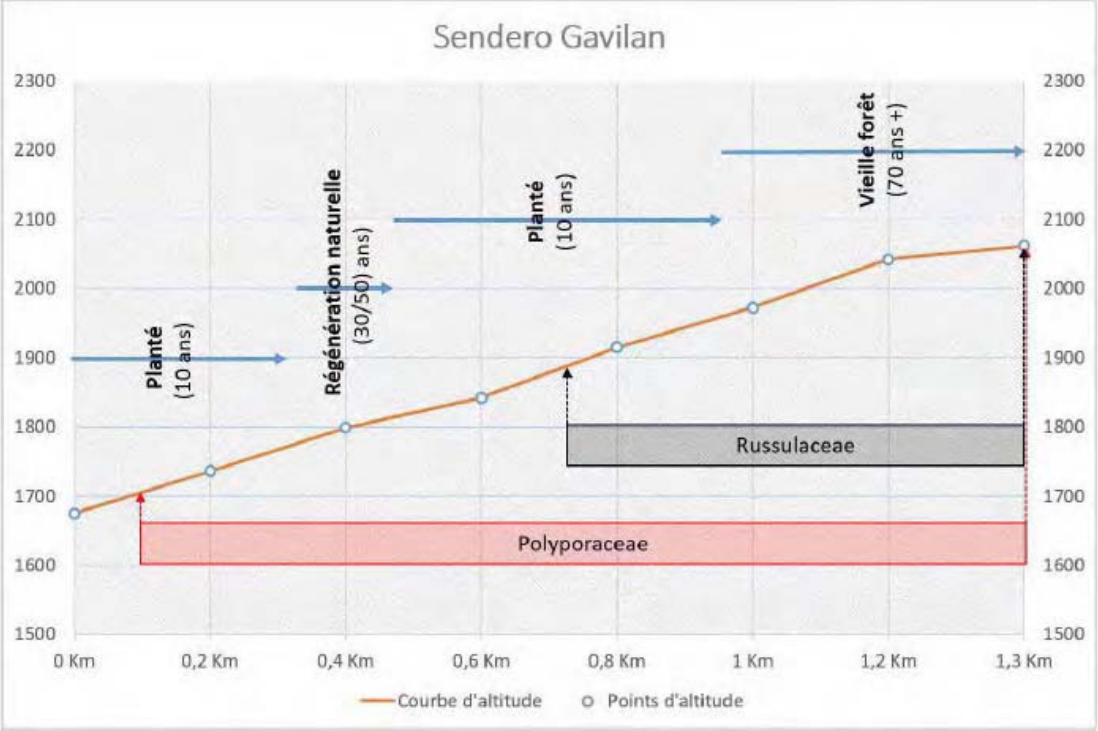


ANNEXE 9: Tableau simplifié de la classification des Ascomycota

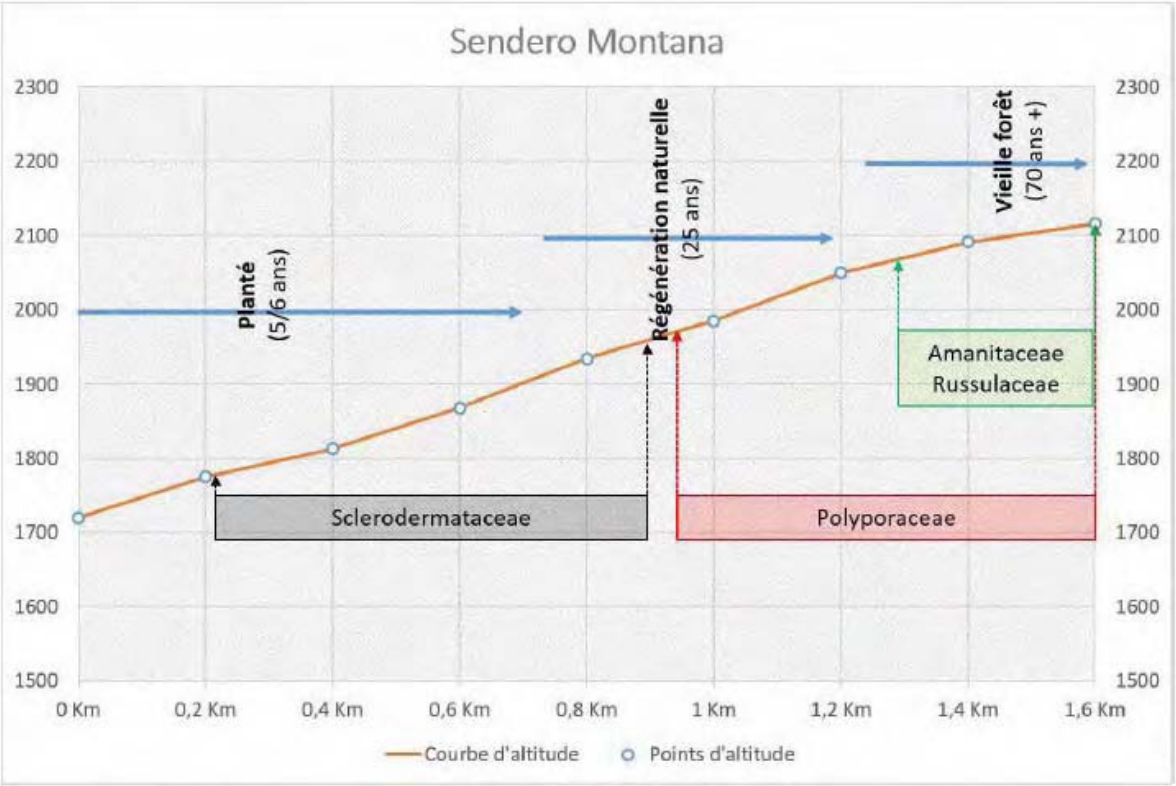


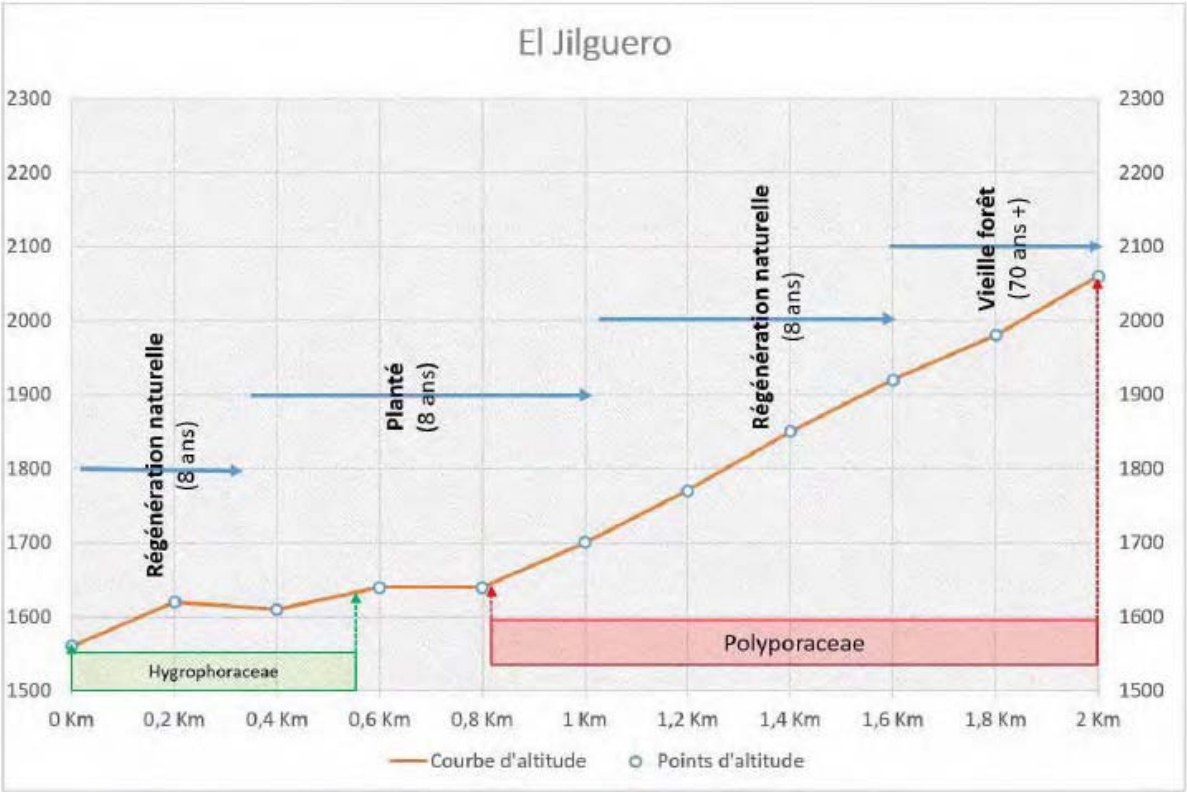
ANNEXE 10: Graphiques de présence des principales familles de champignons selon l'altitude (mètre) et la distance (kilomètre)





ANNEXE 10 *(suite)* : Graphiques de présence des principales familles de champignons selon l'altitude (mètre) et la distance (kilomètre)





ANNEXE 11 : Synthèse des principales familles de champignons par sentier

CHEMIN DE CLOUDBRIDGE	INFORMATIONS GENERALES	FAMILLES PRINCIPALES « FUNGIS » OBSERVEES
Sendero Gavilan *(Annexe 10) : Graphique Sendero Gavilan)*	Longueur: 1,3 Km Pente moyenne: 29,2 % Altitude : 1680-2080 mètres Ouverture de canopée: 5,4 %	Russulaceae Polyporaceae
El Jiguero *(Annexe 10) : Graphique El Jilguero*	Longueur: 2,04 Km Pente moyenne: 31 % Altitude : 1550-2080 mètres Ouverture de canopée: 11,44 %	Hygrophoraceae Polyporaceae Xylariaceae
Sendero Montana *(Annexe 10) : Graphique Sendero Montana)*	Longueur: 1,6 Km Pente moyenne: 28,7 % Altitude: 1730-2150 mètres Ouverture de canopée (1730-1910): 24 % Ouverture de canopée (1910-2140):4 %	Amanitaceae Russulaceae Sclerodermataceae Polyporaceae
Don Victor *(Annexe 10) : Graphique Don Victor)*	Longueur: 1,46 Km Pente moyenne: 19 % Altitude: 1700-1790 mètres Ouverture de canopée: 3,2 %	Marasmiaceae
Sendero Principal Chirripo *(Annexe 10) : Graphique Sendero Principal Chirripo)*	Longueur: 0,97 Km Pente moyenne: 17,7 % Altitude: 2022-2133 mètres Ouverture de canopée: 3,2 %	Polyporaceae Boletaceae Amanitaceae Cortinariaceae Cantharellaceae Ramariaceae Auriscalpiaceae