

## **FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL**

Je soussignée, **SOB DJOUGNE Marie Linda**, atteste que le présent mémoire est le fruit de mes propres travaux effectués à L'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson au Cameroun, sous l'encadrement du **Dr TEN HOOPEN Gerben Martijn**, chercheur au Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et à l'institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) et la supervision du **Dr DJEUGAP FOVO Joseph**, Chargé de Cours à la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA) de l'Université de Dschang.

Ce mémoire est authentique et n'a pas été antérieurement présenté pour l'acquisition de quelques grades universitaires que ce soit.

Noms et signature de l'auteur:

Visa de l'Encadreur:

Visa du Superviseur

Visa du Chef de Département

## **DEDICACE**

A mes parents :

Mr SOB Jean Marie et

Mme DONGMO ZEBAZE Thérèse

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à une mobilisation des moyens humains et financiers importants. C'est l'occasion pour moi d'exprimer ma reconnaissance aux personnes ci-après. Merci :

- Au Dr TEN HOOPEN Gerben Martijn, chercheur au CIRAD/IRAD qui a encadré et financé ce travail. Sa rigueur scientifique et ses corrections ont amélioré la qualité du document. Merci pour l'appui financier auquel j'ai bénéficié pour mener à bien mes activités ;
- Au Dr DJEUGAP FOVO Joseph, Chargé de Cours à la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA) de l'Université de Dschang pour avoir accepté de superviser ce travail, pour le temps consacré, la documentation numérique offerte, les conseils et critiques apportés lors des nombreuses relectures afin d'améliorer la qualité scientifique de ce mémoire ;
- Au Pr MANJELI YACOUBA, Doyen de la FASA de l'Université de Dschang et tous les enseignants de cette prestigieuse faculté pour leur dévouement à notre formation ;
- Au Dr NYASSE Salomon, chef de laboratoire de Phytopathologie pour l'accueil ;
- Aux chercheurs et aînés de l'IRAD : les docteurs MBARGA Joseph Bienvenu, MFEGUE Virginie et BAGNY Leila, les étudiantes stagiaires NDOUNGUE Mireille, PETCHAYO Sandrine et KUISSI Jeanne d'Arc pour l'accueil, le regard à la fois critique et expert lors de la rédaction du mémoire et les présentations scientifiques. Toute ma gratitude à M. OWONA Benoît qui a facilité la collecte des données sur le terrain.
- Aux messieurs BIDIAS Jean Paul et Mbala, mes guides de terrain ; ainsi qu'à Mme BIBIAS et les enfants pour l'hospitalité et l'accueil chaleureux qu'ils m'ont témoigné pendant la phase de terrain;
- A mes frères et sœurs SOB, mes aînés académiques et amis NYEBE Idriss, KONDZOU Jean François pour leurs conseils et encouragements ;
- A ma tante, Mme TIOMO Jacqueline pour son soutien maternel et ses encouragements;
- A tous mes camarades de la 16<sup>ème</sup> promotion et particulièrement mes amis BATCHEP Malvine, DONGMO Wilfried, TSOMBOU Pierre, NCHANG Annitta et TENE Michel pour les encouragements et la complicité pendant ces années d'étude;
- A EKOBENA ONAMBELE Paul, son soutien et ses encouragements m'ont largement aidé dans ce travail.
- A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette œuvre mais dont les noms ne figurent pas sur cette page, j'adresse toute ma gratitude.

## TABLE DES MATIERES

FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITE DU TRAVAIL.....	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....	viii
RESUME.....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCTION.....	1
Introduction .....	2
Contexte et justification .....	2
Problématique.....	3
Objectifs de l'étude.....	5
Objectif général .....	5
Objectifs spécifiques.....	5
Importance de l'étude .....	5
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE .....	6
1.1. Généralités sur le cacaoyer .....	7
1.1.1. Origine et dispersion .....	7
1.1.1.1. Origine .....	7
1.1.1.2. Dispersion.....	7
1.1.2. Production et utilisation .....	8
1.1.3. Taxonomie, écologie et culture du cacaoyer.....	8
1.2. Les ennemis du cacaoyer .....	11
1.2.1. Les ravageurs .....	11
1.2.1.1. Les mirides .....	11
1.2.1.2. Les autres ravageurs .....	14
1.2.2. Les maladies.....	14
1.2.2.1. Le balai de sorcière.....	15
1.2.2.2. La moniliose .....	15
1.2.2.3. Le vascular streak dieback (VSD).....	16

1.2.2.4.	Le « swollen shoot » .....	16
1.2.2.5.	La pourriture brune .....	16
1.3.1.	Définitions des concepts .....	20
1.3.2.	Quelques arbres rencontrés dans les SAF à base de cacaoyers.....	21
1.3.3.	Les effets de l’ombrage sur les bioagresseurs et la productivité du cacaoyer .....	21
<b>CHAPITRE 2: MATERIELS ET METHODES</b>	.....	<b>24</b>
2.1.	Présentation de la zone et du site d’étude.....	25
2.1.1.	Présentation de la zone.....	25
2.2.	Effet de l’ombrage sur les températures et l’humidité relative .....	27
2.2.1.	Dispositif expérimental.....	27
2.2.2.	Cartographie des parcelles.....	27
2.2.3.	Estimation de l’ombrage.....	28
2.2.3.1.	Mesure des arbres d’ombrage .....	28
2.2.3.2.	Détermination du nombre d’heures d’ombrage .....	30
2.2.4.	Détermination des valeurs du microclimat (température et humidité relative) .....	33
2.3.	Effet de l’ombrage sur l’incidence de la pourriture brune, les dégâts des mirides et la productivité.....	35
2.3.1.	Variables pathologiques .....	35
2.3.2.	Variables de pression parasitaire .....	36
2.4.	Influence de la pluviométrie sur l’incidence de la pourriture brune.....	37
2.5.	Analyses statistiques des données .....	37
<b>CHAPITRE 3: RESULTATS</b>	.....	<b>39</b>
3.1.	Effet de l’ombrage sur les températures et l’humidité relative .....	40
3.2.	Effet de l’ombrage sur les dégâts des mirides, l’incidence de la pourriture brune et la production des cabosses.....	47
<b>CHAPITRE 4: DISCUSSION, CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b>	.....	<b>52</b>
5.1.	Discussion .....	53
5.2.	Conclusion .....	57
5.3.	Perspectives et recommandations .....	58
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	.....	<b>59</b>
<b>ANNEXES</b>	.....	<b>68</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Quelques arbres de SAF à base de cacaoyers .....	21
Tableau 2: Résultats de la régression linéaire entre le nombre d'heure d'ombrage et le microclimat.....	41
Tableau 3: Effet de l'ombrage (moins ou plus ombragé) sur l'intensité des dégâts dus aux mirides du cacaoyer.....	49
Tableau 4: Effet de l'ombrage sur l'incidence de la pourriture brune et la productivité .....	50

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Une larve de miride (Photo Sarfo, 2010).....	12
Figure 2: Piqûres des mirides sur les cabosses (Photo Sob, 2013) .....	12
Figure 3: Un piège à mirides (Photo Ten Hoopen, 2012) .....	14
Figure 4: Symptômes de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer (Photo Ndoungue, 2012) .....	17
Figure 5: Présentation de la zone d'étude (zone agro écologique V).....	25
Figure 6: Présentation du site .....	26
Figure 7: Représentation des cacaoyers et des arbres associés dans une sous- parcelle (parcelle 3 MO). .....	28
Figure 8: Mesure des arbres d'ombrage.....	29
Figure 9: Schéma pour le calcul de la hauteur totale des arbres d'ombrage .....	30
Figure 10: Mode de calcul du nombre d'heures d'ombrage .....	31
Figure 11: Carte d'ombrage .....	32
Figure 12: Capteur mesurant les températures et l'humidité relative placé sur une branche de cacaoyer.....	33
Figure 13: Graphique des températures et de l'humidité relative de la parcelle 4 : (A) sous-parcelle moins ombragé et (B) sous-parcelle plus ombragé. ....	34
Figure 14: Relation entre le nombre d'heures d'ombrage, la température maximale (a) et l'humidité relative minimale (b) de la parcelle 4. ....	41
Figure 15: Relation entre les heures d'ombrage et le microclimat dans toutes les parcelles .....	42
Figure 16: Variation de la température moyenne et de l'humidité relative moyenne en fonction des heures de la journée des mois de mai (A), juin (B), juillet (C), août (D), septembre (E), octobre (F) 2013 et tous les mois (G) de la parcelle 4. ....	47
Figure 17: Effet de l'ombrage sur les dégâts dus aux mirides dans les sous-parcelles de cacaoyers ombragées ou non.....	48
Figure 18: Corrélation entre incidence de la pourriture brune et quantité de pluie tombée avec décalage dans le temps .....	51

## **LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES**

ANOVA : Analysis of Variance

CIRAD : Centre de Coopération en Recherche Agronomique pour le Développement

CSS: Cocoa Swollen Shoot

CSSV: Cocoa Swollen Shoot Virus

GPS: Global Positional System

ICCO: International Cocoa Organisation

IRAD : Institut de Recherche Agricole pour le Développement

ONCC : Office National du Cacao et du Café

PIB : Produit Intérieur Brut

SAFs: Système Agroforestier cacaoyer

SNK: Selection Nkoemvone

SPSS: Statistical Package for Social Science

VSD: Vascular Streak Dieback

WP: Wettable powder

WCF: World Cocoa Foundation

## RESUME

La cacaoculture au Cameroun est généralement pratiquée dans les systèmes agroforestiers complexes, en associant les cacaoyers avec les arbres fruitiers et/ou forestiers qui fournissent l'ombrage aux cacaoyers. Cet ombrage affecte la dynamique des bioagresseurs du cacaoyer. L'objectif de cette étude était de déterminer l'effet de l'ombrage sur le microclimat (température et humidité relative) sur l'incidence de la pourriture brune des cabosses (causée par *Phytophthora megakarya*), sur les dégâts des mirides (causés par *Sahlbergella singularis*) et par conséquent sur la productivité des cacaoyers.

L'étude a été menée dans 8 cacaoyères, dans lesquelles 2 sous-parcelles ont été choisies, comportant chacune 20 cacaoyers moins ombragés et 20 plus ombragés. Un capteur mesurant la température et l'humidité relative était placé dans chaque unité expérimentale. Pour caractériser l'ombrage, les arbres d'ombrage ont été mesurés et les données ont été introduites dans le logiciel Shademotion afin de déterminer le nombre d'heures d'ombrage reçu par les capteurs. Les données concernant la pourriture brune des cabosses et la productivité ont été collectées chaque semaine. La pression parasitaire liée aux mirides a été évaluée trois fois pendant la saison de production. La pluviométrie a été mesurée sur place.

L'ombrage a eu un effet significatif sur le microclimat : 17 à 35 % de variation de température et 12 à 25 % de variation d'humidité relative est due à l'ombrage. L'ombrage diminue la température moyenne et augmente l'humidité relative. L'ombrage a eu un effet significatif sur les dégâts des mirides et l'incidence de la pourriture brune. Il diminue les dégâts de mirides, tout en augmentant les pertes dues à la pourriture brune. La production des cabosses était significativement élevée dans les parcelles moins ombragées, comparée aux parcelles plus ombragées. Enfin, la quantité de pluie tombée était significativement liée à l'incidence de la maladie. L'étude montre que l'ombrage influence le microclimat d'une part et que l'intensité des dégâts dus aux mirides, l'incidence de la pourriture brune et la productivité des cacaoyers diminue avec l'ombrage d'autre part. Pour élucider plus en détail les liens entre l'ombrage, le microclimat, les bioagresseurs et la productivité des cacaoyers ainsi que les mécanismes associés, des études complémentaires doivent être menées.

**Mots clés : Bioagresseurs, Cacaoyer, Microclimat, Ombrage, Productivité, Système agroforestier.**

## ABSTRACT

In Cameroon, cacao (*Theobroma cacao*) is often grown in complex agroforestry systems with forest and fruit shade trees. Shade can affect pest and disease dynamics in these systems. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of shade on the microclimate (temperature and relative humidity), and on the incidence of cacao black pod disease (caused by *Phytophthora megakarya*), mirid attacks (caused by *Sahlbergella singularis*) and consequently on cacao productivity.

The trial was conducted eight plots. In each plot, 2 subplots were chosen, one less and one more shaded, each containing 20 cocoa trees. A data logger, measuring temperature and relative humidity, was placed in each subplot. Shade was quantified, in hours of shade per week received by a data logger, by characterizing shade trees and with the aid of the Shademotion software. Data on disease incidence and productivity was collected on a weekly basis. Pest pressure due to mirids was estimated three times over the course of the production season. A rain gauge at the site provided information on precipitation. Linear regression analysis was used to determine the relationship between hours of shade and temperature or relative humidity. Analysis of variance was used to determine whether shaded subplots were more or less prone to disease and pests attacks and whether productivity was affected. Cross correlation analysis was used to determine the link between rainfall and cacao black pod disease.

Shade has a significant effect on the microclimate: 17 to 35% of temperature variation and 12-25% of relative humidity variation were explained by shade levels. Shade increases relative humidity and reduces average temperature. Significant effects of shade on pest and disease damages were also observed. Shading reduces mirid damages yet increases disease related losses. Productivity was, however, significantly higher in less shaded compared with more shaded plots. Finally, the amount of precipitation is significantly linked with black pod disease incidence. This study shows that shade influences microclimate as well as mirid damage, black pod disease incidence and cacao productivity. To elucidate in more details the links between shade, microclimate and pests, diseases and cacao productivity as well as the underlying mechanisms, a continuation of observations is necessary.

**Key words: Agroforestry system, Cocoa, Microclimate, Pests and disease, Productivity, Shade.**

# **INTRODUCTION**

# Introduction

## Contexte et justification

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L) est l'une des plantes les plus importantes dans les systèmes agroforestiers tropicaux (Motamayor et *al.*, 2008). La cacaoculture a pour objectif la production de fèves de cacao exploitées en pâtisserie, en confiserie, en parfumerie, en pharmacie et en chocolaterie.

Introduit au Cameroun en 1887 par l'administration allemande, sa culture s'est manifestée à une échelle importante en première instance dans deux foyers: les régions du Mont Cameroun (Sud-Ouest du pays) et de Kribi (Sud). Actuellement, la cacaoculture couvre trois des cinq zones agro-écologiques du pays, dont on note sept grands bassins de production (Centre, Sud, Sud-ouest, Est, Littoral, Ouest et Nord-ouest). Elle est essentiellement réalisée par les agriculteurs au sein des petites exploitations familiales, couvrant une superficie d'environ 400.000 à 600.000 ha (ONCC, 2009).

Avec une production d'environ 2,786 millions de tonnes durant la récolte 2011-2012 sur une production mondiale de 3,962 millions de tonnes, selon les chiffres de l'Organisation Internationale du Cacao (ICCO), l'Afrique représente autour de 70% du marché mondial des fèves brunes. Numéro un mondial, la Côte d'Ivoire représente à elle seule 35,6% de la production mondiale de cacao, devant le Ghana, l'Indonésie, le Nigeria et le Cameroun.

Avec une production estimée à environ 230.000 tonnes lors de la saison 2011-2012, le Cameroun est cinquième producteur mondial. Premier produit d'exportation hors pétrole, il représente environ 25% de la valeur totale des exportations du pays, mis à part l'or noir. Le cacao occupe une place de choix au Cameroun comme étant un produit agricole de rente. D'après l'ONCC en 2009, le cacao représentait 2 % du PIB national, 6 % du PIB primaire, 30% du PIB du sous secteur des produits agricoles destinés à la transformation et 40 % des exportations du secteur primaire. La filière fait intervenir environ 600.000 producteurs, dont 8 millions de personnes vivant directement ou indirectement de l'économie cacaoyère dans ce pays d'Afrique centrale.

Le cacao est une denrée qui occupe une place essentielle dans la vie des producteurs, dont 40 à 50 millions de personnes dans le monde y tirent l'essentiel de leurs revenus. Sa culture concerne près de 5 millions de producteurs (WCF, 2012). Cependant des contraintes menaçant le potentiel de production au Cameroun ont été relevées (ONCC, 2009) :

- Les surfaces de production réduites ;
- Des vergers vieillissants donnant une faible production ;
- L'adoption d'itinéraires techniques peu appropriés ;
- L'utilisation d'un matériel végétal peu performant ;
- Une forte pression parasitaire et des maladies.

De toutes les maladies du cacaoyer dans le monde, la pourriture brune des cabosses due à *Phytophthora spp* provoque la plus grande perte de production, estimée entre 20 à 30 % (Guest, 2007). Quatre espèces de *Phytophthora* sont principalement connues comme agents pathogènes de la pourriture brune des fruits du cacaoyer. Il s'agit de *P. palmivora* répandu dans toutes les zones de production du cacao, *P. capsici*, *P.citrophthora*, enfin *P. megakarya* exclusivement présent en Afrique Centrale et de l'Ouest (Vos et al., 2003 ; Guest, 2007 ; Mfegue, 2012). Ce dernier est l'agent le plus agressif et est seul responsable des pertes occasionnées par la pourriture brune au Cameroun (Nyassé, 1992).

Un certain nombre de facteurs contribuent à l'initiation et la dispersion de la maladie dont les pluies qui sont un facteur primordial, la température sous la canopée cacaoyère et l'humidité relative élevée (Gregory et Madison, 1981; Deberdt et al., 2008).

La pourriture brune des cabosses n'est pas la seule affection préjudiciable à la cacaoculture au Cameroun. Outre cette maladie, on note la présence d'insectes nuisibles dont les principaux sont les mirides, en particulier *Sahlbergella singularis*. Ils se nourrissent sur les cabosses, les cherelles ainsi que les gourmands. Les piqûres infligées aux organes provoquent leur dessèchement et il peut en résulter la mort de l'arbre par arrêt d'approvisionnement en sève (Babin, 2009 ; Yede et al., 2012).

## **Problématique**

Dans le contexte actuel de diminution des terres disponibles, pression démographique rurale, crise alimentaire et changement climatique, l'agroforesterie offre des perspectives intéressantes pour la cacaoculture. Cette pratique constitue l'un des éléments sur lequel s'appuient les cacaoculteurs pour améliorer leurs revenus via les produits issus des arbres associés dans leurs cacaoyères (Sonwa et al., 2008). Le système de culture influence grandement la productivité du cacaoyer par le biais du microclimat apporté par l'ombrage. Selon Ruf et Zadi (1998), les cacaoyers sous ombrage pourraient produire pendant 60 à 100 ans alors que la production durerait seulement 20 ans lorsque les cacaoyers sont cultivés sans ombrage.

Au Cameroun, la plupart des systèmes repose sur un mode de production traditionnel sous l'ombrage naturel de la forêt et forment des Systèmes AgroForestiers cacaoyers (SAFs). Ces systèmes composés de cacaoyers et d'arbres forestiers ou fruitiers, conservent des rendements stables dans le temps, sans requérir une utilisation massive d'intrants chimiques (Jagoret, 2011). Ainsi, l'hétérogénéité intra-parcellaire des cacaoyères agroforestières entraîne, entre autres conséquences, un couvert des cacaoyères très irrégulier où coexistent des zones très ombragées, peu ventilées et très humides, et des zones au contraire très ouvertes, ensoleillées, et par conséquent beaucoup plus sèches. Cette hétérogénéité micro-climatique induit donc d'une part, une pression parasitaire liée aux mirides et à la pourriture brune des cabosses variable et d'autre part, des conditions de ressources en eau, éléments nutritifs, et lumière variables (Lamanda et *al.*, 2006).

En effet, il faut relever que les conditions climatiques sont très déterminantes pour le début et l'évolution de la pourriture brune. L'agent mis en cause a juste besoin de l'eau libre pour son développement. A cet effet, Deberdt et *al.* (2008) démontrent qu'il existe une forte corrélation positive entre l'incidence de la pourriture brune et la quantité de pluie tombée une semaine avant. Cependant dans cette même étude il n'ya eu aucun lien significatif entre les températures minimales, maximales et l'incidence de la maladie. Par ailleurs, Mfegue (2012) trouve que le niveau d'ombrage n'a pas une influence directe sur la production des cabosses et l'incidence de la pourriture brune.

Quant aux mirides, l'ensoleillement favorise l'ampleur de leurs dégâts. Dans les SAFs, les mirides ne sont pas repartis uniformément ; les individus et leurs dégâts sont agrégés de part et d'autres sur les cacaoyers et forment ce qu'on appelle des « poches à mirides » (Babin et *al.*, 2010).

Plusieurs études ont déjà été réalisées sur l'effet de l'ombrage sur la pourriture brune et les mirides du cacaoyer (Babin et *al.*, 2010 ; Kankeu, 2010 ; Mfegue, 2012 ; Gidoïn et *al.*, soumis), mais très peu s'intéressaient au microclimat qui règne dans les cacaoyères (Loguercio et *al.*, 2009). Bien plus, certaines caractéristiques des arbres d'ombrage telles que la hauteur, le nombre de strates d'arbres, la densité du feuillage, la forme de la canopée et la densité de la canopée cacaoyère ne sont pas souvent pris en compte pour la caractérisation de l'ombrage.

Cette étude est menée sous l'hypothèse selon laquelle l'ombrage influence le microclimat qui est constitué de la lumière, la température, l'humidité relative, les pluies et le vent. Ces facteurs interagissent pour influencer le développement de la pourriture brune, les dégâts des mirides et par ricochet la productivité des cacaoyers.

## **Objectifs de l'étude**

### **Objectif général**

De manière générale, cette étude vise à contribuer à la mise au point des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers permettant de limiter le risque de dommages par les bioagresseurs.

### **Objectifs spécifiques**

Spécifiquement, il s'agira de :

- Déterminer l'effet de l'ombrage sur la température et l'humidité relative.
- Déterminer l'effet de l'ombrage sur l'incidence de la pourriture brune, les dégâts des mirides et la productivité des cacaoyers.
- Déterminer l'influence des précipitations sur l'incidence de la pourriture brune.
- Décrire les liens entre l'ombrage, le microclimat et la productivité des cacaoyers.

### **Importance de l'étude**

Pour atteindre les objectifs de production dans les années futures selon les prévisions faites par l'ONCC, des moyens doivent être mobilisés, notamment pour limiter les contraintes phytosanitaires majeures de la cacaoculture. Cette étude justifie son importance à deux niveaux :

- Sur le plan scientifique, elle pourra générer des informations supplémentaires dans la recherche quant à l'appréciation du rôle de l'ombrage dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers.
- Sur le plan pratique, elle permettrait de guider les producteurs en ce qui concerne la prise de décision dans le choix des associations culturales lors de la mise en place de nouvelles parcelles cacaoyères; elle permettrait aussi de fournir des informations aux planteurs pour la gestion de l'ombrage.

# **CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE**

## **1.1. Généralités sur le cacaoyer**

### **1.1.1. Origine et dispersion**

#### **1.1.1.1. Origine**

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est un arbre dont l'origine botanique est localisée dans les forêts humides d'Amérique tropicale où il se rencontre à l'état naturel (Braudeau, 1969). Anciennement classé dans la famille des Sterculiaceae, le cacaoyer est, depuis quelques années, classé dans celle des Malvaceae (classification phylogénique). Le genre *Theobroma* comprend vingt-deux espèces et dont la plupart sont exploités localement pour la confection des plats cuisinés, de gelées ou de boissons rafraichissantes. Cependant la seule espèce cultivée commercialement pour la production de graines destinées à la préparation du chocolat ou à l'extraction du beurre de cacao est *Theobroma cacao* L. (Mossu, 1990).

Le nom *Theobroma cacao* dérive du Grec «*theos*»= Dieux, et «*broma*»= nourriture : «*nourriture des dieux* ». Les Aztèques des hauts plateaux mexicains avaient étendu leur empire jusqu'aux régions de culture du cacaoyer où ils prélevaient d'importants tributs sous forme de graines qu'ils appelaient «*cacahoatl* », d'où dérive le mot «*cacao* ». Nombreuses étaient alors les cérémonies où le cacao était utilisé comme bien de luxe à valeur sacrée ou comme breuvage, également sacré, qu'ils appelaient «*xocoatl* », d'où provient le mot «*chocolat* » ( Mossu, 1990). Ce même auteur rapporte que les Mayas ont été certainement les premiers à cultiver cet arbre dont les fèves étaient utilisées à la fois comme produit de consommation et comme monnaie d'échange.

#### **1.1.1.2. Dispersion**

La culture du cacaoyer était largement répandue en Amérique Centrale avant la conquête espagnole du 16e siècle. Elle s'est ensuite répandue dans la plupart des îles des Caraïbes, le Venezuela et la Colombie grâce à l'expansion rapide du marché européen du 17e siècle. A partir de quelques plants transférés par les Espagnols aux Philippines, la culture s'est étendue vers le Sud et à travers l'Inde Orientale, et ensuite au Sri Lanka au cours du 19e siècle (Wood et Lass, 1985). Au début du 19e siècle, une série d'introductions s'est faite en Asie à partir de différentes régions d'Amérique Latine, notamment au Sri Lanka par les anglais, à Java par les Hollandais et en Papouasie-Nouvelle-Guinée par les Allemands. Ceci a favorisé le développement des industries cacaoyères dans cette dernière région et en Indonésie. Par ailleurs, de grandes zones cacaoyères furent créées en Equateur et à Bahia au Brésil au 19e siècle. De là partirent les premières introductions vers l'Afrique, d'abord sur les îles Sao-Tomé et Principe en 1822, puis

sur Fernando-Pô en 1855 (Burle, 1952). La culture arriva ensuite sur le continent, notamment au Cameroun, en 1860. Les semences de cacaoyer, importées d'Amérique australe et de Sao Tomé et Príncipe en 1887 ont permis aux Allemands d'installer les premières plantations du cacao d'abord à Limbé, puis sur les pentes du Mont Cameroun (Assoumou, 1977). Son extension a continué dans les plaines côtières du Littoral, ensuite le long du fleuve Moungo et Wouri et de là il fut diffusé vers l'intérieur du pays (Mbondji, 2010).

### **1.1.2. Production et utilisation**

La production mondiale de cacao marchand est en constante évolution. Elle est passée de 3,63 millions de tonnes en 2009/2010 à près de 4,3 millions de tonnes en 2010/2011 (ICCO, 2011). L'Afrique fournit autour de 70% de la production cacaoyère mondiale, dans quatre des cinq plus grands pays producteurs mondiaux dont la Côte d'Ivoire (32%), le Ghana (24%), le Nigeria (9%) et le Cameroun (8%). Le reste des 30% est produit par l'Asie, l'Océanie et l'Amérique (WCF, 2012).

Le cacaoyer est cultivé pour ses cabosses contenant des graines (fèves) qui après fermentation et séchage donnent du cacao marchand, matière première utilisée pour la fabrication du chocolat (Cilas et *al.*, 2011). En dépit de la fabrication du chocolat, ses fèves sont utilisées dans la fabrication de la pâte de cacao, de la poudre de cacao, du beurre de cacao (utilisé dans les industries cosmétiques), etc.

### **1.1.3. Taxonomie, écologie et culture du cacaoyer**

#### **1.1.3.1. Taxonomie**

Le nom scientifique *Theobroma cacao* L. fut créé par le botaniste suédois Karl von Linné en 1753. Cependant la seule espèce cultivée commercialement parmi les 22 espèces que renferme le genre *Theobroma* est *Theobroma cacao* L. Le cacaoyer appartient au règne Végétal, à l'embranchement des Spermaphytes, la Tribu des Bythneriées, l'ordre des Tiliales, la famille des Malvacées, la sous-famille des Sterculiacées, au genre *Theobroma* et à l'espèce *cacao* (Mossu, 1990). L'espèce comporte deux groupes morpho-géographiques distincts, les Criollo et les Forastero (Cheesman, 1944), ainsi qu'un groupe hybride, les Trinitario.

#### **➤ Les Criollo**

Les cabosses sont de couleur verte ou violette avant maturité, et jaune ou rouge à maturité, de forme généralement allongée, pointue et marquée de dix sillons égaux ou parfois répartis en deux groupes alternés de cinq, dont un groupe moins accentué.

Le péricarpe des criollo est généralement très verruqueux, mince et très facile à couper, le mésocarpe est aussi mince et peu lignifié. Les criollo sont dodues, de section presque ronde aux cotylédons frais de couleur blanche très légèrement pigmentée et présentant un faible goût d'amertume. Ses fèves donnent un chocolat fin et aromatisé. Peu cultivés, ils contribuent à environ 5 % de la production mondiale de cacao et sont très sensibles aux maladies (Eskes et Lanaud, 1997).

#### ➤ **Les Forastero amazoniens**

On distingue les variétés hautes et basses Amazoniennes dont la plus connue est Amelonado (basse). Les cabosses sont vertes à l'état immature et deviennent jaunes à maturité. Elles sont de formes variables, généralement ovales, à surface lisse et sans sillons profonds. Le péricarpe est épais et très dure à couper à cause du mésocarpe très lignifié. Les fèves sont de plus en plus aplaties et les cotylédons frais sont de couleur pourpre foncé. Les Forastero amazoniens contribuent à plus de 80% de la production mondiale de cacao. Ils sont plus résistants aux maladies (Paulin, 1994).

#### ➤ **Les Trinitario**

Ce groupe est constitué par une variété d'hybrides issue des croisements entre les criollo et les forastero Amazoniens. Les caractéristiques botaniques sont par conséquent intermédiaires entre les criollo d'une part et les forastero d'autre part. Les trinitario fournissent environ 10 à 15% de la production mondiale de cacao (Eskes et Lanaud, 1997).

#### ➤ **Découvertes récentes**

Les trois groupes traditionnels de cacao selon Cuatrecasas (1964) sont: Criollo, Forastero amazonien et Trinitario. Cependant, Motamayor et *al.* (2008) à travers une étude basée sur les marqueurs micro satellitaires opposent désormais 10 groupes de cacaoyers aux groupes traditionnels ci-dessus. Il s'agit de: Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guiana, Iquitos, Marañon, Nacional, Nanay, et Purús. Seul le Criollo se conserve dans cette nouvelle classification.

### **1.1.3.2. La plante et son écologie**

#### **a) La plante**

Le cacaoyer est un arbuste de grande taille, il peut atteindre 20 m de hauteur à l'état sauvage. Son système racinaire est composé d'un pivot qui croît verticalement dans le sol tandis que les racines latérales ont une croissance plagiotrope (Partiot, 1976).

La tige du cacaoyer est orthotrope et sa croissance est assurée par un bourgeon terminal dont l'arrêt d'activité vers le 18<sup>ème</sup> mois donne naissance à des méristèmes qui initieront des branches à environ 1,5 à 2 m du sol et des ramifications secondaires plagiotropes. Le développement des ramifications latérales est assuré par des poussées foliaires successives, séparées par des périodes de repos de 8 à 10 semaines. Les feuilles du cacaoyer sont simples, lancéolées, pétiolées, longues (environ 40 cm), rigides et de couleur verte foncée à maturité (Derron, 1977 ; Mossu, 1990).

La floraison du cacaoyer est abondante, les fleurs sont hermaphrodites, elles apparaissent sur le tronc (cauliflorie) et sur les branches principales (ramiflorie) au niveau des massifs renflés connus sous le nom de « coussinets floraux ». Le cacaoyer est une plante diploïde avec  $2n = 20$  chromosomes et essentiellement allogame. Sa pollinisation est principalement assurée par les insectes. De plus parmi les fleurs pollinisées seules 5 % reçoivent un nombre de grains de pollen nécessaire et suffisant pour féconder tous les ovules (Mossu, 1990).

La fécondation réussie d'une fleur conduit au développement d'un fruit appelé « cabosse » qui arrive à maturité après 5 à 7 mois. Le fruit du cacaoyer est ovoïde, c'est une baie indéhiscente qui peut contenir en moyenne 15 à 50 graines ou fèves de cacao enveloppées d'une pulpe mucilagineuse épaisse sucrée et acidulée, serrées les unes contre les autres en cinq rangées groupées autour du placenta central.

La cabosse est attachée au tronc et aux branches, sur des coussinets floraux, par un pédoncule ligneux et brunâtre. La cabosse adulte présente une dépression dans la zone d'insertion au pédoncule ou zone proximale ; ses flancs présentent des sillons plus ou moins profonds selon les cultivars, convergeant vers la partie plus ou moins pointue située à l'opposé du pédoncule ou zone distale (Babacauh, 1983).

## **b) Ecologie du cacaoyer**

Le cacaoyer est typiquement une plante tropicale de forêt aux climats chauds et humides sans saison sèche prolongée, dont le maximum se situe autour de trois mois (Braudeau, 1969). Il est cultivé entre les latitudes 20° Nord et 23° Sud sous l'équateur et peut pousser jusqu'à 1000 mètres d'altitude. Cependant, au niveau de 20° Nord, seul le niveau de la mer lui convient. Sa croissance optimale exige des températures entre 24 et 28 °C, une pluviométrie annuelle de 1500 à 2500 mm. L'hygrométrie de l'air doit être élevée avec un optimum de 85 %. La lumière conditionne la croissance et le rendement du cacaoyer. Le cacaoyer exige des sols profonds,

meubles, perméables, bien drainés, riches en matière organique (3.5 % minimum) et en éléments minéraux (Mossu, 1990).

### **1.1.3.3. Culture du cacaoyer**

La culture du cacaoyer commence par la confection d'une pépinière et comprend les opérations suivantes: choix du terrain, préparation du terrain et plantation. Les plantations sont généralement créées à partir des graines. Les semences sélectionnées dans de nombreux pays proviennent des hybrides. Cependant dans certains pays comme la Malaisie, on trouve des plantations de cacaoyers issus de greffes et l'Equateur avec des plantations de clones obtenus par bouturage d'axes plagiotropes. (Mossu, 1990). Les densités des plantations varient en fonction des pays, cependant certains écartements pratiqués en Afrique sont: (3 m x 3 m), (3 m x 2,5 m) et (2,5 m x 2,5 m) correspondant respectivement aux densités de plantation de 1111 plants/ha, 1333 plants/ha et 1600 plants/ha. Pendant que le cacaoyer se développe, il faudrait réduire l'ombrage. Les besoins en éclairage varient de 25 à 50 %, pour les jeunes plants, et de 50 à 70 % pour les plants ayant plus de quatre ans d'âge. L'entretien de la plantation implique la conduite renouvelée des opérations suivantes: débroussaillage, remplacement des manquants, réglage de l'ombrage, taille de formation et d'entretien, traitements phytosanitaires et fertilisation.

## **1.2. Les ennemis du cacaoyer**

### **1.2.1. Les ravageurs**

#### **1.2.1.1. Les mirides**

Plusieurs mirides sont repartis de part et d'autres dans les pays producteurs de cacao. Ce sont *Monalonion spp.* en Amérique latine, *Platyngomirioides*, *Helopeltis* en Asie, *Sahlbergella singularis*, *Distantiella theobroma*, et *Helopeltis spp.* en Afrique de l'Ouest et Centrale (Vos et al., 2003). L'espèce la plus récurrente au Cameroun est *Sahlbergella singularis* Haglund (Babin, 2009).



**Figure 1:** Une larve de miride (Photo Sarfo, 2010)

**a) Dégâts**

Les dégâts de ces insectes se traduisent par des piqûres sur les rameaux et les cabosses (Figure 2), à l'aide de leur stylet. Ils y injectent une salive toxique ; les piqûres infligées aux rameaux et aux cabosses provoquent les nécroses des tissus et la perte de feuillage qui dessèche à cause de l'arrêt de l'approvisionnement en sève. Les lésions se développent souvent en chancres qui affaiblissent l'arbre facilitant les infections par des champignons parasites (Babin, 2009). Les mirides se nourrissent essentiellement sur les cherelles (ce qui peut conduire à leur flétrissement), les jeunes cabosses et les fruits matures (Anikwe, 2010). Les dégâts dépendent de la disponibilité d'un nombre élevé de cabosses et la présence des jeunes tissus comme les nouvelles feuilles (Idowu, 1989).

Les pertes de rendement dus aux mirides n'ont pas encore été précisément évaluées à ce jour au Cameroun. Cependant ils peuvent être responsables des pertes de plus de 25 % en Afrique de l'Ouest (Anikwe et *al.*, 2009).



**Figure 2:** Piqûres des mirides sur les cabosses (Photo Sob, 2013)

## **b) Méthodes de lutte**

Les méthodes de lutte appliquées contre les mirides se résument à la lutte chimique, biologique, mécanique, culturale.

- **Lutte chimique**

La lutte chimique consiste en la pulvérisation des insecticides chimiques dans les plantations. Elle est plus efficace durant la période de pullulation des mirides, c'est-à-dire de juillet à octobre. Cependant, pour des raisons d'économie évidentes et d'équilibre biologique, de tels traitements aux insecticides ne devraient être entrepris que lorsqu'ils sont indispensables, c'est-à-dire dans les zones où une pullulation menace effectivement de se déclencher (Lavabre, 1970). La lutte chimique doit tenir compte d'une part de la connaissance de la dynamique des populations des ravageurs et de leur seuil de nuisibilité, d'autre part de la présence d'agents auxiliaires dans la plantation et de la qualité du produit chimique utilisé, c'est-à-dire de sa sélectivité, de son innocuité et de sa biodégradabilité (René et *al.*, 1996).

- **Lutte biologique**

Elle se rapporte à l'utilisation d'ennemis naturels, notamment les fourmis de la famille des Formicidae. Deux principales espèces de fourmis arboricoles dominantes dans les cacaoyères au Cameroun ont été reconnues comme potentiels agents de lutte biologique contre *S. singularis*. Il s'agit d'*Oecophylla longinoda* et *Tetramorium aculeatum* qui sont des prédateurs de cet insecte (Babin et *al.*, 2012 ; Yede et *al.*, 2012). Cinq souches de champignon entomopathogène (*Beauveria bassiana*) se sont également avérées efficaces dans le biocontrôle de *S. singularis* (Mahot, 2011 non publié).

- **Le piégeage**

Le piégeage n'est pas encore adapté pour le contrôle de *S. singularis*. C'est beaucoup plus un outil de monitoring, qui permet le suivi des populations et leur contrôle (Bagny et *al.*, 2012). Des études sont entrain d'être menées, utilisant les pièges pour inoculer les mâles de *S. singularis* avec un entomopathogène. Il est également possible d'empêcher l'accouplement des individus en évitant l'arrivée des mâles dans les parcelles par l'installation des pièges à phéromones (Figure 3). Le piège est constitué du mélange de phéromones synthétiques qui sont attractifs pour les mirides et spécifiquement pour l'espèce d'intérêt *S. singularis* (Sarfo et *al.* 2010 ; Mahob et *al.* 2011).



**Figure 3:** Un piège à mirides (Photo Ten Hoopen, 2012)

- **Les pratiques culturelles**

Elles consistent en la destruction des plantes hôtes alternatives des mirides telles que le kolatier (*Cola sp.*) et le fromager (*Ceiba pentandra*) qui sont des potentiels foyers d'infestation ; le réglage de l'ombrage dans les plantations et l'égourmandage des cacaoyers, qui consiste à éliminer les pousses orthotropes du tronc (Kumar, 1984). Le maintien d'un ombrage homogène est également recommandé en vue de réduire l'impact des dégâts de mirides (Babin et al., 2010).

#### **1.2.1.2. Les autres ravageurs**

Ce sont les insectes et les vertébrés dont leurs dégâts sont moins importants que ceux des mirides. Il s'agit entre autres des chenilles défoliatrices du genre *Acheae*, le Psylle du cacaoyer (*Mesohomotoma tsmanni*), la punaise verte des cabosses du cacaoyer (*Bathycoelia thalassina*) et les foreurs de tiges et des branches du cacaoyer dont le plus connu est *Phosporus virescens gabonator* (Vos et al., 2003).

Certains vertébrés sont très friands de la pulpe des cabosses. Il s'agit des rats, des écureuils, des singes, des oiseaux, notamment les perroquets. La lutte contre ces animaux se fait par la chasse, le défrichage de la plantation et des alentours du champ.

#### **1.2.2. Les maladies**

La pourriture brune des cabosses, le balai de sorcière, la moniliose, le vascular streak dieback (trachéomycose) et le swollen shoot sont les principales maladies du cacaoyer. Elles sont responsables des pertes de l'ordre de 40 % de la production potentielle à l'échelle mondiale (Flood et al., 2004).

### **1.2.2.1. Le balai de sorcière**

L'agent pathogène responsable de cette affection est *Moniliophthora perniciosa*, autrefois appelée *Crinipellis perniciosa*. Elle sévit en Amérique du Sud, en Amérique Centrale, au Panama, jusqu'au canal de Panama et aux Antilles. Originnaire de la haute Amazonie, elle fut détectée pour la première fois au Surinam. Puis, elle s'est propagée dans le reste de l'Amérique du sud et en partie au Caraïbes où elle a ruiné l'industrie cacaoyère plus précisément à Bahia, au Brésil (Pereira, 1998). Elle entraîne une poussée hypertrophique des bourgeons qui provoque la prolifération exacerbée des rameaux et des coussinets floraux et au niveau des cabosses, détruit les graines dans les jeunes fruits (Nguyem Ban, 1996). Selon Mossu (1990), elle conduit à des pertes énormes d'environ 90 % de cabosses et présente un très haut risque de contamination.

La lutte prophylactique contre cette maladie consiste au maintien de l'ombrage, à la taille sanitaire et à l'incinération des tissus malades. L'application de l'oxyde cuivreux ou de l'hydroxyde de cuivre contrôle la maladie de presque 86 % et 79 % respectivement (Asha et al., 2006), les travaux sont également effectués sur l'utilisation des agents de lutte biologique tel que *Trichoderma stromaticum* pour contrôler le balai de sorcière (Samuels et al., 2000).

### **1.2.2.2. La moniliose**

*Moniliophthora roreri* est l'agent responsable de cette affection. Elle sévit en Amérique centrale, en Amérique du Sud et du Nord où elle représente l'une des maladies fongiques les plus graves du cacaoyer (Fluton, 1989). Les symptômes s'observent principalement sur les cabosses se traduisant par de points huileux et la déformation de la cabosse à laquelle fait suite l'apparition des lésions de couleur brune, noire irrégulière, qui envahissent rapidement toute la surface de la cabosse (Wood et Lass, 1985). Des études récentes faites par Gidoïn et al. (article soumis) dans une région au Costa Rica ont montré que la structure régulière des arbres forestiers, comparée aux autres structures à faible densité, influence le microclimat qui réduit l'intensité de la moniliose des cabosses du cacaoyer dans les agroforets.

Le contrôle de cette maladie se fait par la suppression des cabosses infectées, ainsi que par l'application des fongicides à base d'hydroxyde de cuivre, parfois en combinaison avec des agents de lutte biologique du genre *Trichoderma spp* ou *Clonostachys spp* (Hidalgo et al., 2003 ; Bateman et al., 2005 ; Krauss et al., 2010; Krauss et al 2013).

### **1.2.2.3. Le vascular streak dieback (VSD)**

L'agent responsable de cette maladie est *Oncobasidium theobromae*. Il affecte les feuilles, les racines et les branches, mais les symptômes se manifestent par une décoloration du xylème, une chlorose des feuilles, et le développement sur celles-ci de taches jaunes (Frison et Feliu, 1989). Les jeunes cacaoyers sont très sensibles à cette maladie qui sévit souvent en pépinière. La malnutrition et les attaques des insectes sont responsables de l'affaiblissement des jeunes cacaoyers encore sensibles.

La lutte consiste à établir une bonne pépinière pour obtenir une cacaoyère avec des plants vigoureux et bien développés, à installer des brise-vent, et si l'infection est importante, procéder à la taille généralisée des branches de l'arbre atteint et les brûler (Mossu, 1990).

### **1.2.2.4. Le « swollen shoot »**

Le «Cocoa swollen shoot» (CSS) est la principale maladie d'origine virale connue chez le cacaoyer. Elle est causée par le « Cocoa swollen shoot virus » (CSSV), un virus transmis par un vecteur présent en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Nigeria, au Togo et au Cameroun, mais la maladie n'est pas encore présente dans ce dernier pays (End et *al.*, 2010). L'origine du nom de cette maladie est liée aux gonflements des rameaux qui constituent l'un de ses symptômes caractéristiques. Mais, cette maladie provoque aussi des bandes rouges et des mosaïques le long des nervures des feuilles ainsi qu'une sévère défoliation. Il s'en suit une baisse rapide de la production et une chute spectaculaire du rendement. Finalement l'arbre meurt au bout de trois à cinq ans après le début de l'infection.

Le contrôle de la maladie consiste principalement en l'arrachage des cacaoyers malades et en la replantation de cacaoyers résistants ou tolérants (Kouakou et *al.*, 2011).

### **1.2.2.5. La pourriture brune**

#### **a) Agent causal**

La pourriture brune des cabosses est l'une des plus importantes maladies cryptogamiques du cacaoyer en Afrique. Plusieurs espèces de *Phytophthora* sont responsables de cette maladie dans le monde. Il s'agit notamment de *P. palmivora*, la plus répandue dans les pays producteurs de cacao (Afrique, Amérique Latine et Asie du Sud- Est), *P. tropicalis*, *P. capsici* et *P. citrophthora* sont présents en Afrique, mais pas sur le cacaoyer. Les deux dernières espèces sont également rencontrées dans les régions d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud. Enfin, *P. megakarya* la plus virulente et présente en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale (Djiekpor et Davous,

1984 ; Guest, 2007). Seul ce dernier est le pathogène du cacaoyer rencontré dans l'ensemble des cacaoyères du Cameroun (Nyassé, 1992 ; Mfegue, 2012).

Les *Phytophthora* appartiennent au règne des Protistes, au groupe des Stramenopiles, à la classe des Oomycètes, à l'ordre des Peronosporales et à la famille des Pythiacées (Kroon et *al.*, 2004; Tyler et *al.*, 2006). Ils sont des microorganismes à structure végétative diploïde, leur thalle filamenteux est formé d'un mycélium coénocytique et hyalin. Les sporocystes ont les formes et tailles variées selon les espèces (Asare-Nyako et *al.*, 1981).

### b) Symptômes de la maladie

La maladie sur les cabosses commence avec l'apparition de petites taches translucides près de deux jours après l'infection. La tâche prend ensuite une couleur brun sombre, se répand rapidement et de façon irrégulière, puis elle couvre entièrement la cabosse. Dans un délai de 3 à 5 jours après le début de l'infection, la cabosse se couvre d'un duvet blanchâtre (Figure 4) constitué de sporocystes qui vont produire et libérer des zoospores (Acebo-Guerrero et *al.*, 2011).

L'infection des cabosses par *Phytophthora megakarya* peut débuter sur le pédoncule, dans la dépression proximale (zone juste en dessous du pédoncule), sur le côté ou à l'extrémité distale du fruit (Babacauh, 1983). L'agent pathogène se développe d'abord en surface, puis évolue à l'intérieur des fruits. Le fruit infecté reste ferme, mais les fèves obtenues sont impropres à la consommation. A la fin du processus, la cabosse prend une teinte noire et se momifie.



**Figure 4:** Symptômes de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer (Photo Ndoungue, 2012)

### **c) Epidémiologie**

#### **• Sources d'inoculum**

Il existe plusieurs sources d'inoculum de *P. megakarya* ; le sol en est une. Cet agent pathogène a été rapporté dans le sol des plantations infectées au Nigeria et au Cameroun (Gregory et Madison, 1981 ; Mfegue, 2012). Les cabosses infectées constituent la principale source de contamination en champ. Une seule cabosse infectée par *P. megakarya* peut produire plusieurs millions de sporocystes renfermant des zoospores et une seule zoospore est suffisante pour infecter une autre cabosse. Les cabosses malades sont présentes sur les arbres pendant une longue période (4 à 5 mois) et entretiennent de ce fait l'épidémie pendant toute la campagne de production (Evans et Prior, 1987).

#### **• Dispersion**

La dispersion de la maladie de pourriture brune en champ est imputable aux facteurs environnementaux. Les pluies, l'humidité relative élevée et les basses températures créent des conditions favorables au développement de la maladie. Les pluies sont un facteur déterminant de l'initiation de la maladie, les symptômes apparaissant approximativement une semaine après les pluies (Gregory et Madison, 1981 ; Deberdt *et al.*, 2008).

En général, la maladie se déclenche dès l'arrivée des pluies, grâce à un effet splash sur le sol contenant déjà l'inoculum qui atteint les cabosses les plus proches du sol (Mfegue, 2012). Une fois sur les cabosses, les zoospores en présence de l'eau libre germent et pénètrent dans les tissus du fruit. La dispersion rapide et sur de longues distances de *P. megakarya* est surtout assurée par l'homme, à travers les récoltes et outils contaminés, également à travers les pas lors de la marche (Guest, 2007 ; Ten Hoopen *et al.*, 2012).

### **d) Les moyens de lutte contre la pourriture brune**

Plusieurs méthodes sont appliquées pour lutter contre la pourriture brune des cabosses. Il s'agit de la lutte chimique, culturale, génétique, biologique et la lutte intégrée.

#### **➤ Lutte chimique**

C'est la méthode la plus utilisée et s'est montrée relativement efficace dans le contrôle de la maladie. Les fongicides couramment utilisés par les producteurs sont des produits de contact à base d'oxyde de cuivre et- ou systémiques à base de métalaxyl. Le Ridomil plus Gold 66 WP par exemple est un fongicide doté d'un effet toxique direct sur *P. megakarya*, principalement à travers la persistance de sa matière active, le métalaxyl qui après application pénètre dans la cabosse et évite son infection (Deberdt *et al.*, 2008). Toutefois, les controverses liés à

l'utilisation de ces produits (risque de pollution, perte de la biodiversité, développement des résistances par le pathogène) et leur accessibilité (disponibilité des produits sur le marché et acquisition par les planteurs) constituent une contrainte de production (Sonwa et *al.*, 2008; Gockowski et *al.*, 2010).

#### ➤ **Lutte culturale**

Cette méthode repose sur des pratiques culturales appropriées pour réduire la pression de l'inoculum en champ. Il s'agit notamment de la gestion de l'ombrage pour une meilleure aération des parcelles, de la taille régulière des arbres, du drainage du sol, de la récolte sanitaire qui consiste en l'élimination systématique des cabosses infectées. Cette dernière peut se faire en début de saison, en enlevant les fruits momifiés de la saison précédente, qui sont des sources potentielles d'inoculum primaire, et alors enlever régulièrement les cabosses malades qui peuvent être des sources d'inoculum secondaire (Ndoumbe-Nkeng et *al.*, 2004). Ces pratiques sont peu coûteuses, mais leur efficacité en champ reste limitée en condition de forte humidité. Elles devraient être associées à d'autres stratégies pour un contrôle optimal de la maladie en champ.

#### ➤ **Lutte biologique**

Elle fait recours à l'utilisation des extraits des plantes ou des microorganismes antagonistes contre *P. megakarya*. Ainsi Sonwa et *al.* (2002) a relevé la perception des agriculteurs sur l'existence de quelques plantes (par exemple *Cannabis sativa*, *Guibourtia tessmannii* et *Erythrophleum ivorense*) pouvant être mélangées aux autres extraits de plantes ou aux fongicides chimiques. Cependant il n'y a pas d'études qui montrent réellement leur efficacité.

L'utilisation des microorganismes antagonistes, notamment *Trichoderma spp* dans le contrôle de *P. megakarya* est de plus en plus développée dans de nombreux pays producteurs de cacao notamment au Brésil, au Cameroun, en Côte d'Ivoire et en Costa Rica (Hidalgo et *al.*, 2003; Samuels et Hebbbar, 2005 ; Tondje et *al.*, 2005; Bateman et *al.*, 2005; Holmes et *al.*, 2006; Mpika et *al.*, 2009 ; Krauss et *al.*, 2010). Les recherches au Cameroun se résument à l'évaluation de l'activité antagoniste en milieu contrôlé et naturel; et à la préparation des formulations des souches de *Trichoderma* présentes (Tondje et *al.*, 2007 ; Deberdt et *al.*, 2008 ; Mbarga, 2010). Une souche de *Trichoderma asperellum*, la souche PR11 appliquée au sol s'est avérée efficace dans la réduction du taux d'inoculum primaire de *P. megakarya* dans une plantation paysanne camerounaise, possédant une meilleure action antagoniste vis-à-vis de ce pathogène (Ndoungue, 2012).

### ➤ **Lutte génétique**

Il s'agit de la sélection et la multiplication des variétés de cacaoyers résistantes à la pourriture brune. La principale difficulté est qu'aucune résistance complète à *P. megakarya* n'a été identifiée à ce jour chez le cacaoyer. La plupart des arbres sont sensibles tandis que d'autres échappent à la pourriture parce que leur cycle de fructification se situe en dehors de la période favorable au développement de la maladie (Mpika et al., 2009). La résistance de certains clones de cacaoyer est spécifique à l'espèce, voire à la souche. Par les inoculations artificielles, les travaux de recherche au Cameroun ont pu repérer quelques clones moins sensibles : SNK16, SNK413, UPA 134, SCA12, SCA6, IM47, T79/501, T79/467 (Mbondji, 2010).

### ➤ **Lutte intégrée**

Elle consiste à combiner différentes stratégies de lutte. Par exemple la récolte sanitaire peut être associée aux traitements fongicides afin de réduire la quantité d'inoculum secondaire et freiner le développement de la maladie pendant la petite saison sèche intercalée dans la campagne de production (Ndoumbe-Nkeng et al., 2004). L'usage de variétés résistantes par exemple peut aussi être associé à une utilisation de faibles doses de fongicides.

## **1.3. Quelques notions sur les systèmes agroforestiers a base de cacaoyers**

### **1.3.1. Définitions des concepts**

- **Système agroforestier (SAF)**

Selon Baumer (1995), un système agroforestier désigne les techniques et les modes de mise en valeur des terres dans lesquelles des végétaux ligneux (arbres, arbustes, bambous...) sont volontairement associés dans une même parcelle à des cultures ou à l'élevage soit simultanément (selon un certain agencement dans l'espace et dans le temps), soit de manière séquentielle.

- **Agroforêt cacao**

Une agroforêt à base de cacaoyers est tout système d'usage des terres intégrant sur une même parcelle les cacaoyers, les arbres fruitiers et les arbres forestiers, introduits et/ ou ayant poussés spontanément, ainsi que des arbres forestiers qui n'ont pas été abattus au moment de la mise en place de la cacaoyère (Todem, 2005).

### 1.3.2. Quelques arbres rencontrés dans les SAF à base de cacaoyers

Dans ces systèmes, on trouve plusieurs arbres ayant été introduits ou ayant poussé spontanément. Ce sont des arbres fruitiers et des arbres forestiers, dont quelques espèces sont représentées dans le tableau suivant.

**Tableau 1:** Quelques arbres de SAF à base de cacaoyers

Nom scientifique	Famille botanique
<i>Elaeis guineensis</i>	Palmaceae
<i>Citrus spp</i>	Rutaceae
<i>Dacryodes edulis</i>	Burseraceae
<i>Persea americana</i>	Lauraceae
<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae
<i>Cola nitida</i>	Sterculiaceae
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
<i>Erythrophleum ivorense</i>	Caesalpiniaceae
<i>Milicia excels</i>	Moraceae
<i>Erythrophleum ivorense</i>	Caesalpiniaceae
<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Sterculiaceae
<i>Ficus mucoso</i>	Moraceae
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae
<i>Canarium schweinfurthii</i>	Burseraceae
<i>Pseudospondias microcarpa</i>	Anacardiaceae
<i>Irvingia gabonensis</i>	Irvingiaceae
<i>Spondias cytherea</i>	Anacardiaceae
<i>Guibourtia tessmannii</i>	Caesalpiniaceae
<i>Terminalia superba</i>	Combretaceae

Source : Jagoret, 2011

### 1.3.3. Les effets de l'ombrage sur les bioagresseurs et la productivité du cacaoyer

L'introduction d'une diversité de plantes dans les agrosystèmes peut profondément modifier le microclimat. La température de l'air est généralement modifiée, la vitesse du vent et la lumière sont réduites, tandis que l'humidité relative augmente (Avelino et *al.*, 2004). Ces

changements peuvent directement ou indirectement affecter les mécanismes de régulation du cycle de vie des pestes et pathogènes et créer ainsi des conditions adverses pour leur développement (Malezieux et *al.*, 2008 Avelino et *al.*, 2011;; Ratnadass et *al.*, 2012).

L'ombrage joue aussi un rôle sur la productivité d'une plante. C'est le cas par exemple de la maladie de balai de sorcière du cacaoyer. Comme le cacaoyer pousse plus vigoureusement et produit abondamment de fleurs et de cabosses quand il pousse en plein soleil, il devient particulièrement vulnérable à la maladie de balai de sorcière parce que le pathogène se nourrit activement des tissus en croissance (Evans, 1998). Dans le même contexte, il a été démontré au Costa Rica que les mirides causent plus de dégâts chez les cacaoyers qui poussent en plein soleil comparativement aux cacaoyers ombragés (Villacorta, 1977 cité par Avelino et *al.*, 2011). Les cacaoyers cultivés en plein soleil sont très vigoureux et procurent une source d'alimentation aux mirides par rapport aux cacaoyers ombragés (Babin et *al.*, 2010).

La présence de certaines pestes et pathogènes peut être favorisée par les conditions microclimatiques. L'effet de l'ombrage sur les bioagresseurs est souvent complexe, puisque l'ombrage peut favoriser un processus donné du cycle de vie d'un organisme nuisible et empêcher en même temps un autre processus (Avelino et *al.*, 2011). Des travaux réalisés par Monteith et Butler (1979) et Butler (1980) ont montré que la vitesse du vent joue un rôle important dans la durée de condensation de l'eau sur les cabosses, et la durée d'humidité des cabosses affecte l'installation de la pourriture brune. L'augmentation de la vitesse du vent dans la canopée cacaoyère par la réduction de la densité des arbres d'ombrage peut réduire le temps d'humidité des cabosses et par ricochet retarder l'apparition de la pourriture brune. En l'absence des arbres d'ombrage, les gouttelettes de pluie frappent la surface de la cabosse, l'intensité et la vitesse d'éclaboussement des gouttes d'eau sur le sol augmente, qui, combinées à une vitesse de vent élevée, il peut en résulter une augmentation de la dispersion des spores du pathogène (Evans, 1998).

La cacaoculture est une activité fortement rentable dans les pays producteurs ; cependant elle fait face à de nombreuses contraintes, en particulier une forte pression parasitaire et des maladies. Au Cameroun, la production du cacao sous ombrage dans les systèmes agroforestiers complexes donne des rendements relativement faibles mais stables. Dans ces systèmes, plusieurs mécanismes s'opèrent ce qui affecte la dynamique des deux principaux bioagresseurs du cacaoyer, *P. megakarya* et *S. singularis*. Une kyrielle de connaissances théoriques sur ces bioagresseurs a déjà été éprouvée dans des expériences tant en laboratoire qu'en champ. L'ombrage affecte simultanément plusieurs processus en relation avec le développement de la

pourriture brune et les dégâts des mirides, en favorisant la pourriture brune par le biais du microclimat et en réduisant l'impact des dégâts de mirides. Si certains travaux ont permis de renforcer ces connaissances théoriques, d'autres résultats soulèvent davantage des questions qui débouchent sur de nouveaux travaux, d'où l'objectif de ce travail à caractériser l'ombrage dans les SAFs et faire le lien avec la production cacaoyère.

## **CHAPITRE 2: MATERIELS ET METHODES**

## 2.1. Présentation de la zone et du site d'étude

### 2.1.1. Présentation de la zone

L'étude a été menée dans la région du centre, zone agroécologique V (Figure 5) dans le cadre d'un projet de recherche de la coopération CIRAD/IRAD. La zone est caractérisée par un climat équatorial de type «guinéen» à quatre saisons avec des températures moyennes autour de 25 °C et une végétation composée des forêts denses semi décidues, sempervirentes et des forêts secondaires. Les sols sont majoritairement ferrallitiques, jaunes, ocres ou rouges à pH compris entre 4 et 5,5 (IRAD, 1997). L'étude s'est déroulée dans une zone de transition entre la forêt et la savane.

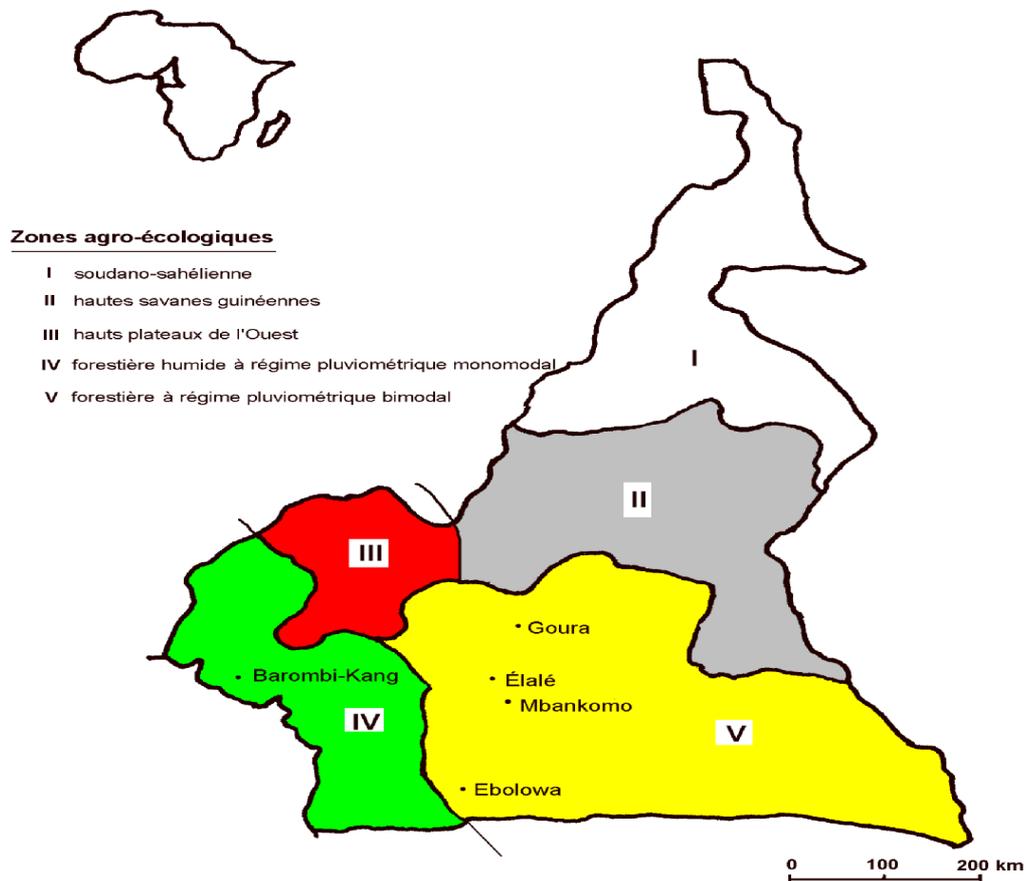


Figure 5: Présentation de la zone d'étude (zone agro écologique V)

### 2.1.2. Localisation et description du site

Le village Bakoa a été retenu pour réaliser cette étude. Ce village est situé dans l'arrondissement de Bokito (Figure 6), département du Mbam et Inoubou, région du Centre. La principale raison ayant conduit au choix de ce site est la récurrence des travaux menés par le projet, dont les activités s'y déroulent depuis quelques années déjà.

Les plantations retenues pour l'étude avaient une gamme d'âge variée (entre 13 et plus de 50 ans) et d'origine différente (installées sous forêt ou sur savane). Les écartements des cacaoyers n'étaient pas homogènes. Les arbres fruitiers et forestiers étaient associés aux cacaoyers, notamment les agrumes (*Citrus* spp), les palmiers à huile (*Elaeis guineensis*), les manguiers (*Mangifera indica*), les safoutiers (*Dacryodes edulis*). Les essences forestières telles que *Ceiba pentandra*, *Milicia excelsa*, *Rhcinodendron heudelotii* s'y trouvaient.

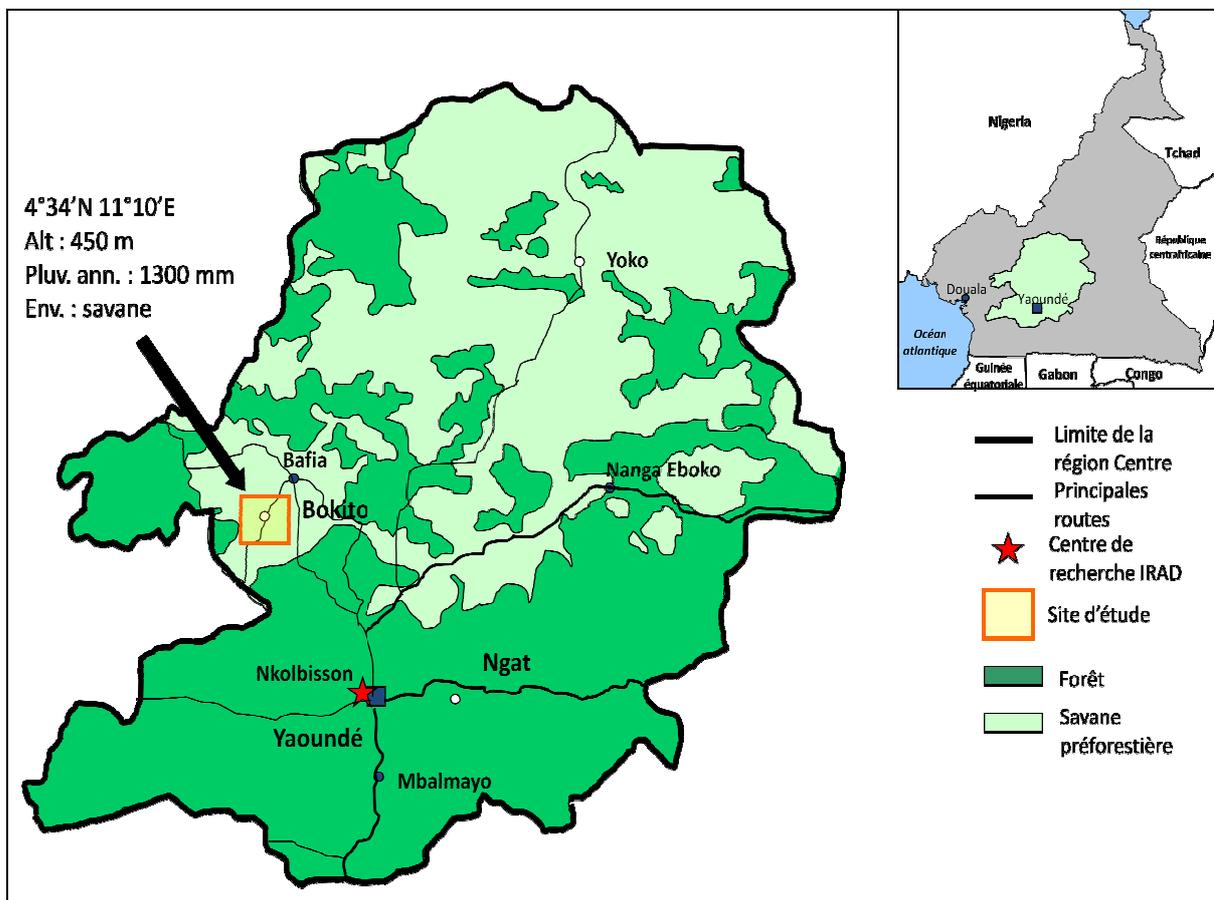


Figure 6: Présentation du site

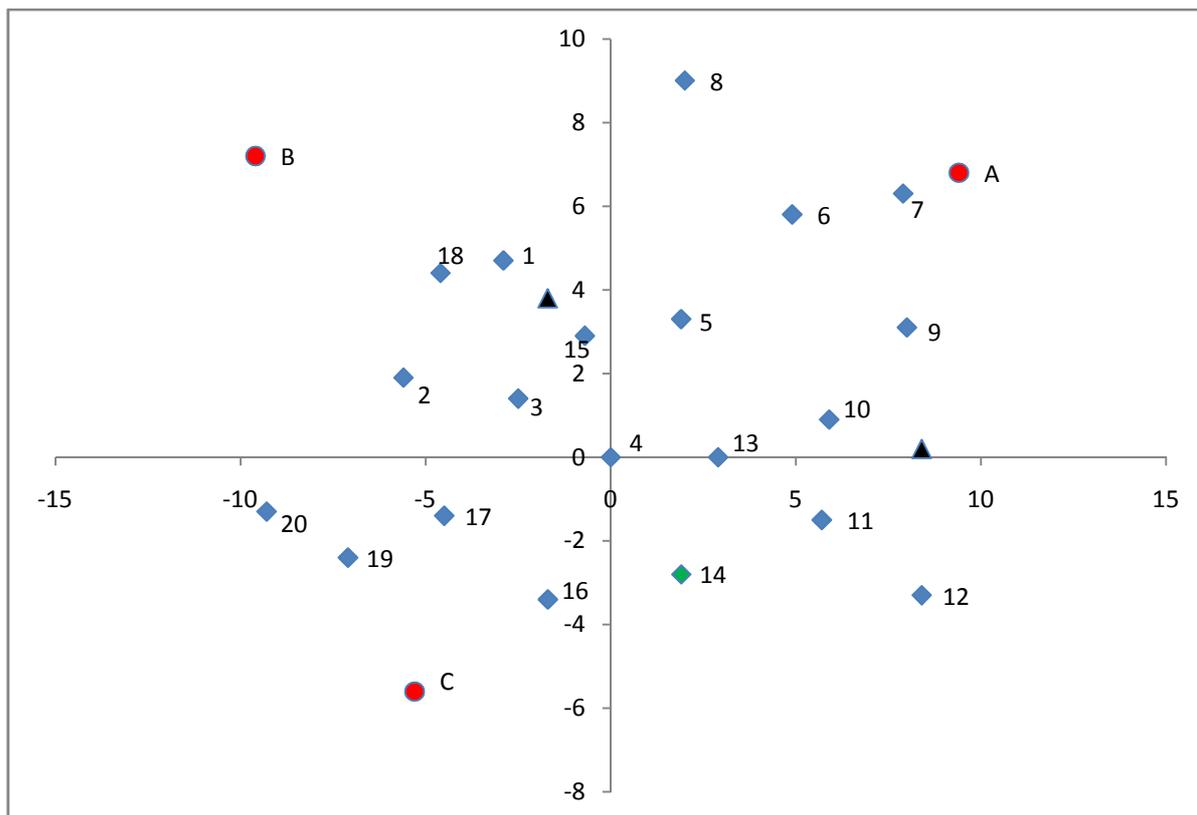
## **2.2. Effet de l'ombrage sur les températures et l'humidité relative**

### **2.2.1. Dispositif expérimental**

Huit plantations cacaoyères ont été choisies et dans chaque plantation, deux sous-parcelles ayant des conditions environnementales différentes, moins ombragées (MO) et plus ombragées (PO) ont été retenues. Chaque sous-parcelle était constituée de 20 cacaoyers numérotés de 1 à 20, soit 320 cacaoyers suivis dans 16 sous-parcelles. Lors de la mise en place de l'essai, le niveau d'ombrage était évalué essentiellement sur la base du nombre d'arbres d'ombrage associé aux sous-parcelles ainsi que la densité de leur canopée.

### **2.2.2. Cartographie des parcelles**

Dans chaque sous-parcelle les distances entre les cacaoyers d'une part et les arbres associés d'autre part ont été mesurées avec un laser (Leica Disto D5, Allemagne). Chaque distance a été prise à partir d'un cacaoyer choisi aléatoirement comme point de référence. La boussole a permis de repérer la direction (Nord) à partir de laquelle toutes les mesures ont été prises, ainsi que l'angle des cacaoyers par rapport à l'arbre de référence. Le GPS a été utilisé pour relever les coordonnées géographiques (latitudes Nord et Est) au sein des sous-parcelles. Toutes les valeurs ont été notées sur une fiche (annexe A, Tableau 1). Les distances mesurées et les angles ont été reportées sur papier millimétré, puis les coordonnées X et Y des cacaoyers et des arbres associés ont été obtenues par projection orthonormée sur les axes x et y respectivement. Ces coordonnées ont permis d'avoir les cartes à l'aide d'Excel. Il faut noter que hormis les arbres d'ombrage qui se trouvaient dans les sous-parcelles, ceux situés à une distance maximale de 10 m étaient également considérés pour tenir compte de l'effet de bordure. Les arbres mesurés étaient marqués avec un spray de marquage. La figure suivante représente une sous-parcelle moins ombragée cartographiée. Les cartes des autres parcelles sont représentées en annexes (annexe B, Figure 1).



**Figure 7:** Représentation des cacaoyers et des arbres associés dans une sous- parcelle (parcelle 3 MO).

Au centre du repère, le numéro du cacaoyer qui a été choisi comme référence pour toutes les autres mesures.

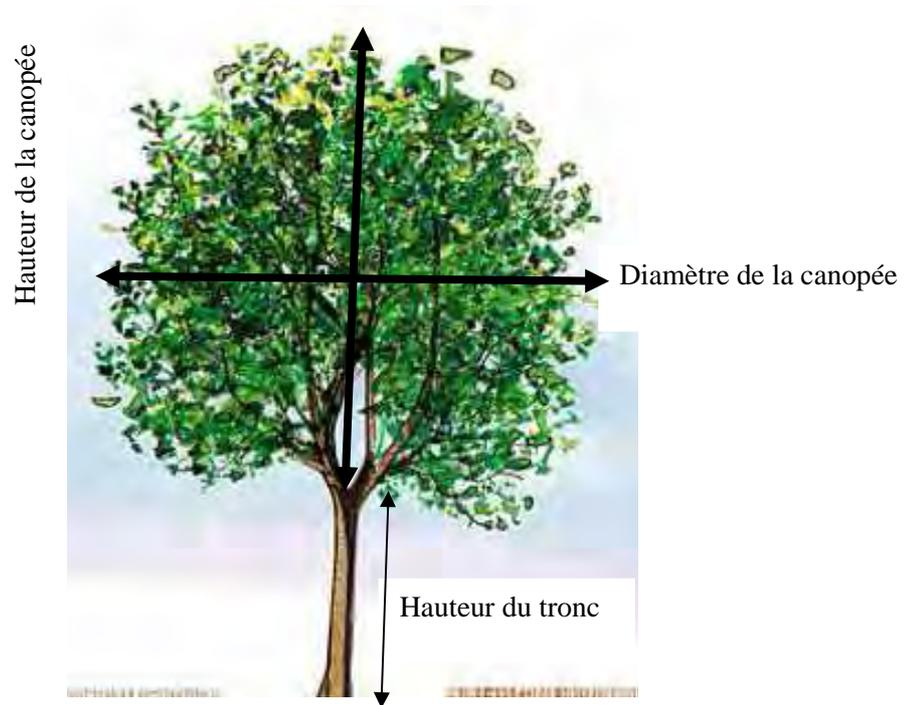
- Légende :
- ▲ Cacaoyers non suivis
  - Arbres associés
  - ◆ Cacaoyers suivis
  - ◆ Cacaoyer avec capteur

### 2.2.3. Estimation de l’ombrage

#### 2.2.3.1. Mesure des arbres d’ombrage

Les cartes conçues précédemment ont permis de réaliser les mesures sur les arbres pour estimer l’ombrage dans les parcelles à partir du logiciel Shademotion version 3.0 ([www.shademotion.com](http://www.shademotion.com)). A cet effet, les arbres associés marqués et représentés sur les cartes des 16 sous parcelles ont été mesurés (Figure 8) puis les valeurs de ces mesures ont été relevées

sur une fiche (annexe A, Tableau 3). Il faut noter que tous les arbres mesurés ont été identifiés en nom vernaculaire ou commun, puis une correspondance a été faite en nom scientifique.



**Figure 8:** Mesure des arbres d'ombrage

- La hauteur du tronc : elle a été mesurée à l'aide d'un laser. Le tronc était défini comme la partie de l'arbre allant du sol jusqu'à la première branche portant des feuilles.
- La hauteur de la canopée : calculée de façon indirecte, par mesure de la hauteur totale de l'arbre (déterminée à partir de la figure 9) et soustraction à celle-ci de la hauteur du tronc.
- Le diamètre de la canopée : mesuré depuis le sol avec un décamètre dans deux directions (Nord- Sud et Est-Ouest) à partir de la feuille la plus éloignée au tronc dans une direction jusqu'à la feuille la plus éloignée au tronc dans la direction opposée. La moyenne de ces deux mesures a ensuite été calculée.
- La forme de la canopée: déterminée selon cinq différentes modalités données par le logiciel Shademotion: ellipsoïde, semi-ellipsoïde, conique, conique-inversée et cylindrique.
- La densité de la canopée : déterminée selon un intervalle de 0 à 100 après observation à l'œil nu. Les pourcentages de densité choisis étaient 0, 25, 50, 75 et 100. Zéro étant attribué à un arbre n'ayant quasiment pas de feuillage et laissant passer la totalité de la

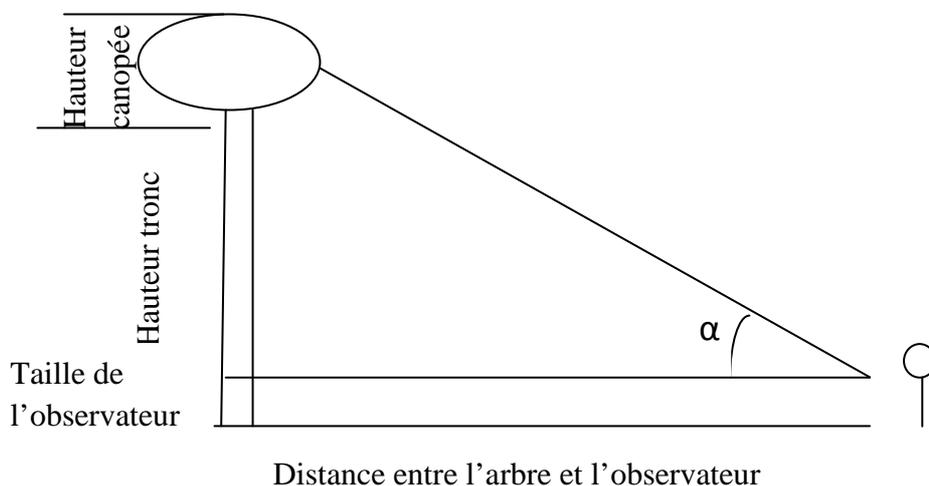
lumière et 100 étant attribué à un arbre au feuillage très dense et ne laissant pas passer la lumière.

- La circonférence du tronc mesurée avec le décamètre
- La pente de la parcelle relevée à l'aide du Leica Distance meter D5.
- L'orientation de la pente (angle par rapport au Nord) relevée à l'aide d'une boussole.

La hauteur totale a été calculée en mesurant la distance entre l'arbre et l'observateur à l'aide du laser et l'angle total à l'aide du clinomètre. La formule utilisée pour le calcul est :

Hauteur totale =  $\tan \alpha$  x distance entre l'arbre et l'observateur + mesure de la taille de l'observateur

$\alpha$  = rad (angle mesuré)



**Figure 9:** Schéma pour le calcul de la hauteur totale des arbres d'ombrage

### 2.2.3.2. Détermination du nombre d'heures d'ombrage

Les heures d'ombrage dans chaque parcelle a été estimé à l'aide du logiciel Shademotion (version 3.0). Il permet la modélisation des ombres projetées par les arbres sur une surface plane, horizontale ou inclinée. L'objectif principal du programme est le calcul du nombre d'heures d'ombre accumulées à chaque point d'un dispositif, sur une période donnée et en présence d'arbres définis. Pour cela le logiciel calcule la position du soleil à partir des coordonnées horizontales. Les coordonnées dépendent de la latitude et de l'altitude à laquelle se trouve le dispositif étudié, mais aussi de la date et de la plage horaire à laquelle la position du soleil et les caractéristiques des arbres sont simulés (Somarriba et *al.*, 2010). L'estimation du taux d'ombrage est fonction de 3 paramètres d'entrée :

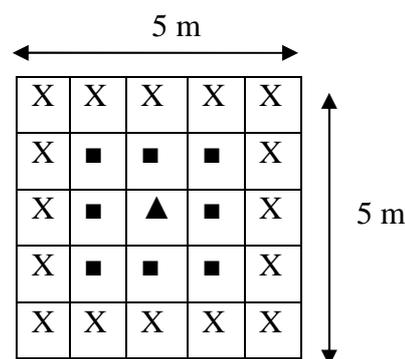
- Paramètres d'entrée relatifs aux arbres : coordonnées au sein du dispositif, hauteur du tronc et de la canopée, diamètre et forme de la canopée et densité du feuillage ;
- Paramètres d'entrée relatifs aux dispositifs: angle et orientation de la pente ;
- Paramètres d'entrée spatio-temporels : latitude du dispositif étudié, durée et horaire de la simulation.

Avec ce logiciel deux cartes d'ombrage spatialement explicites peuvent être obtenues pour chacun des dispositifs. Ces cartes présentent sous forme de pourcentage le temps d'ombrage reçu par chaque carré d'un mètre de côté par rapport au temps total de simulation respectivement avec et sans chevauchement.

- ❖ Avec chevauchement : lorsqu'un carré reçoit l'ombrage de plusieurs arbres, les heures d'ombrages s'accumulent. Par exemple, cinq heures d'ombrage sont comptées pour un carré recevant l'ombre de cinq arbres pendant une heure.
- ❖ Sans chevauchement : même si un carré reçoit l'ombrage de plusieurs arbres, les heures d'ombrage ne s'accumulent pas.

La simulation a été effectuée pour chaque sous- parcelle, en considérant 7 jours comme durée de simulation. La période de simulation allait du 23 mai au 8 octobre, pour un total de 20 semaines et l'intervalle horaire de simulation choisi était de 7 h 30 min à 17 h 30 min. Il faut préciser que ces simulations ont été faites avec chevauchement.

Les cartes obtenues après simulation (voir par exemple figure 11) ont permis de calculer le nombre d'heures d'ombrage dans chaque sous- parcelle. Ce calcul a été fait sur une surface de 9 m<sup>2</sup> (Figure 10). Le cacaoyer qui portait le capteur et les huit autres cacaoyers autour ont été considérés. La moyenne du nombre d'heure d'ombre accumulé sur 9 m<sup>2</sup> a donc été calculée chaque semaine.



**Figure 10:** Mode de calcul du nombre d'heures d'ombrage

▲ Cacaoyer avec capteur

■ Carreaux autour du cacaoyer avec capteur, pris en compte pour le calcul de l'ombrage

X carreaux non pris en compte pour le calcul de l'ombrage. Chaque carreau égale à 1 m<sup>2</sup>.

La figure suivante représente une carte d'ombrage de la sous- parcelle plus ombragée de la parcelle 4, obtenue à partir du logiciel Shademotion. Sur cette carte par exemple est représentée l'ombrage fournit par les arbres associés pendant la première semaine, du 23 au 29 mai entre 7 h 30 min et 17 h 30 min. les carreaux en vert sont les arbres et les heures d'ombrage sont données en bas de la page, à l'extrême gauche.

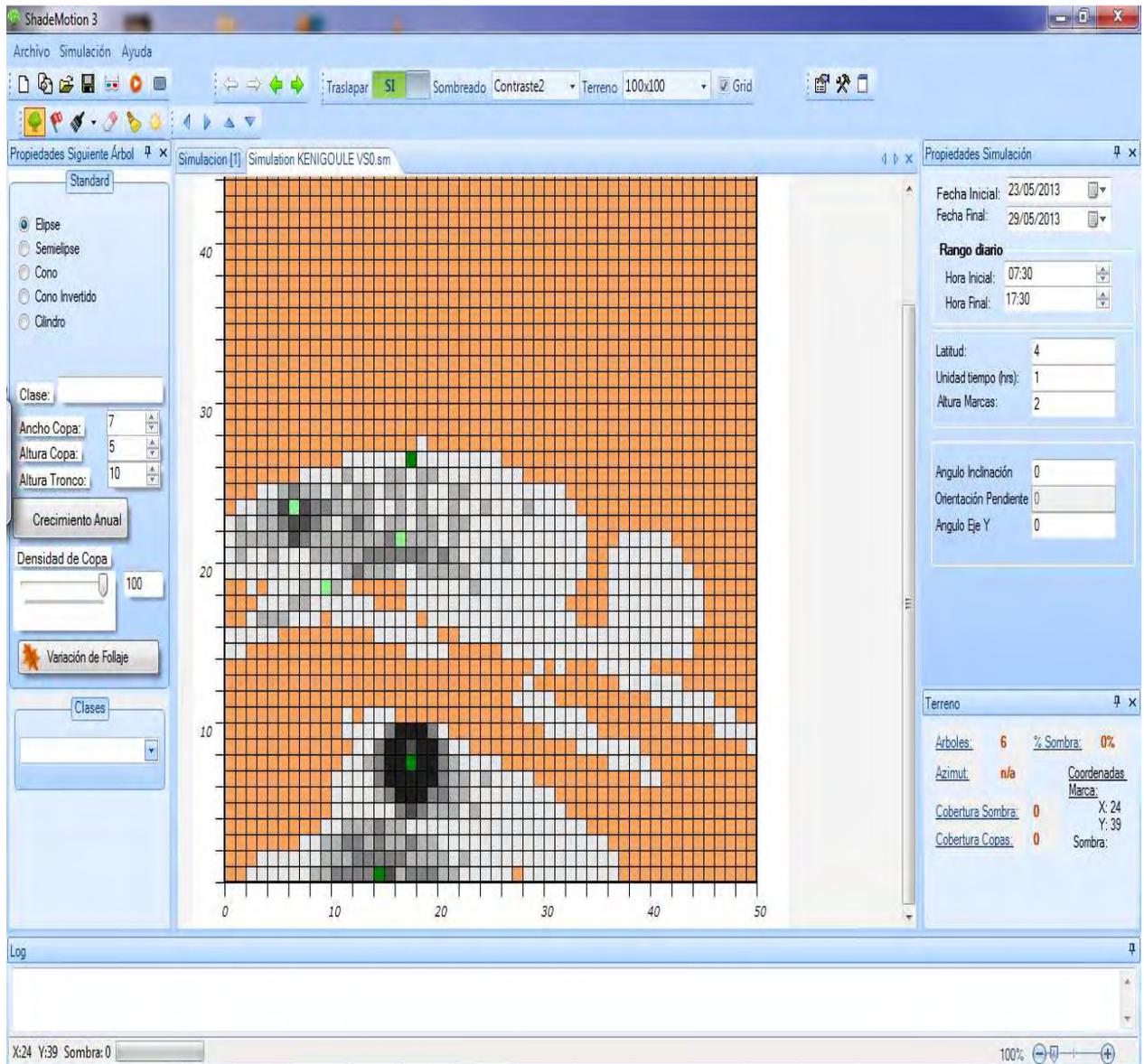


Figure 11: Carte d'ombrage

#### 2.2.4. Détermination des valeurs du microclimat (température et humidité relative)

Seize capteurs (Tinytag : Gemini data loggers, Grande Bretagne) ont permis d'avoir les valeurs de température et d'humidité relative dans chaque sous- parcelle. Munis d'un fil de fer, ils étaient accrochés à un cacaoyer situé approximativement au centre de la parcelle à une hauteur d'au moins 2 m (Figure 12). Cet appareil a été programmé pour enregistrer les valeurs minimales et maximales de température et humidité toutes les 30 minutes, à partir du 23 mai jusqu'au 8 octobre dans le cadre de cette étude ; les capteurs sont encore en place pour d'autres études. Les données enregistrées ont été extraites à l'aide d'un câble connecté au capteur et l'ordinateur



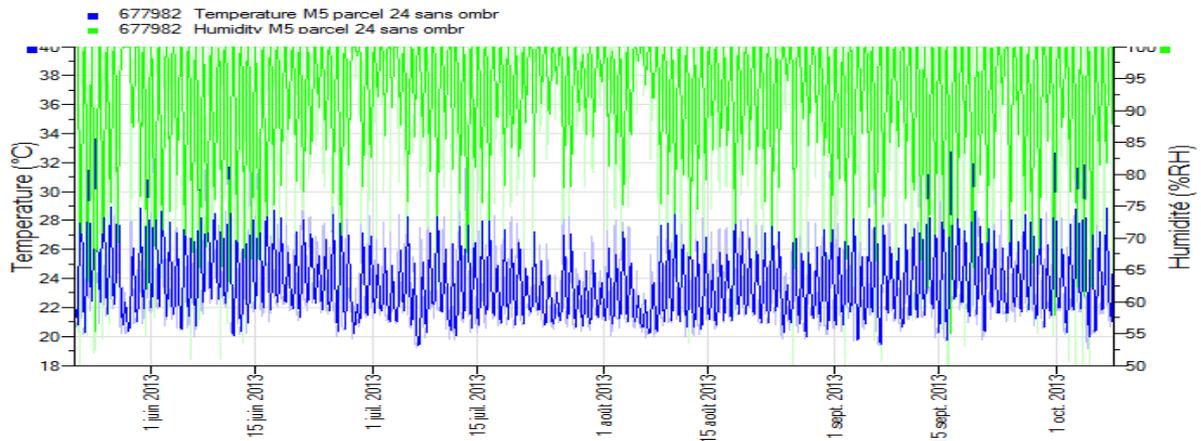
**Figure 12:** Capteur mesurant les températures et l'humidité relative placé sur une branche de cacaoyer.

La température ambiante (température maximale et minimale) a également été mesurée, mais les données n'ont pas été utilisées dans les analyses en raison de la mise en place tardive du thermomètre sur le site. Notons que ces données seront utilisées dans les travaux ultérieurs.

Les graphiques ci- dessous donnent une idée globale des données enregistrées.

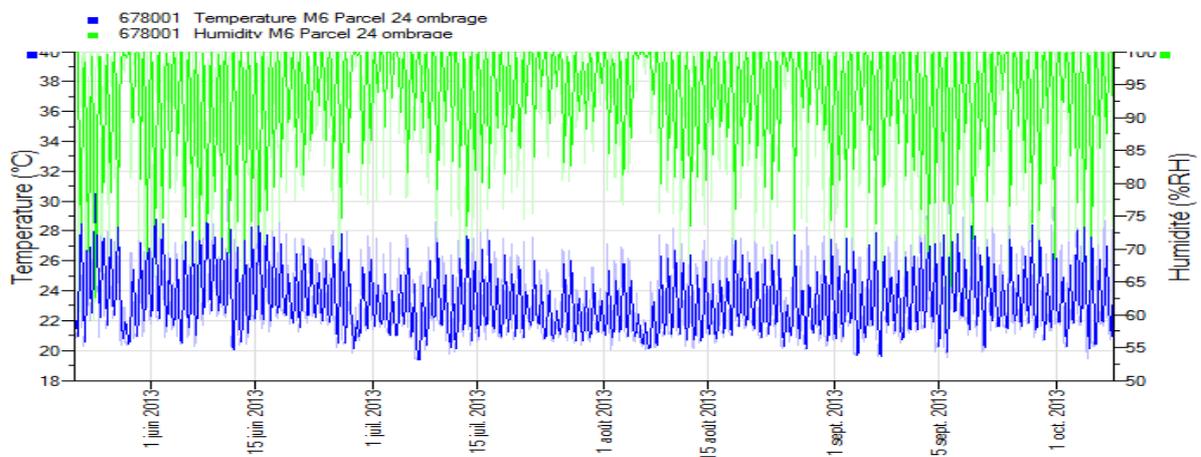
A

parcelle 4 MO



B

parcelle 4 PO



**Figure 13:** Graphique des températures et de l'humidité relative de la parcelle 4 : (A) sous-parcelle moins ombragé et (B) sous-parcelle plus ombragé.

Les données obtenues de ces capteurs ont été utilisés de deux manières :

- Les températures maximales et l'humidité relative minimale entre 7 h 30 min et 17 h 30 min ont été retenues pour chaque jour, puis la moyenne des ces valeurs a été calculé sur sept jours pour obtenir les températures maximales et l'humidité relative minimale moyenne hebdomadaire dans chaque sous- parcelle. La première semaine était prise à

partir du premier jour, allant du 23 mai au 29 mai, et la dernière du 26 septembre au 3 octobre.

- Dans chaque parcelle, les températures moyennes et l'humidité relative moyenne ont été retenues, pour chaque mois et sur le total de 6 mois.

## **2.3. Effet de l'ombrage sur l'incidence de la pourriture brune, les dégâts des mirides et la productivité**

### **2.3.1. Variables pathologiques**

Un suivi hebdomadaire de l'épidémie a été réalisé sur 320 cacaoyers pendant la période de Juin à Décembre, soit environ 30 semaines sur la base d'une fiche conçue à cet effet (annexe A, tableau 4). Les observations portaient essentiellement sur des variables telles que le nombre de chérelles saines, flétries et pourries ; puis le nombre de cabosses saines, pourries et mûres. Les chérelles flétries étaient enlevées de l'arbre à chaque passage.

Les données utilisées pour les analyses étaient le nombre de cabosses pourries, le nombre de cabosses saines mûres et le nombre total de cabosses produites par l'arbre pendant la campagne. Dans chaque sous- parcelle, les variables dérivées des données précédentes ont été calculées ci-dessous. Il s'agit du taux de pourriture, de la productivité totale, de la proportion de cabosses pourries, de la proportion du taux de pourriture et de la proportion de productivité.

- Calcul du taux de pourriture brune

Le taux de pourriture dans chaque sous- parcelle a été calculé selon la formule :  $T=n/N$

n= nombre de cabosses pourries ; N= nombre total de cabosses produites, sans inclure les cherelles.

- Calcul de la productivité totale

Il s'agit du nombre de cabosses produites par les cacaoyers d'une sous- parcelle tout au long de la campagne. Elle a été calculée en faisant uniquement la somme des cabosses saines mûres récoltées et des cabosses pourries.

- Calcul de la proportion de cabosses pourries

Il s'agit du nombre de cabosses pourries observées dans une sous- parcelle par rapport au nombre de total de cabosses produites dans la parcelle.

➤ Calcul de la proportion de productivité

C'est le nombre de cabosses saines mûres récoltées dans une sous-parcelle par rapport au nombre total de cabosses produites dans la parcelle.

➤ Calcul de la proportion du taux de pourriture

C'est le taux de pourriture observé dans une sous- parcelle par rapport au taux de pourriture de l'ensemble de la parcelle.

### **2.3.2. Variables de pression parasitaire**

La pression parasitaire liée aux mirides a été estimée par une notation des dégâts provoqués par ces derniers sur les cacaoyers. Ces dégâts ont été évalués à l'aide d'une échelle de notation, allant de 0, en cas d'absence de dégâts à 3 en cas de dégâts très importants (Brun et *al.*, 1997 ; Sounigo et *al.*, 2003; Babin, 2009) (voir annexe A, Tableau 5). Trois observations ont été réalisées le 28 mai, le 14 août et le 31 octobre. Les observations portaient sur la présence de chancres, de feuilles sèches, branches défoliées et piqûres sur les cabosses. Pour les analyses, les calculs suivants ont été faits.

- ✓ Pour chaque observation, la moyenne des quatre notes attribuées aux vingt cacaoyers pour chaque type de dégâts a été calculée dans chaque sous- parcelle, puis la moyenne totale des trois observations a été faite.
- ✓ Pour chaque sous- parcelle, la proportion de la note de chaque type de dégâts et de tous les dégâts de la parcelle entière a été calculée comme pour la pourriture et la productivité. Il s'agit notamment de la proportion de chancres, de feuilles sèches, de branches nues, de piqûres et de l'ensemble de ces dégâts.

➤ La proportion de chancres

Elle a été calculée en faisant la moyenne totale des notes des trois observations de chancre dans une sous- parcelle divisée par la moyenne des notes des trois observations dans l'ensemble de la parcelle.

➤ La proportion de feuilles sèches

Elle a été calculée en faisant la moyenne totale des notes des trois observations de feuilles sèches dans une sous- parcelle divisée par la moyenne des notes des trois observations dans l'ensemble de la parcelle.

➤ La proportion de branches nues

Elle a été calculée en faisant la moyenne totale des notes des trois observations de branches nues dans une sous- parcelle divisée par la moyenne des notes des trois observations dans l'ensemble de la parcelle.

➤ La proportion de piqûres de mirides sur les cabosses

Elle a été calculée en faisant la moyenne totale des notes des trois observations de piqûres dans une sous- parcelle divisée par la moyenne des notes des trois observations dans l'ensemble de la parcelle.

➤ La proportion de tous les dégâts

Elle a été calculée en faisant la moyenne totale des notes de tous les dégâts des trois observations dans une sous- parcelle divisée par la moyenne des notes des trois observations dans l'ensemble de la parcelle.

## **2.4. Influence de la pluviométrie sur l'incidence de la pourriture brune**

Des relevés pluviométriques ont été effectués quotidiennement entre août et décembre à l'aide d'un pluviomètre (marque Regenmesse nach) installé à proximité du site d'étude. Chaque jour, les dates et quantité de pluie étaient relevées sur une fiche (annexe A, Tableau 6). Les données utilisées dans le cadre de cette étude allaient du 13 août au 3 décembre. Afin d'examiner l'effet des pluies sur la pourriture brune à une date donnée, le total de précipitations tombées au courant de chaque semaine durant la période d'août à décembre a été calculé, la première semaine allant du 13 au 19 août, la dernière du 25 novembre au 3 décembre ; puis le nombre de nouvelles cabosses pourries enregistrées pendant les mêmes semaines a été calculé. Des couples de données « quantité de pluie tombée par semaine » et « nombre de cabosses pourries au cours de la même semaine » ont ainsi été constituées pour 27 semaines.

## **2.5. Analyses statistiques des données**

Une analyse de régression linéaire à l'aide d'Excel a été utilisée pour étudier les relations entre le nombre d'heures d'ombrage d'une coté, et la température moyenne maximale hebdomadaire ou l'humidité relative moyenne minimale hebdomadaire pour chaque parcelle individuelle et pour l'ensemble des parcelles.

Pour répondre à la distribution normale, les données des différentes unités expérimentales ont été transformées puis analysées avec le logiciel XLSTAT. Il s'agit du nombre de cabosses pourries, saines mûres et total qui ont été transformées par  $\log(n)$ . Le taux de pourriture et les autres données relatives aux proportions ont été transformés par arcsin  $[\sqrt{(n)/2/\pi*400}]$ . Ensuite ces données ont été analysées en utilisant l'ANOVA, avec comme variable explicative le niveau d'ombrage et variables à expliquer le nombre de cabosses pourries, saines mûres, le nombre total de cabosses, le taux de pourriture et les données relatives aux proportions. Les moyennes ont été séparées en utilisant le test de comparaison multiple de Duncan au seuil de probabilité de 5%.

L'ANOVA a également été utilisée pour rechercher les différences des dégâts de mirides entre les différentes unités expérimentales. Les données utilisées étaient la présence de feuilles sèches, branches défoliées, chancre et piqûres sur les cabosses (variables à expliquer). La variable explicative était également le niveau d'ombrage.

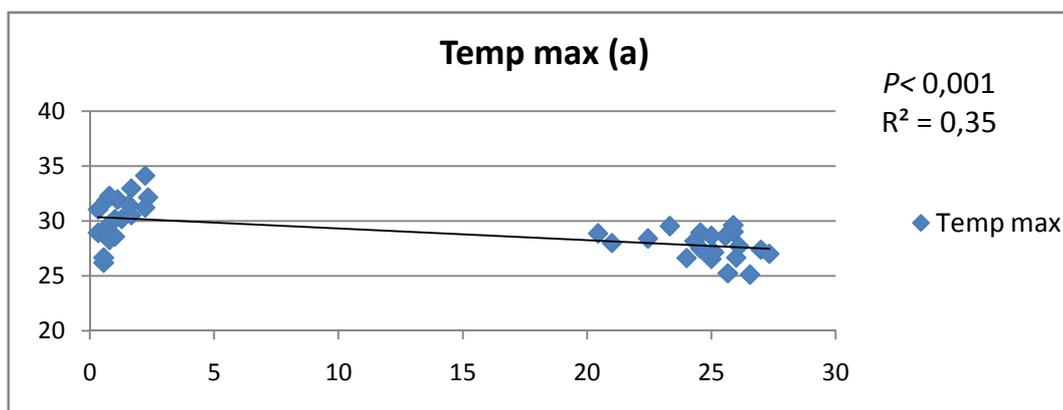
Pour évaluer l'effet des précipitations sur l'incidence de la pourriture brune, les valeurs des précipitations tombées au cours de la semaine et le nombre de cabosses pourries observées pendant la même semaine dans chaque parcelle ont été analysées en utilisant la corrélation de Pearson et l'autocorrélation croisée à l'aide du logiciel SPSS (version 21).

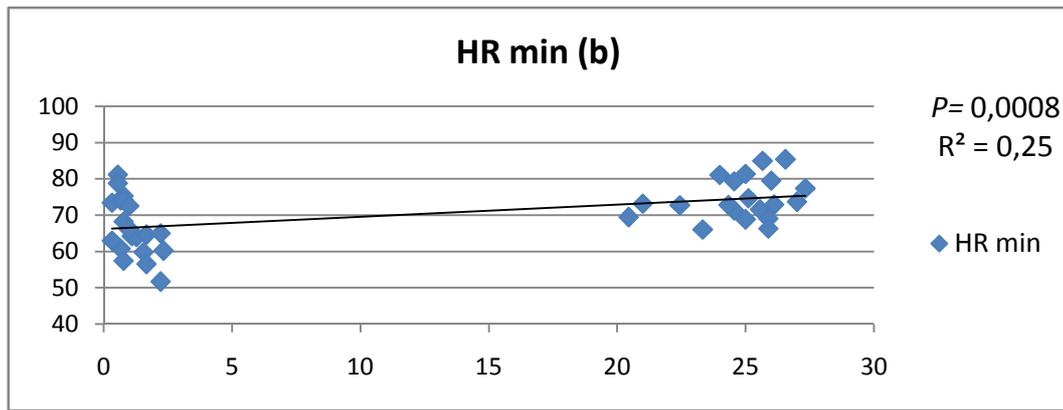
## **CHAPITRE 3: RESULTATS**

### 3.1. Effet de l'ombrage sur les températures et l'humidité relative

Les graphiques de variation de température et d'humidité relative tout au long de l'essai montrent des différences au niveau de température et humidité relative entre les sous parcelles moins et plus ombragées. Un exemple est donné en Figure 13 pour une seule parcelle (les autres graphiques sont en annexe B, Figure 2). Les températures sont représentées par la couleur bleu et l'humidité relative en vert- citron. Dans la sous- parcelle Moins Ombragée (MO), les températures varient entre 19 et 45° C, tandis que l'humidité varie entre 30 % et 100 %. Dans la sous- parcelle Plus ombragé (PO), on a une variation de température entre 19 et 33° C, puis 52-100 % d'humidité relative. L'écart entre les températures et l'humidité relative est plus grand dans la sous- parcelle MO comparée la sous- parcelle PO. La température moyenne maximale est plus élevée dans le sous parcelle MO comparé avec la sous parcelle PO. L'inverse est vrai concernant l'humidité relative qui est plus élevée dans le sous parcelle PO comparée avec la sous parcelle MO.

L'analyse statistique de la régression entre le nombre d'heures d'ombrage, la température maximale ou l'humidité relative minimale montre que la température moyenne maximale baisse au fur et à mesure que le nombre d'heures d'ombrage augmente. Même si le coefficient de régression  $R^2$  est relativement faible ( $R^2 = 0.35$ ), l'effet est significatif ( $P < 0.001$ ) (Figure 14 a). L'humidité quant à elle est basse dans la sous- parcelle moins ombragée et s'élève au fur et à mesure que le nombre d'heures d'ombrage augmente. Ici également le coefficient  $R^2$  est relativement faible ( $R^2 = 0.25$ ) mais la corrélation entre l'humidité moyenne hebdomadaire et les heures d'ombrage est significative ( $P = 0.0008$ ).





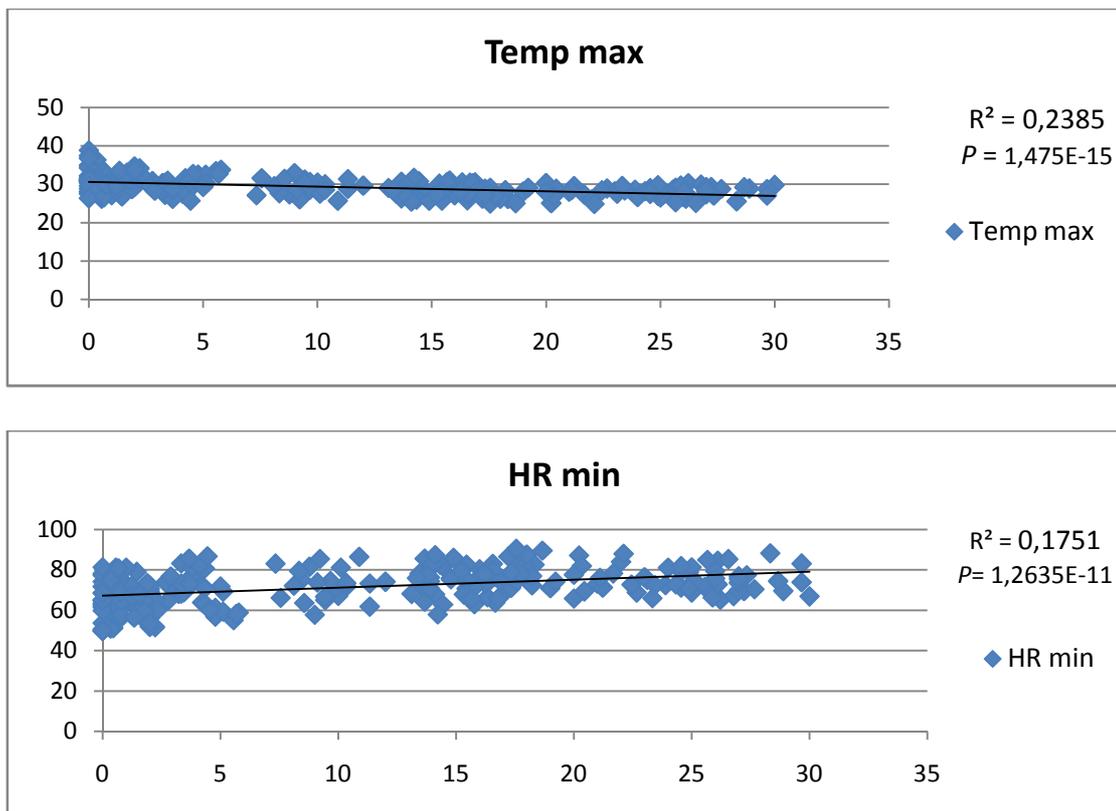
**Figure 14:** Relation entre le nombre d’heures d’ombrage, la température maximale (a) et l’humidité relative minimale (b) de la parcelle 4.

En regardant l’ensemble des parcelles, les résultats montrent que l’ombrage a un effet significatif sur le microclimat (Tableau 2), excepté la parcelle 5. Les valeurs du coefficient de régression  $R^2$  sont relativement faibles suivant les parcelles : 0,17 à 0,35 pour les températures et 0,12 à 0,26 pour l’humidité, à l’exception de la cinquième parcelle où cette valeur est presque nulle. Donc 17 à 35 % et 12 à 25 % respectivement de la variabilité observée au niveau des températures maximales moyennes hebdomadaire et de l’humidité relative minimale moyenne hebdomadaire pourrait être expliqué par le nombre d’heures d’ombrage.

**Tableau 2:** Résultats de la régression linéaire entre le nombre d’heure d’ombrage et le microclimat

Parcelle	Température maximale		Humidité relative minimale	
	$R^2$	$P$	$R^2$	$P$
1	0,32	0,0001	0,22	0,002
2	0,19	0,004	0,12	0,023
3	0,25	0,0009	0,19	0,0049
4	0,35	4,89E-05	0,25	0,0008
5	0,05	0,16	0,02	0,34
6	0,17	0,008	0,14	0,015
7	0,18	0,005	0,22	0,002
8	0,08	0,06	0,17	0,007

Lorsqu'on considère les températures et l'humidité relative en fonction des heures d'ombrage dans l'ensemble des parcelles (Figure 15), les corrélations sont significatives. On a une valeur  $P= 1,475E-15$  pour les températures et  $P= 1,2635E-11$  pour l'humidité relative. Les coefficients de régression  $R^2$  sont de 0,23 et 0,17 pour les températures et l'humidité relative respectivement. Les températures maximales moyennes sont comprises entre 24° C et 40° C. L'humidité relative minimale varie entre 49 et 90 %.

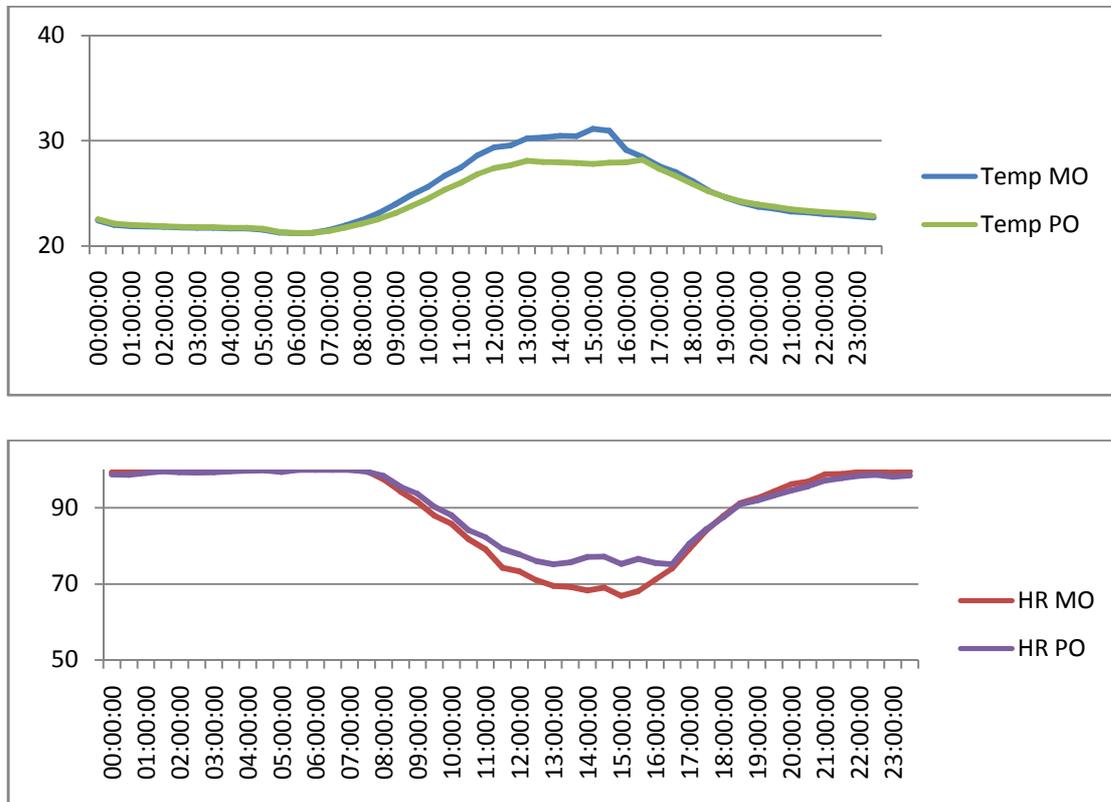


**Figure 15:** Relation entre les heures d'ombrage et le microclimat dans toutes les parcelles

Les graphiques ci- dessous représentent les températures moyennes et l'humidité relative moyenne mensuelle des mois de mai (Figure 16 A), juin (Figure 16 B), juillet (Figure 16 C), août (Figure 16 D), septembre (Figure 16 E), octobre (Figure 16 F) et de tous les mois (Figure G) de la parcelle N°4. Les graphiques des autres parcelles sont représentées à la figure 5 de l'annexe B. Ces figures montrent que le microclimat varie différemment en fonction des mois. En général, il n'ya pas de différence du microclimat entre les deux sous- parcelles pendant la nuit. La différence se crée lentement le matin autour de 7 h ; la température de la sous- parcelle MO s'élève en premier, pour atteindre un pic vers 14 h avant de chuter en fin de journée, puis cette différence se perd rapidement en fin de journée vers 17 h. Il en est de même pour l'humidité relative qui ne varie pas pendant la nuit dans les deux- sous parcelles ; la différence se crée

lentement à partir de 8 h et se perd plus vite autour de 17 h. L'écart thermique entre les deux sous- parcelles varie entre 0 et 2° C contre 0 à 5 % pour l'humidité en fonction des heures de la journée.

### A



#### Légende :

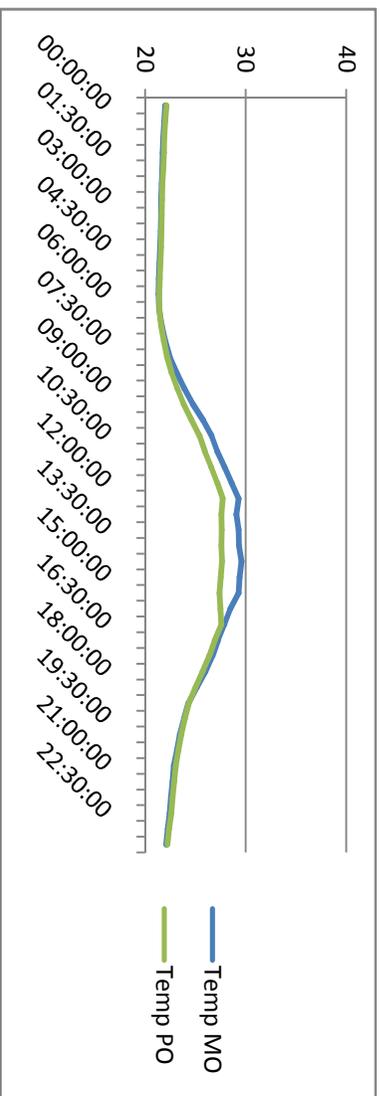
*Temp MO : température de la sous-parcelle moins ombragée,*

*Temp PO : température de la sous- parcelle plus ombragée*

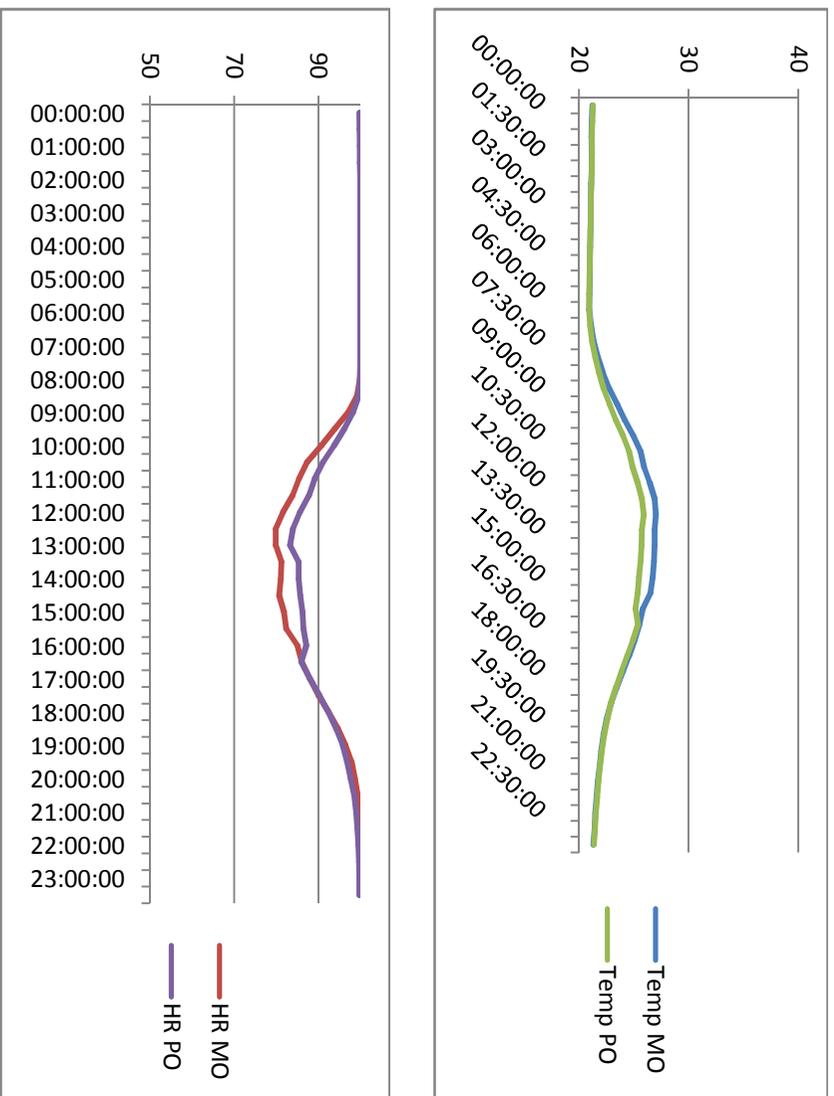
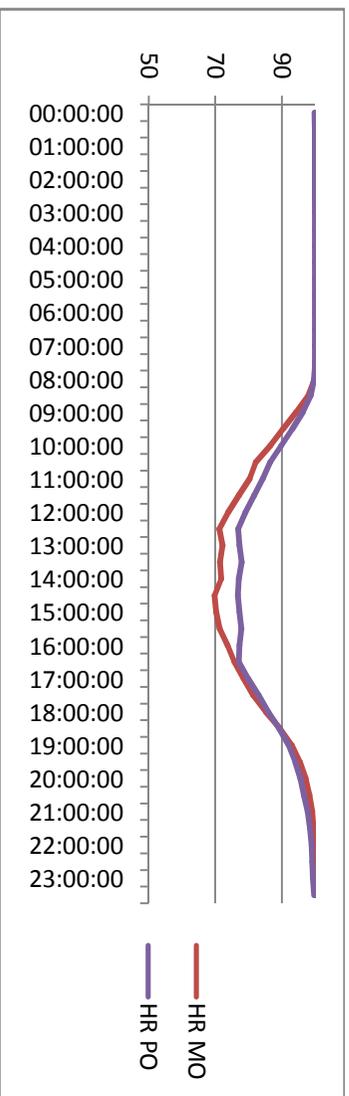
*HR MO : humidité relative de la sous-parcelle moins ombragée*

*HR PO : humidité relative de la sous-parcelle plus ombragée*

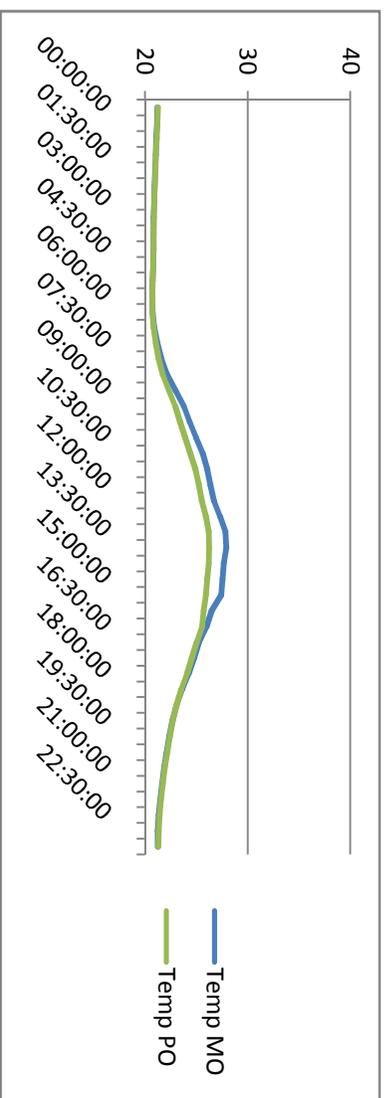
**B**



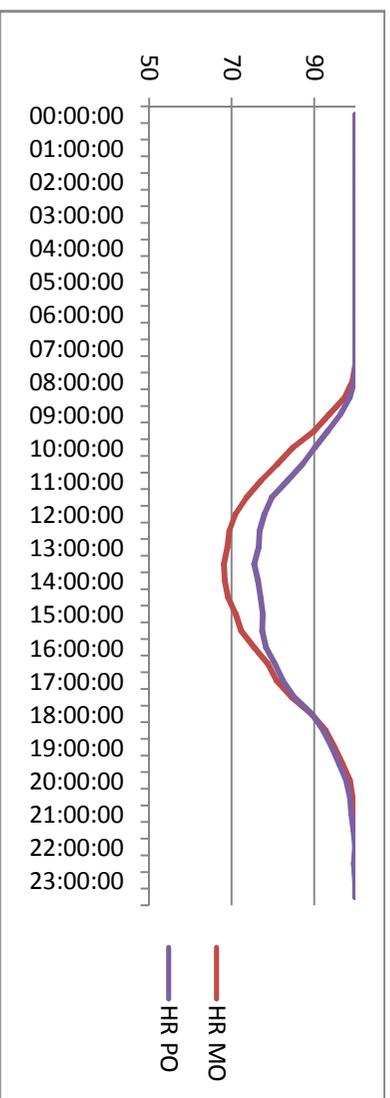
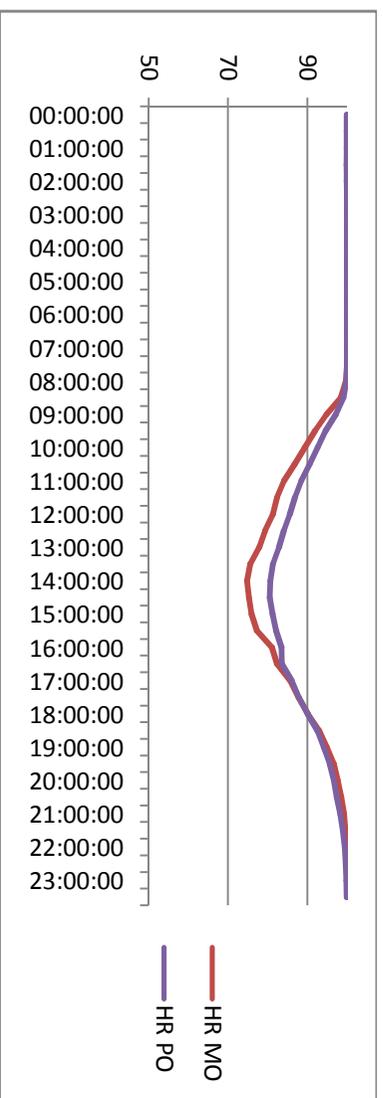
**C**



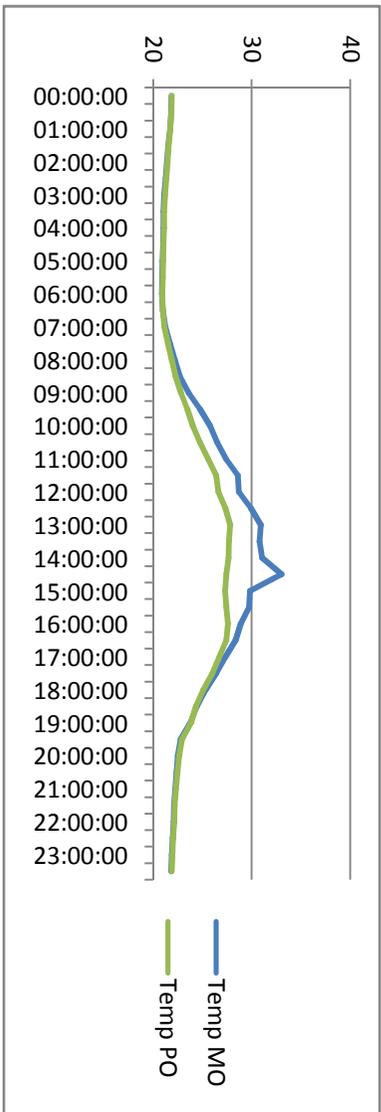
D



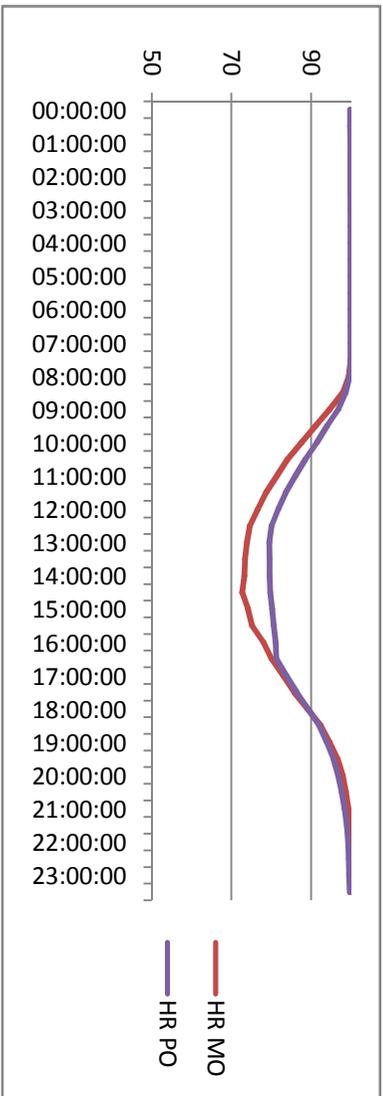
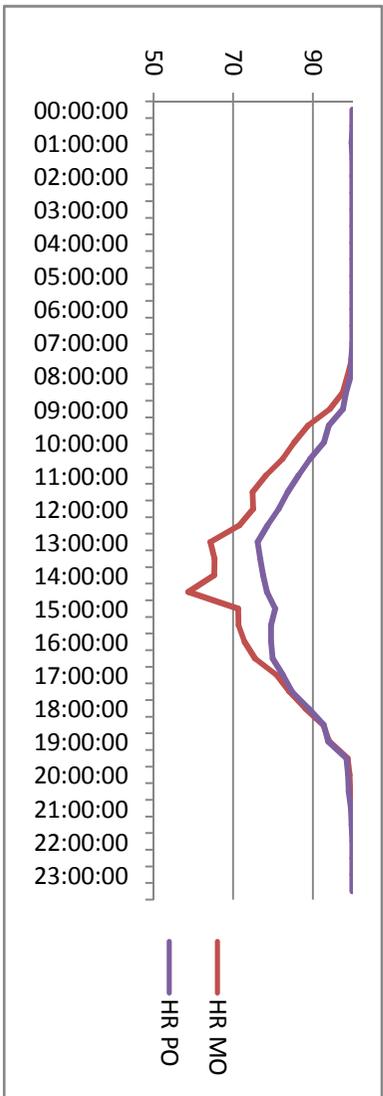
E



F



G

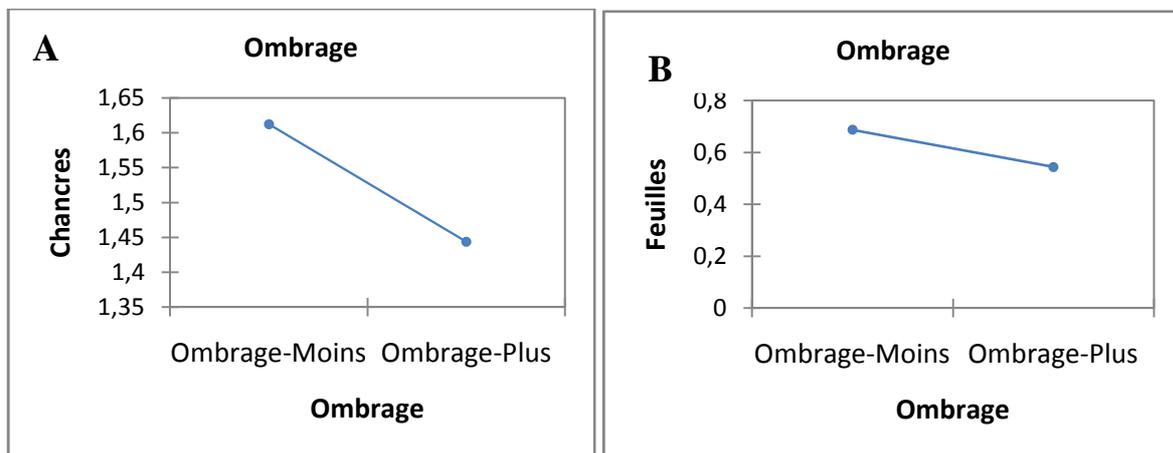


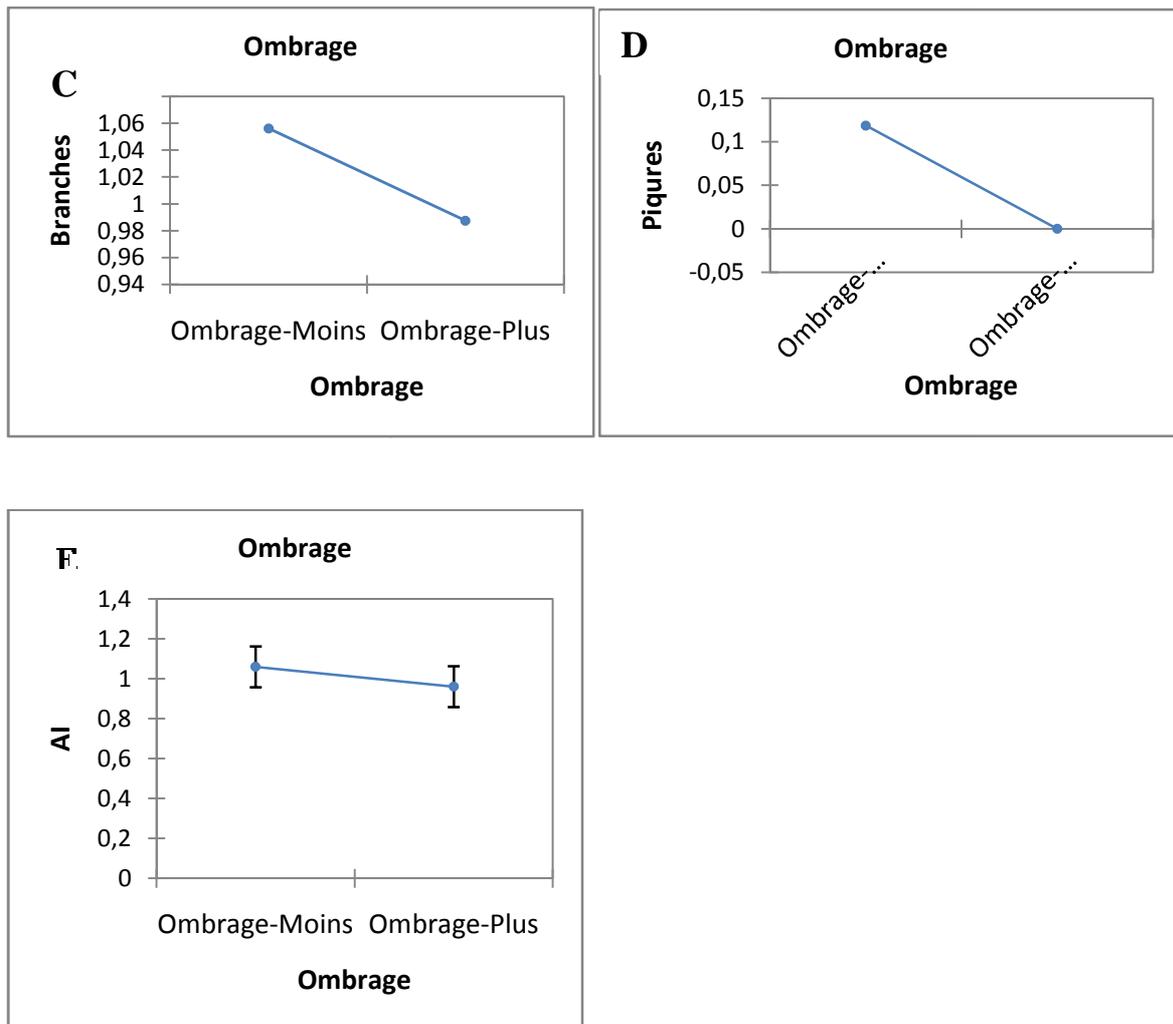
**Figure 16:** Variation de la température moyenne et de l'humidité relative moyenne en fonction des heures de la journée des mois de mai (A), juin (B), juillet (C), août (D), septembre (E), octobre (F) 2013 et tous les mois (G) de la parcelle 4.

### 3.2. Effet de l'ombrage sur les dégâts des mirides, l'incidence de la pourriture brune et la production des cabosses

#### 3.2.1. Effet de l'ombrage sur les dégâts des mirides

La notation des dégâts montre que les chancre observés sur les constituent les dégâts les plus importants observés sur les cacaoyers. Plus de 50 % de la surface du tronc et des branches en général est affecté par le chancre. Les cacaoyers des sous- parcelles moins ombragées ont développé plus de chancre (1,61) que ceux des sous- parcelles plus ombragées (1,44) (Figure 17 A). Cependant, la différence des dégâts n'a pas été significative. Les dégâts relatifs à la présence de feuilles sèches sont moins importants que la présence de chancre. Les sous- parcelles moins ombragées présentent toujours plus de feuilles sèches (0,68) que les sous- parcelles plus ombragées (0,54) (Figure 17 B) ; il en est de même des branches défoliées et des piqûres de cabosses (Figures 17 C et D). Cependant il est à noter que ces dégâts sont toujours plus élevés dans les zones moins ombragées (Figure 17 E).





**Figure 17:** Effet de l’ombrage sur les dégâts dus aux mirides dans les sous-parcelles de cacaoyers ombragées ou non.

Lorsqu’on considère chaque type de dégâts au sein d’une sous-parcelle par rapport à l’ensemble de la parcelle, on obtient des résultats différents. Au sein d’une parcelle, des différences significatives ( $P \leq 0,05$ ) ont été observées entre l’effet de l’ombrage et la proportion des piqûres des cabosses et les dégâts de mirides pris ensemble sur les cacaoyers (branches défoliées, feuilles sèches, chancres et piqûres). En d’autres termes, les sous-parcelles moins ombragées ont présenté des proportions de piqûre d’insectes et de l’ensemble des dégâts plus élevées que les parcelles plus ombragées. Par contre, aucune différence significative n’a pas été observée entre l’effet de l’ombrage et la proportion de chancres, de branches défoliées et de feuilles sèches prise de manière individuelle (Tableau 3).

**Tableau 3:** Effet de l'ombrage (moins ou plus ombragé) sur l'intensité des dégâts dus aux mirides du cacaoyer

Variables	Ombrage	
	Moins	Plus
Proportion de chancres	0,51a*	0,49a
Proportion de branches défoliées	0,52a	0,48a
Proportion de feuilles sèches	0,52a	0,48a
Proportion de piqûres de cabosses	0,56a	0,44b
Proportion de l'ensemble des dégâts	0,53a	0,47b

\*Les chiffres d'une ligne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de comparaison multiple de Duncan au seuil de 5 %.

### **3.2.2. Effet de l'ombrage sur l'incidence de la pourriture brune et la production des cabosses**

Dans l'ensemble des huit parcelles, l'ombrage n'a pas eu un effet significatif sur le taux de pourriture, le nombre de cabosses pourries, le nombre de cabosses saines mûres, la production totale et le pourcentage de cabosses pourries entre les sous-parcelles (Tableau 4). Par contre, des différences significatives ont été observées au niveau de la productivité et du taux de pourriture brune entre sous-parcelles moins ombragée et sous-parcelle plus ombragée. Les cacaoyers des sous-parcelles moins ombragées ont développé un taux de pourriture et une productivité élevée. Dans les sous- parcelles moins ombragées, on a enregistré un plus grand nombre de cabosses mûres récoltées comparée aux sous- parcelles plus ombragées.

**Tableau 4:** Effet de l’ombrage sur l’incidence de la pourriture brune et la productivité

Variables	Ombrage	
	Moins	Plus
Taux de pourriture	18,3a*	14,1a
Nombre de cabosses pourries	1,14a	1,08a
Nombre de cabosses mûres	2,50a	2,31a
Production totale	2,53a	2,36a
Pourcentage de cabosses pourries	51,2a	48,7a
Productivité	56,3a	43,6b
Taux de pourriture	58,1a	41,8b

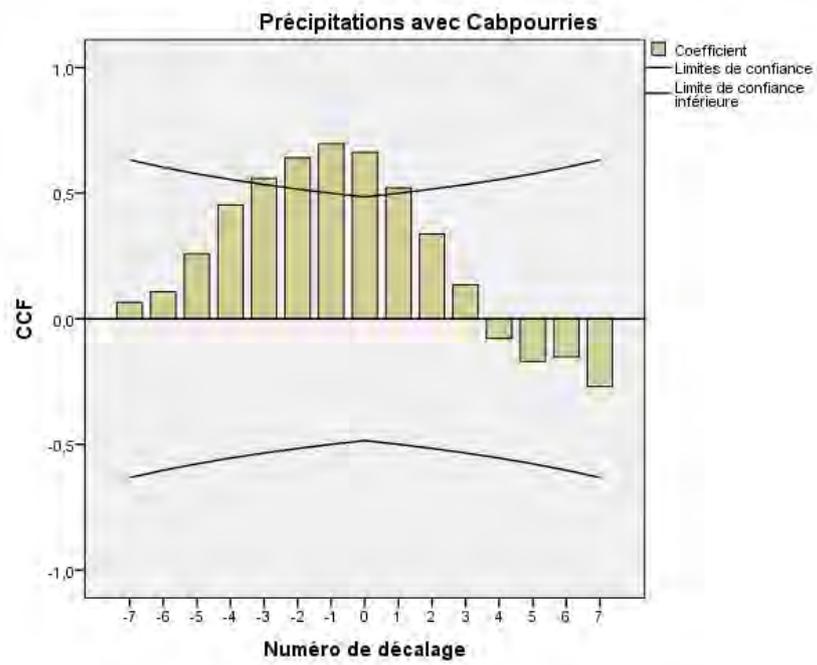
\*Les chiffres d’une ligne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de comparaison multiple de Duncan au seuil de 5 %.

### 3.3. Effet des précipitations sur l’incidence de la pourriture brune

Les précipitations augmentent l’incidence de la maladie. Le coefficient de corrélation de Pearson (0,663) a été hautement significatif avec une valeur  $P= 0,004$  (Encadré 1 de l’Annexe C). Les corrélations observées restent significatives même avec un décalage d’une ou de deux semaines (Figure 18).

Lorsqu’on utilise plutôt la quantité de pluie tombée au courant de la semaine et le nombre de nouvelles cabosses pourries à la même semaine, le lien entre pluviométrie et incidence de la pourriture brune n’est plus significatif. Le coefficient de corrélation de Pearson vaut -1,06 avec une valeur  $P = 0,686$ . Ce lien n’est également pas significatif même avec un décalage dans le temps (Encadré 2 de l’Annexe C).

Ces résultats indiquent que plus la quantité de pluies enregistrée est élevée, plus la quantité de cabosses pourries augmente.



**Figure 18:** Corrélation entre incidence de la pourriture brune et quantité de pluie tombée avec décalage dans le temps

## **CHAPITRE 4: DISCUSSION, CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

## 5.1. Discussion

L'ombrage est un concept très utilisé mais vaguement défini (Bellow et Nair, 2003). Dans les SAFs, la diversité des espèces d'arbres associés aux cacaoyers induit des interactions interspécifiques : le rendement de chaque plante étant fortement dépendant de l'environnement (microclimat) créé par les plantes voisines (Lamanda et al., 2006). Les travaux menés récemment au sujet de l'effet de l'ombrage sur la pourriture brune des cabosses et la dynamique du miride *Sahlbergella singularis* ont montré qu'au sein des SAFs, les caractéristiques des arbres d'ombrage ainsi que leur distribution spatiale peuvent influencer l'intensité d'attaque des cacaoyers par ces bioagresseurs (Babin et al., 2010 ; Gidoïn et al., soumis). La canopée des arbres associés dans une agroforêt est l'un des principaux facteurs déterminants du microclimat des plantes du sous-étage. En effet, elle intercepte la lumière ce qui entraîne une réduction de la photosynthèse, retient les pluies ce qui réduit l'érosion du sol, régule la température et l'humidité relative (Beer et al., 1998).

L'étude a montré que l'ombrage influence le microclimat. En effet, les valeurs de 17 à 35 % de variation de température contre 12 à 25 % de variation de l'humidité relative sont dues à l'ombrage. Ces pourcentages de variation relativement faibles pourraient s'expliquer par le fait qu'en dehors de l'ombrage, d'autres facteurs tels que le vent, l'auto-ombrage des cacaoyers et bien d'autres peuvent aussi agir sur le microclimat.

Le logiciel Shademotion a servi pour la simulation de l'ombrage fourni par les arbres associés, ne prenant en compte que les caractéristiques de ces arbres. Donc la structure et la distribution spatiale de ces arbres influencerait la distribution de l'ombrage et partant le nombre d'heure d'ombre accumulé sur une surface. Les cacaoyers fournissent aussi un auto-ombrage non négligeable, qui cumulé à l'ombrage des arbres associés peut influencer le microclimat d'autant plus que les appareils de mesure du microclimat se trouvaient en dessous de la canopée cacaoyère. De plus, une seule hauteur (2m) a été considérée lors de la mise en place des capteurs ; or le microclimat change en fonction de la hauteur (à partir du sol) dans les systèmes agroforestiers complexes à base de cacaoyer (Loguercio et al., 2009).

Le gradient de variation du microclimat est relativement faible avec l'augmentation du nombre d'heures d'ombrage. Sur la base de la Figure 15, pour une augmentation d'une heure d'ombrage par exemple, on a une diminution de seulement 0,1°C de température. Cette variabilité relativement faible pourrait être due aussi au fait que les parcelles choisies n'étaient pas assez contrastées en terme d'ombrage. En effet, l'hypothèse émise ici est que l'ombrage influence le

microclimat jusqu'à un seuil au-delà duquel toute augmentation du nombre d'heure d'ombrage n'entraînerait pas une modification du microclimat.

Lorsque toutes les parcelles sont prises ensemble, l'analyse de variance ne permet pas de noter un effet significatif de l'ombrage sur les dégâts des mirides. Toutefois, il existe une différence d'intensité de dégâts dans les sous-parcelles moins ombragées et plus ombragées : les dégâts sont plus accentués dans les parcelles moins ombragées. Les dégâts récents (feuilles sèches, branches dénudées, piquûres) ont été moins prononcés sur les cacaoyers par rapport aux dégâts anciens (chancres) qui occupaient pratiquement la moitié des cacaoyers. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Mahob et *al.* (Données non publiées, article en préparation) dans les jeunes cacaoyères ensoleillées dans deux localités du Centre-Cameroun. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ces résultats. L'ombrage n'a pas un effet direct proprement dit sur les dégâts des mirides. C'est à travers la réduction de la lumière (photons) qui arrive sur les cacaoyers et qui limite la croissance végétative de ceux-ci notamment les poussées foliaires, la formation de rejets et gourmands, que les dégâts des mirides peuvent être limités (Gidoïn et *al.*, soumis).

L'effet de l'ombrage sur les piquûres des mirides et sur l'ensemble des dégâts causés a été significatif à l'échelle parcellaire. L'étude a montré également que tous les cacaoyers ont été affectés par au moins un type de dégâts, quelque soit la période d'observation. Cependant, l'intensité des dégâts diffère d'une parcelle à une autre, ce qui suggère que certaines zones dans les cacaoyères offrent des meilleures conditions écologiques en termes d'habitat et de nourriture aux populations de *S. singularis* (Mahob et *al.*, 2012).

L'analyse de variance n'a pas permis de mettre en évidence un effet significatif de l'ombrage sur l'incidence de la maladie et la production totale des cabosses lorsque toutes les parcelles sont prises ensemble ; ce qui suggère que l'ombrage ne semble pas jouer un rôle direct sur ces deux variables. Il est donc probable que d'autres facteurs interviennent dans l'expression du *P. megakarya*. Ces résultats corroborent avec ceux de Mfegue (2012) qui n'a pas trouvé une corrélation entre le niveau d'ombrage, l'incidence de la maladie et la production des cabosses. Les résultats obtenus dans cette analyse pourraient s'expliquer par l'hétérogénéité parcellaire car les caractéristiques d'une parcelle ne sauraient être les mêmes pour les autres parcelles. Des facteurs tels que la variété des cacaoyers, l'âge, la densité, le type d'arbre associé, le nombre d'arbre d'ombrage et leur caractéristiques, l'intervention des planteurs pour l'entretien des parcelles et bien d'autres facteurs diffèrent d'une plantation à une autre.

L'hypothèse de l'hétérogénéité parcellaire confirme une partie de ces résultats. En effet, lorsqu'on élimine cette hétérogénéité en considérant le taux de pourriture brune et la production

totale des cabosses au sein d'une parcelle et indépendamment des autres, la différence de taux de pourriture et production des cabosses est significative ( $P= 0,003$  et  $P= 0,04$  respectivement) entre la sous- parcelle moins ombragée et plus ombragée. Une autre hypothèse émise est que les sous- parcelles moins ombragées sont plus productives, mais le taux de pourriture brune est plus bas à cause de la quasi- absence des arbres d'ombrage. Mais dû au fait qu'il y ait une forte production, la probabilité de contamination des autres cabosses est élevée, notamment par l'intermédiaire de l'inoculum secondaire déjà présent sur l'arbre ce qui peut augmenter le taux de pourriture brune. Quant aux sous- parcelles plus ombragées, le taux de pourriture brune des cabosses est généralement élevé à cause de l'ombrage qui peut favoriser les conditions de vie du pathogène ; cependant le fait que ces parcelles produisent moins de cabosses par rapport aux sous- parcelles moins ombragées, ce taux deviendrait plus bas.

Si l'ombrage de manière générale n'a pas d'effet direct sur l'incidence de la pourriture brune et la productivité des cacaoyers, d'autres facteurs peuvent permettre d'expliquer la dynamique du pathogène. La canopée des arbres associés intercepte les gouttes de pluie, ce qui réduit leur énergie cinétique d'éclaboussement et affecte leur redistribution au niveau de la strate inférieure (Beer *et al.*, 1998). La quantité d'eau qui arrive sur le sol dans un système plus ombragé n'est pas la même que celle d'un système moins ombragé. Etant donné que l'inoculum primaire de *P. megakarya* se trouve généralement dans le sol (Mfegue, 2012), l'éclaboussement vif de l'eau sur le sol permet à l'inoculum d'atteindre les cabosses plus proches du sol qui vont être infectées et produiront un inoculum secondaire dans les cacaoyères susceptible de provoquer des infections ultérieures. A cette action des pluies s'ajoute le microclimat qui règne dans les sous- parcelles ; lequel microclimat favoriserait davantage le développement de la pathologie si l'humidité relative augmentait.

Les résultats ont également montré que pendant la nuit, l'amplitude thermique est inexistante entre les deux sous- parcelles ; il en est de même pour l'humidité relative. En effet, le décalage thermique se crée de manière progressive, ce qui pourrait induire la formation de la rosée sur les cabosses (Monteith et Butler, 1979). Le fait que la différence de température entre les deux sous- parcelles se perde rapidement plus qu'elle se crée entraîne une baisse brutale de température. Selon le même auteur, la vitesse de changement de la température et de l'humidité relative définit la formation de la rosée. Des changements rapides comme dans les sous- parcelles moins ombragées favorisent la formation de la rosée sur les cabosses, tandis que dans les sous- parcelles plus ombragées, l'ombrage réduit la formation de la rosée et par ricochet les chances d'infection des cabosses par *P. megakarya*. De plus, l'ombrage affecte plusieurs autres facteurs qui peuvent avoir simultanément des effets positifs et négatifs sur le développement de

la maladie. Il n'est donc pas aisé de ressortir clairement l'effet de l'ombrage en général dans ces agroforêts à base de cacaoyer surtout lorsque les travaux sont menés dans les plantations traditionnelles comme celles rencontrées au Cameroun.

Pour le cas de la température, l'optimum de croissance du *P. megakarya* se situe autour de 21°C (Ten Hoopen, communication personnelle). Il est donc probable que le pathogène est plus actif dans ces conditions, mais dû au fait que le décalage thermique se crée au lever du jour, la température la plus favorable à l'activité du pathogène reste dans les zones plus ombragées. S'agissant des précipitations, Deberdt et *al.* (2008) démontrent que c'est l'un des facteurs primordiaux du déclenchement de la pourriture brune ; elles déterminent la quantité de cabosses pourries. Dans le cadre de cette étude, il n'y a eu aucun lien significatif entre la quantité de pluie tombée une semaine avant et le nombre de cabosses pourries. Ces résultats sont donc contradictoires à ceux obtenus par Deberdt et *al.* (2008) et Kankeu (2010) qui ont établi l'existence d'une corrélation forte et significative entre la pluviométrie et l'incidence du *P. megakarya*, ceci en cas d'absence de traitements phytosanitaires. L'hypothèse émise pour expliquer les résultats obtenus est que l'intervention des traitements phytosanitaires des planteurs dans les parcelles expérimentales a considérablement réduit l'incidence de la maladie. Dès l'arrivée des pluies, les cacaoyères paysannes sont traitées pour prévenir le risque d'apparition de la pourriture brune.

Ainsi, les études d'expérimentation sur les bioagresseurs dans les systèmes agroforestiers paysans complexes posent un problème ; celui du contrôle des interventions phytosanitaires. De ce fait, les conclusions qui en découlent devraient être validées sous réserve de l'intervention phytosanitaire paysanne ceci à cause non seulement de ces interventions paysannes mais aussi du fait de la nature complexe même de ces agrosystèmes qui se caractérisent selon Malézieux et *al.* (2009) par leur diversité spécifique et écologique et l'organisation spatiale hétérogène des peuplements végétaux qui les composent. Cette étude a permis de comprendre l'influence qu'à l'ombrage sur le microclimat, la pourriture brune sur les cabosses de cacaoyers, et les dégâts dus aux mirides.

## 5.2. Conclusion

Le but de ce travail était de déterminer l'effet de l'ombrage sur le microclimat, les bioagresseurs et productivité dans les agroforêts cacao. Les résultats obtenus au terme de cette étude suggèrent que :

- L'ombrage influence significativement le microclimat ; cependant un pourcentage assez faible de la variabilité des températures et de l'humidité relative est dû à l'ombrage.
- L'écart entre les températures et l'humidité relative est plus grand dans les sous- parcelles moins ombragées comparées aux sous- parcelles plus ombragées. Le microclimat varie différemment en fonction des mois et des parcelles. Les températures dans les sous- parcelles moins ombragées sont toujours plus élevées, tandis que l'inverse se produit pour l'humidité relative.
- Il n'ya pas de différence du microclimat pendant la nuit, mais une différence se crée lentement au lever du jour puis elle est vite perdue en fin de journée.
- On note un effet significatif de l'ombrage sur les piqûres de mirides et sur tous les types de dégâts quand les parcelles sont prises individuellement. Par lorsque toutes les parcelles sont prises ensemble, il n'ya pas de différence significative de dégâts de mirides entre les sous- parcelles moins ombragées et plus ombragées. Toutefois, les chancres ont été nettement plus abondants sur les cacaoyers par rapport aux autres types de dégâts ; les sous- parcelles moins ombragées présentent toujours plus de dégâts que les sous- parcelles plus ombragées.
- L'ombrage a un effet significatif sur l'incidence de la pourriture brune et la production totale des cabosses dans chaque parcelle prise individuellement. Par contre lorsque toutes les parcelles sont prises ensemble, il n'ya pas d'effet significatif de l'ombrage sur ces deux variables.
- Les précipitations cumulées tombées au courant de la semaine ont eu un lien significatif avec le nombre cumulé de cabosses pourries observées pendant la même semaine. Même avec un décalage d'une ou de deux semaines, les corrélations observées restent significatives.

Les conclusions tirées de cette étude restent à affiner par une étude plus approfondie dans les différentes zones agroécologiques de production du cacao à l'échelle national, d'où l'objectif du projet à contribuer à la mise au point des SAFs moins susceptibles aux attaques des bioagresseurs.

### **5.3. Perspectives et recommandations**

- Le choix des parcelles pourrait se faire selon un gradient, dans des zones assez contrastées de manière à avoir soit des parcelles complètement ensoleillées et des parcelles complètement ombragées, soit des parcelles à un niveau d'ensoleillement intermédiaire.
- Les essais pourront être répétés et les capteurs mesurant le microclimat devraient être placés à différentes hauteurs des cacaoyers (au niveau du tronc et de la canopée par exemple). Il faudrait aussi tenir compte de la direction du vent en plaçant un anémomètre.
- Pour l'estimation du nombre d'heure d'ombrage, les mesures devraient également être prises sur les cacaoyers pour prendre en compte l'effet de l'auto- ombrage.
- Le maintien d'un ombrage homogène dans les cacaoyères est indispensable pour les planteurs afin de limiter les dégâts des bioagresseurs.

## BIBLIOGRAPHIE

- Acebo-Guerrero Y., Hernandez-Rodriguez A., Heydrich-Perez M., Ej jaziri M., Hernandez-Lauzardo A. N., 2011.** Management of black pod rot in cacao (*Theobroma cacao* L.): a review. *Fruits* 67, 41-48.
- Asare-Nyako A., Dakwa J.T., 1974.** The disease on roots. In *Phytophthora* disease of cocoa. Gregory P. H. Longman Group Limited, London, 348p.
- Asha R., Duval B.F., Joelson V.L., Luis M.B.L., Paul R.V., 2006.** Efficacité des fongicides à base de cuivre dans le contrôle du balai de sorcière et de la pourriture brune en culture de rentes de cacao à Bahia, Brésil. In: 15<sup>th</sup> *Cocoa Research International Conference* 8p.
- Anikwe J.C, Omoloye A.A, Aikpokpodion P.O, Okelana F.A, Eskes A.B., 2009.** Evaluation of resistance in selected cocoa genotypes to the brown cocoa mirid, *Sahlbergella singularis* Haglund in Nigeria. *Crop Protection* 28: 350- 355.
- Anikwe J.C., 2010.** Feeding preference and morphometrics of *Sahlbergella singularis* (Hemiptera: miridae) on cocoa pods at different stages of physiological development. *Academic journal of entomology* 3(1): 39- 44.
- Assoumou J., 1977.** L'économie du cacao, Jean-Pierre Delarge, éditeur, Paris, 351p.
- Avelino J., Willocquet L. and Savary S., 2004.** Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology* 53: 541-547.
- Avelino J., ten Hoopen G.M., DeClerck F., 2011.** Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. In: *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry Measurement and Payment*. Routledge. Pp. 91 – 117.
- Babacauh K. D., 1983.** Facteurs déterminant la localisation des lésions de pourriture brune des cabosses du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). I. Age de la cabosse et localisation de la lésion. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXVII, n°3, juil.-sept., p.195-208.
- Babin R., 2009.** Contribution à l'amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agro-

écologiques sur la dynamique des populations du ravageur. *Thèse de Doctorat, Université de Montpellier III- Paul Valéry*, 202 p.

- Babin R., Ten Hoopen G.M., Cilas C., Enjalric F., Yede, Gendre P., Lumaret J.P., 2010.** Impact of shade on the spatial distribution of *Sahlbergella singularis* in traditional cocoa agroforests. *Agricultural and Forest Entomology* 12: 69–79.
- Babin R., Piou1 C., Yédé, Tadu Z., Mahob R., Ten Hoopen G.M., Bagny B.L., Djiéto C.L., 2012.** Spatial relationships between dominant ants and the cocoa mirid *sahlbergella singularis* in traditional cocoa-based agroforestry systems.
- Bateman R. P., Hidalgo E., Garcia J., Arroya C., Ten Hoopen G. M., Adinojah V., Krauss U., 2005.** Application of chemical and biological agent for the management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in Costa Rican cocoa (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology* 147 :129-138.
- Baumer M., 1987.** Agroforesterie et désertification. Centre technique de coopération agricole. 259 p.
- Bagny L.B., Mahob R., Yédé, Hall R.D., Ten Hoopen G.M., Babin R., 2012.** Field optimization of pheromone traps for monitoring and controlling cocoa mirids, *sahlbergella singularis*.
- Beer J., Muschler R., Kass D., Somarriba E., 1998.** Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Bellow J.G., Nair P.K.R., 2003.** Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 114: 197-211.
- Braudeau J., 1969.** Le cacaoyer. Maisonneuve et Larose, Paris, 304p.
- Brun L.A., Sounigo O., Coulibaly N., Cilas C., 1997.** Methods of analysis for studying cocoa (*Theobroma cacao* L.) susceptibility to mirids. *Euphytica* 94 : 349-359.
- Burle L. 1952.** La production de cacao en Afrique occidentale française. *Centre de recherches agronomiques de Bingerville* 5 : 3-21.
- Butler D.R., 1980.** Dew and thermal lag: a model for cocoa pods. *Journal of the Royal Meteorological Society* 1065: 39- 550.
- Cheesman E. E., 1944.** Notes on the nomenclature, possible classification and relationships of cocoa populations. *In: agriculture, (ed.)*.

- Cilas C., Machado R., Motamayor J. C., 2011.** Distribution du nombre de graines par cabosse chez plusieurs clones de cacaoyer: un caractère à prendre en compte pour l'amélioration des rendements. Dans : *16ème Conférence internationale sur la recherche cacaoyère*. Lagos : Cocoa Producers' Alliance, Bali (Indonésie).
- Cuatrecasas J., 1964.** Cocoa and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Smithsonian Institution (Washington)* 35: 379-614.
- Deberdt P., Mfegue C.V., Tondje P.R., Bon M.C., Ducamp M., Hurard C., Begoude B.A.D., Ndoumbe-Nkeng M., Hebbar P.K., and Cilas C., 2008.** Impact of environmental factors, chemical fungicide and biological control on cocoa pod production dynamics and black pod disease (*Phytophthora megakarya*) in Cameroun. *Biological Control* 44 : 149-159.
- Derron J., 1977.** Approche écologique de l'entomofaune des cacaoyers de Sao Tomé (Golfe de Guinée). Thèse n° 5891, Ecole Polytechnique Fédérale, Zurich. 98 p.
- Djiekpor E. K., Davous M. P. 1984,** Contribution à la mise au point de la lutte chimique contre la pourriture brune des cabosses du cacaoyer au Togo étude des possibilités d'emploi du metalaxyl. In : *9<sup>e</sup> Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère*. 350 pp.
- End M. J, Daymond A. J, Hadley P., 2010.** Technical guidelines for the safe movement of cacao germplasm (Revised from the FAO/IPGRI Technical Guidelines No. 20). Global Cacao Genetic Resources Network (CacaoNet), *Bioversity International*, Montpellier, France.
- Eskes A.B, Lanaud C., 1997.** L'amélioration des plantes tropicales. Montpellier. CIRAD, p. 141-170.
- Evans H.C., Prior C., 1987.** Cocoa pod diseases - causal agents and control. *Outlook on Agriculture*, 16: 35-41.
- Evans H.C., 1998.** Disease and sustainability in the cocoa agroecosystem. In: *Proceedings of the First International Workshop on Sustainable Cocoa Growing*. Panama City.
- Flood J., Guest D., Holmes K.A., Keane P., Sulistyowati E., 2004.** Cocoa under attack. In *Cocoa Futures*. CABI- FEDERACAFE, Chincina, Colombia 164 pp.
- Frison E.A., Feliu E., 1989.** Technical Guidelines for the safe movement of cocoa germplasm. *International Board for Plant Genetic Resources* pp 8- 10.

- Fulton R.H., 1989.** The Cocoa disease trilogy: Black pod, Monilia pod rot and Witches broom. *Plant Disease* 73 (7): 601-603.
- Gockowski J., Tchatat M., Dondjang J.P., Hietet G., and Fouda T., 2010.** An empirical analysis of the biodiversity and economic returns to cocoa agroforests in Southern Cameroon. *Journal of Sustainable Forestry* 29: (6) 638-670.
- Gregory P.H., Madison A.C., 1981.** Epidemiology of Phytophthora on cocoa in Nigeria. *Phytopathological paper*.
- Guest D., 2007.** Black pod: Diverse pathogens with a global impact on cocoa yield. *Phytopathology* 97: 1650-1653.
- Hidalgo E., Bateman R., Krauss U., ten Hoopen G.M., Martinez A., 2003.** A field investigation into delivery systems for agents to control *Moniliophthora roreri*. *European Journal of Plant Pathology* 109: 953-961.
- Holmes K.A., Krauss U., Samuels G.J., 2006.** *Trichoderma ovalisporum*, a novel biocontrol agent of frosty pod (*Moniliophthora roreri*) of cocoa (*Theobroma cacao*): from discovery to field. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> international conference on plant Microbe Interactions: Endophytes and biocontrol Agents*. Saariselka, Lapland, Finland. April 2005. Eds Sorvari and Toldi: 54-65.
- Idowu O. L., 1989.** Control economic insect pests of cocoa. *In: progress in Tree Crop Research*, 2<sup>nd</sup> edition, CRIN, Ibadan, Nigeria. Pp: 152-165.
- ICCO, 2011.** Cocoa year 2010/ 2011. Q. Bull. Cocoa Stat., 37.
- IRAD, 1997.** Rapport d'activité, Programme sol. 10p.
- Jagoret P., 2011.** Analyse et evaluation des systems agroforestiers complexes sur le long terme: application aux systèmes de culture à base de cacao au Centre Cameroun. *Thèse de doctorat*, SupAgro, Montpellier, 236 p. + annexes.
- Kankeu T.Y., 2010.** Dynamique spatio-temporelle du Phytophthora megakarya (pourriture brune) dans une plantation de cacao au Cameroun : une analyse par la modélisation géostatistique. *Mémoire d'Ingénieur Statisticien*. 117 p.
- Kouakou K., Kébé B.I., Kouassi N., Anno A.P., Aké S., Muller E., 2011.** Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacao sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 43: 2947- 2957.

**Kroon L.P.N.M., Bakker F.T., van den Bosch G.B.M., Bonants P.J.M., Flier W.G., 2004.**

Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Fungal Biological Genetic* 41: 766-782.

**Krauss U., Hidalgo E., Bateman R., Adonijah V., Arroyo C., Garcia J., Crozier J., Brown N.A., Ten Hoopen G.M., Holmes K.A., 2010.** Improving the formulation and timing of application of endophytic biocontrol and chemical agents against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in cocoa (*Theobroma cacao*). *Biological Control* doi: 10.1016/j.biocontrol.2010.05.011.

**Kumar R., 1984.** Insect pests control. *Edward Arnold LTD*. London: 83-96.

**Lamanda N., Malézieux E., Martin P., 2006.** Structure and dynamics of coconut based agroforestry systems in Melanesia : a case-study from the Vanuatu archipelago. *In : Advances in Agroforestry. Tropical homegardens, a time-tested example of sustainable agroforestry.* Kumar B.M., Nair P.K.R. (eds). Dordrecht, Pays-Bas, Springer : 105-120.

**Lavabre E.M., 1970.** Insectes nuisibles aux cultures tropicales. G-P. Maisonneuve et Larose, Paris, pp.196.

**Loguercio L.L., Santos L.S., Niella G.R., Miranda R.A.C., de Souza J.T., Collins R.T., and Pomella A.W.V., 2009.** Canopy- microclimate effects on the antagonism between *Trichoderma stromaticum* and *Moniliophthora perniciosa* in shaded cacao. *Plant pathology*, doi: 10.1111/ j.1365- 3059.

**Mahob R.J., Babin R., Ten Hoopen G.M., Dibog L., Yede, Hall D. R., 2011.** Field evaluation of synthetic sex pheromone traps for the cocoa mirid *Sahlbergella singularis* (Hemiptera: Miridae). *Pest Management. Science* 67: 672-676.

**Mahob R.J., Babin R., Ten Hoopen G. M., Bilong Bilong C.F., Dibog L., Sounigo O., Yede, Bagny B.L., Amang A Mbang J., Bourgoing R., Nyasse S., Cilas C., 2012.** Spatial distribution of *sahlbergella singularis* hagl. (hemiptera: miridae) populations and associated damage in unshaded young cocoabased agroforestry systems in Cameroon.

**Mahot H., Babin R., Dibog P.R., Tondje C., Bilong, 2011.** Biocontrol of cocoa mirid *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera: Miridae) with *Beauveria bassiana* Vuillemin.

- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2008.** Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29 : 43–62.
- Mbarga J.B., 2010.** Formulation des conidies de *Trichoderma asperellum*, agent de lutte biologique contre la pourriture brune des fruits du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). *Mémoire de Master complémentaire en Protection des Cultures Tropicales et Subtropicales*, Communauté Française de Belgique, 42p.
- Mbondji Mbondji P., 2010.** Le cacaoyer au Cameroun. Presse de l'université catholique d'Afrique centrale. 254 p.
- Mfegue C.V., 2012.** Origine et mécanismes de dispersion des populations de *Phytophthora megakarya*, pathogène du cacaoyer au Cameroun. *PhD thesis, SupAgro, Montpellier, France*, pp. 185.
- Monteith J. L., Butler D. R., 1979.** Dew and thermal lag : measurements and estimate wetness duration on cocoa pods. *Journal of the Royal Meteorological Society* 105: 207- 215.
- Mossu, G. 1990.** Le cacaoyer. Maisonneuve et Larose, Paris, 160 p.
- Motamayor J. C., Lachenaud P., da Silva e Mota J.W., Loor R., Kuhn D.N., Brown S.J., Schnell R.J., 2008.** Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE* 3(10): e3311. doi:10.1371/journal.pone.0003311.
- Mpika J., Kebe I.B., Druzhinina S.I., Komon-Zélazowska M., Kubicek C.P., Aké S., 2009.** Inhibition de *Phytophthora palmivora*, agent de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer en Côte d'Ivoire par *Trichoderma* sp. *Sciences et Nature* 6 (1): 49-62.
- Ndoumbe-Nkeng M., Cilas C., Nyemb E., Nyasse S., Bieysse D., Flori A., Sache I., 2004.** Impact of removing diseased pods on cocoa black pod caused by *Phytophthora megakarya* and on cocoa production in Cameroon. *Crop Protection* 23 : 415-424.
- Ndongue D.M., 2012.** Influence des traitements chimique et biologique sur l'inoculum primaire de *Phytophthora megakarya* et l'évolution de la pourriture brune des fruits de cacaoyer (*Theobroma cacao*). *Mémoire d'ingénieur Agronome*, Université de Dschang, 70 pp.
- Nguyem Ban J., 1996.** Lutte contre les maladies et ravageurs du cacaoyer. *Plantations Recherches Développement* 3(3): 193-197.

- Nyassé S., 1992.** Structure d'une population de *Phytophthora sp.* des cacaoyères camerounaises atteintes de pourriture brune. *Mémoire de Diplôme de Recherche Universitaire* (D.R.U.), ENSAT, Institut National Polytechnique, Toulouse, 48p.
- Nyasse, S., 1997.** Etude de la diversité de *Phytophthora megakarya* et caractérisation de la résistance du cacaoyer (*Theobroma cacao L.*) à cet agent pathogène. *Thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse.*
- ONCC., 2009.** Les mesures prises par le gouvernement pour parvenir à une économie cacaoyère durable : cas du Cameroun. *Table ronde sur l'économie cacaoyère mondiale durable – Trinidad et Tobago.*
- Opoku I.Y., Akrofi A.Y., Appiah A.A., 2002.** Shade trees are alternative hosts of the cocoa pathogen *Phytophthora megakarya*. *Crop Protection* 21: 629-634.
- Partiot, M., 1976.** La résistance horizontale du cacaoyer au *Phytophthora spp.* : Contribution à l'étude de son évaluation, son amélioration et de son utilisation. *Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle*, Université de Paris- Sud, Centre d'Orsay, 89 p.
- Paulin D., 1994.** Les méthodes de sélection du cacaoyer. *In: Traitements Statistiques des Essais de Sélection Stratégies d'amélioration des plantes pérennes: séminaire de biométrie et génétique quantitative*, 12-14. Septembre. 1994, Montpellier, France, 243-257.
- Pereira J.L., 1998.** Le développement de la maladie du balai de sorcière du cacaoyer: stratégies de lutte appliquées. *Plantations Recherches Développement* 435- 440.
- Ratnadass A., Fernandes P., Avelino, J., Habib R., 2012.** Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32 : 273–303.
- René P., Mariau D., Decazy B., Quilici S. & Nguyen-Ban J., 1996.** Lutte chimique raisonnée. In Mariau D. (ed), *Lutte Intégrée contre les ravageurs des cultures pérennes tropicales*. CIRAD.: 21-59.
- Ruf F., Zadi H., 1998.** Cocoa: from deforestation to reforestation. *In: first international workshop on sustainable cocoa growing*, Smithsonian Institute, Panama.
- Samuels G.J., Pardo-Schultheiss R. Hebbar K.P., Lumsden R.D., Bastos C.N., Costa J.C., Bezerra J.C., 2000.** *Trichoderma stromaticum*, a parasite of cacao witches broom pathogen. *Mycological Research* 104: 760-764.

**Samuels G.J., Hebbar P., 2005.** *Trichoderma*: its potential for control of diseases of cacao. *Proceedings, 14<sup>th</sup> international cocoa research conference. Cocoa Producer's alliance.* Vol II, 2005.

**Sarfo J. E., Hall D. H., Campbell C. A. M., Downham M. C. A., Cudjoe A. R., 2010.** Improving the management of cocoa mirids, *Distantiella theobroma* (Dist.) and *Sahlbergella singularis* Hagl. (Heteroptera: Miridae) through pheromone trapping. *In Proceedings of the 16th International Cocoa Research Conference.*

**Somarriba E., Quesada F. et Malek. M., 2010.** « ShadeMotion 3.0: Software para calcular la cantidad de horas de sombra que proyectan un conjunto de árboles sobre un terreno ». CATIE.

**Sonwa D.J., Coulibaly O., Adesina A.A., Weise S.F., Tchatat M., 2002.** Integrated pest management in cocoa agroforest in southern Cameroon: constraints and overview. *Integrated pest management review* 7:191-199.

**Sonwa D.J., Coulibaly O., Adesina A.A., Janssens M.J.J., 2008.** Management of cocoa: Constraints during acquisition and application of pesticides in the humid forest zones of southern Cameroon. *Crop Protection* 27:1159-1164.

**Sounigo O., Coulibaly N., Brun L., N'Goran J., Cilas C., Eskes A.B., 2003.** Evaluation of resistance of *Theobroma cacao* L. to mirids in Côte d'Ivoire: results of comparative progeny trials. *Crop protection* 22: 615-621.

**Ten Hoopen G.M., Babin R., Mahob R., Yede, Sounigo O. Bourgoing R. Petchayo S. Techou Z., 2012.** Dispersal and distribution of *Phytophthora megakarya* in young cacao plantations.

**Todem N.H., 2005.** Bilan financier des systèmes de cacaoculture du Centre- Cameroun. *Mémoire d'ingénieur agronome.* Université de Dschang. 10 p

**Tondje P.R., Begoude A.D., Samuels G.J., Hebbar P. Foko J., 2005.** Biological control of the cocoa black pod disease, causative agent *Phytophthora megakarya*, with *Trichoderma asperellum*. *Proceedings, 14<sup>th</sup> international cocoa research conference. Cocoa Producer's alliance.* Vol II, 2005.

**Tondje P.R., Roberts D.P., Bon M.C., Widmer T., Samuels G.J., Ismaïel A., Begoude A.D., Tchana T., Nyemb-Tshomb E., Ndoumbe-Nkeng M., Bateman R., Fontem D.,**

**Hebbar K.P., 2007.** Isolation and identification of mycoparasitic isolates of *Trichoderma asperellum* with potential for suppression of black pod disease of cacao in Cameroon. *Biological control*.

**Tyler B.M., Tripathy S., Zhang X., Dehal P., Jiang R.H.Y., Aerts A., Arredondo F.D., Baxter L., Bensasson D., Beynon J.L., Chapman J., Damasceno C.M.B., Dorrance A.E., Dou D., Dickerman A.W., Dubchak I.L., Garbelotto M., Gijzen M., Gordon S.G., Govers F., Grunwald N.J. Huang W., Ivors K.L., Jones R.W., Kamoun S., Krampis K., Lamour K.H., Lee M.K., McDonald W.H., Medina M., Meijer H.J.G., Nordberg E.K., Maclean D.J., Ospina-Giraldo M.D., Morris P.F., Phuntumart V., Putnam N.H., Rash S., Rose J.K.C., Sakihama Y., Salamov A.A., Savidor A., Scheuring C.F., Smith B.M., Sobral B.W.S., Terry A., Torto-Alalibo T.A., Win J., Xu Z., Zhang H., Grigoriev I.V., Rokhsar D.S., Boore J.L., 2006.** *Phytophthora* genome sequences uncover evolutionary origins and mechanisms of pathogenesis. *Science* 313: 1261-1266.

**Wood G.A.R., Lass R. A., 1985.** *Cocoa. 4th Edition. Scientific and Technical and Jhon Wiley and Sons, Inc. New York, Longman.*

**Vos G.M., Ritchie B.J., Flood J., 2003.** A la découverte du cacao: un guide pour la formation des facilitateurs. CABI Bioscience.

**Yede, Ten Hoopen G.M, Djiéto L., R. Babin, Z. Tadu, R. Mahob, W. Nana et Bilong Bilong., 2012.** Les rôles possibles d'*oecophylla longinoda* (Latreille) et *Tetramorium aculeatum* (Mayr) dans la lutte biologique contre les mirides du cacaoyer au Cameroun.

**WCF, 2012.** Cocoa market statistics.

# ANNEXES

## Annexe A : tableaux

**Tableau 2** : fiche de collecte des données pour la cartographie des parcelles

Localité  
Nom du planteur  
Code parcelle  
Latitude (N) :

Nom de l'observateur  
Date  
Pente (angle)  
Pente (sens)

Cacaoyers	Numéro arbre de référence	Distance (m)	Angle degré)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			



Tableau 4 : fiche de collecte des données en champ pour la pourriture brune

Localité

Code parcelle

Nom du planteur

Nom de l'observateur

Date

Numéro cacaoyer	POURRITURE BRUNE														
	Chérelles < 2 m						Cabosses h< 2 m						Cabosses h> 2m		
	Marquées			Non marquées			Marquées			Non marquées					
	Saines	Wilt	Pourries	Saines	Wilt	Pourries	Saines	Pourries	Mûres	Saines	Pourries	Mûres	Saines	Pourries	Mûres
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															

**Tableau 5** : fiche de collecte des données pour les dégâts des mirides

Localité                      Nom de l'observateur

Nom du planteur              Date

Code parcelle

Numéro cacaoyer	STADE VEGETATIF						MIRIDES					
	Flush		Gourmands		Rejets		Chancre	Feuilles Sèches	Branches nues	Piqûres	Individu	
	Prés	Abs	Prés	Abs	Prés	Abs					Présent Oui	Non
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

**Tableau 6** : fiche de données pluviométriques

Date	Précipitations (mm)	Date	Précipitations (mm)	Date	Précipitations (mm)
16-août	0,5	1er Octobre	12	17-nov	0
17-août	0	02-oct	0	18-nov	1,5
18-août	0	03-oct	0	19-nov	0
19-août	0	04-oct	2,5	20-nov	0
20-août	0	05-oct	0	21-nov	0
21-août	1	06-oct	30	22-nov	2
22-août	0	07-oct	0	23-nov	5
23-août	0	08-oct	23	24-nov	0
24-août	5	09-oct	17	25-nov	0
25-août	0	10-oct	0	26-nov.	0
26-août	0	11-oct	9	27-nov	0
27-août	30	12-oct	32	28-nov	3
28-août	17	13-oct	0	29-nov	0
29-août	0	14-oct	23	30-nov	4
30-août	1	15-oct	11	01-déc	0
31-août	0	16-oct	6	02-déc	1
1er sept	0	17-oct	5	03-déc	3
02-sept	0	18-oct	5	04-déc	0
03-sept	0	19-oct	4,5	05-déc	0
04-sept	0	20-oct	0	06-déc	0
05-sept	0	21-oct	32	07-déc	0
06-sept	0	22-oct	28	08-déc	0
07-sept	1	23-oct	0	09-déc	8
08-sept	4	24-oct	21	10-déc	2
09-sept	9	25-oct	24	11-déc	33
10-sept	0	26-oct	49	12-déc	0
11-sept	0	27-oct	46	13-déc	0
12-sept	0	28-oct	0	14-déc	0
13-sept	0	29-oct	0	15-déc	0
14-sept	73	30-oct	0	16-déc	0
15-sept	38	01-nov	9	17-déc	0
16-sept	0	02-nov	0	18-déc	0

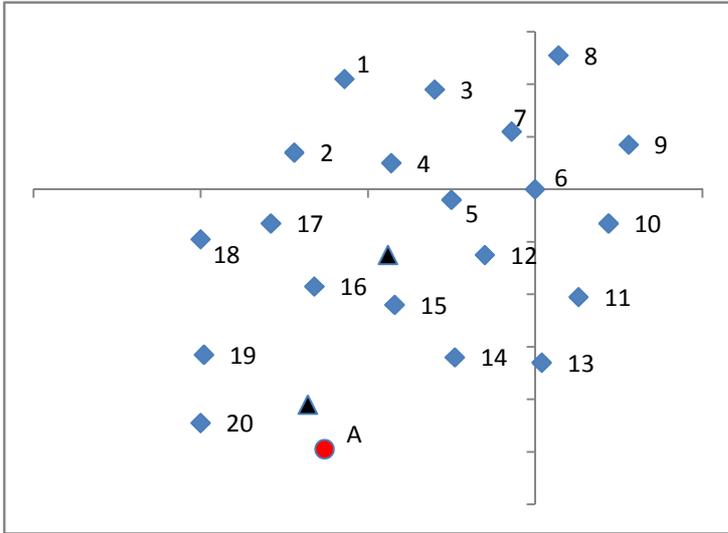
17-sept	0	03-nov	0	19-déc	0
18-sept	17	04-nov	0	20-déc	0
19-sept	0	05-nov	0	21-déc	0
20-sept	5	06-nov	0	22-déc	0
21-sept	0	07-nov	0	23-déc	0
22-sept	41	08-nov	0	24-déc	0
23-sept	3	09-nov	16	25-déc	0
24-sept	0	10-nov	0	26-déc	0
25-sept	9	11-nov	0	27-déc	0
26-sept	0	12-nov	4	28-déc	0
27-sept	0	13-nov	14	29-déc	0
28-sept	10	14-nov	0	30-déc	0
29-sept	0	15-nov	0	31-déc	0
30-sept	34	16-nov	0		

**Annexe B : Figures**

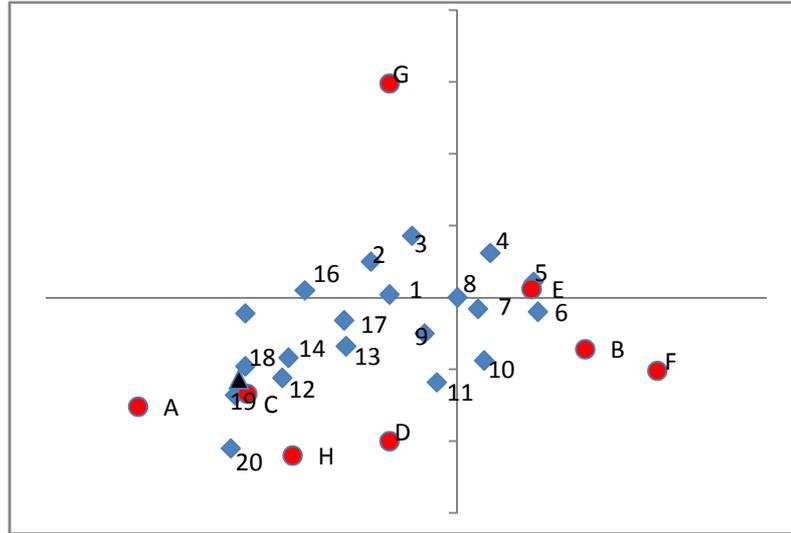
**Figure 1 : Cartes des sous- parcelles**

Parcelle 1

MO

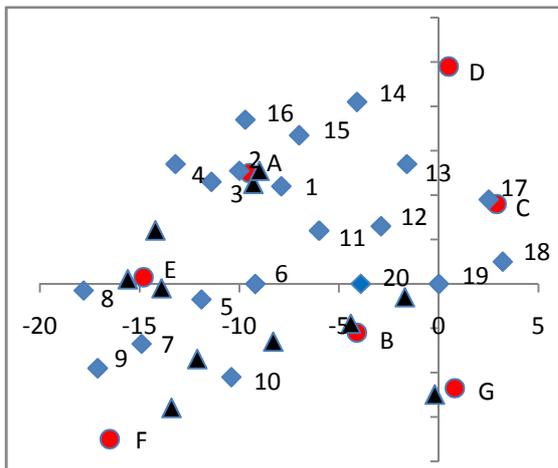


PO

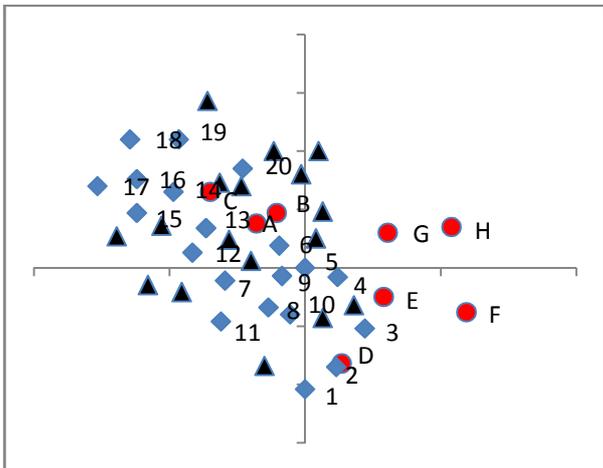


Parcelle 2

MO

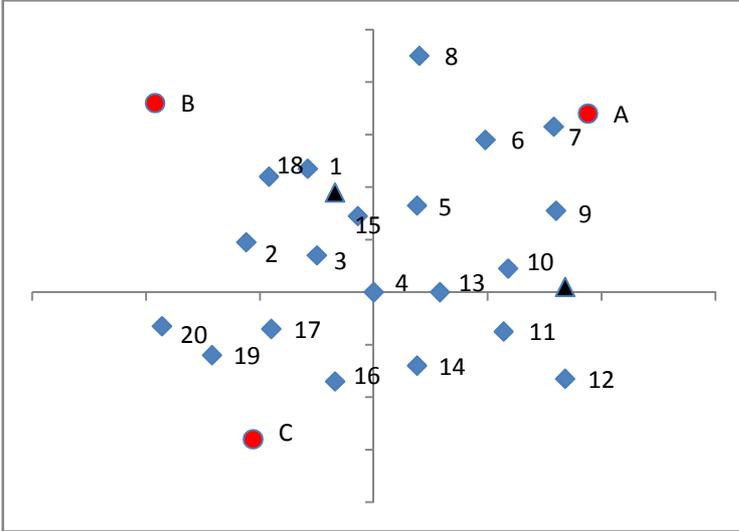


PO

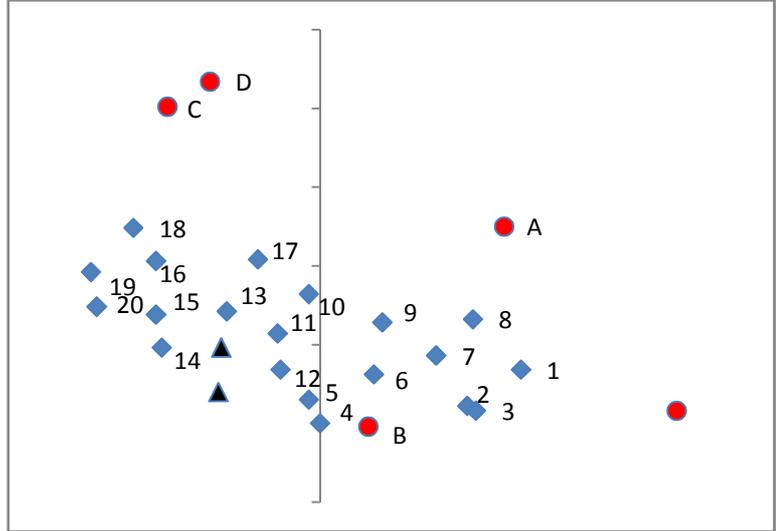


Parcelle 3

MO

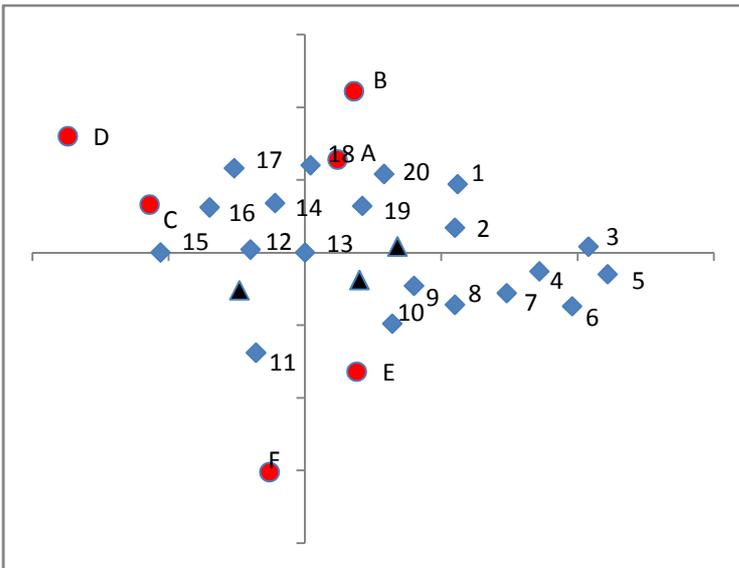


PO

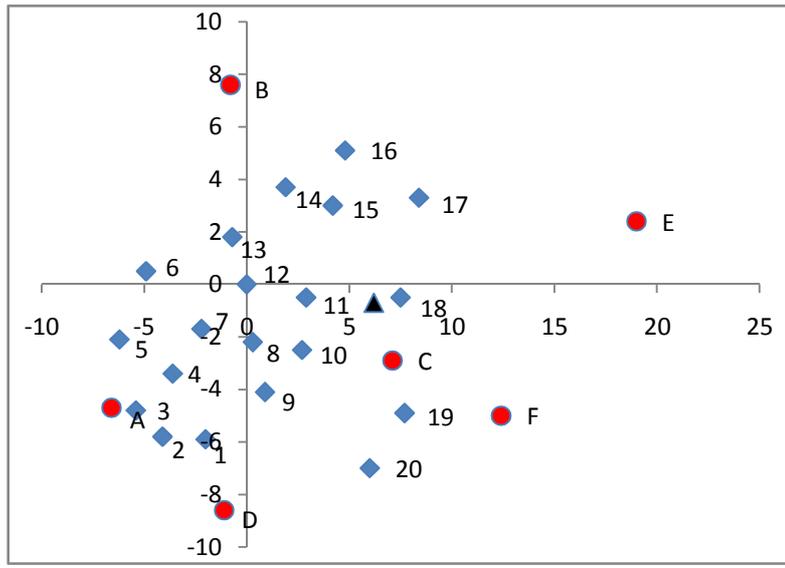


Parcelle 4

MO

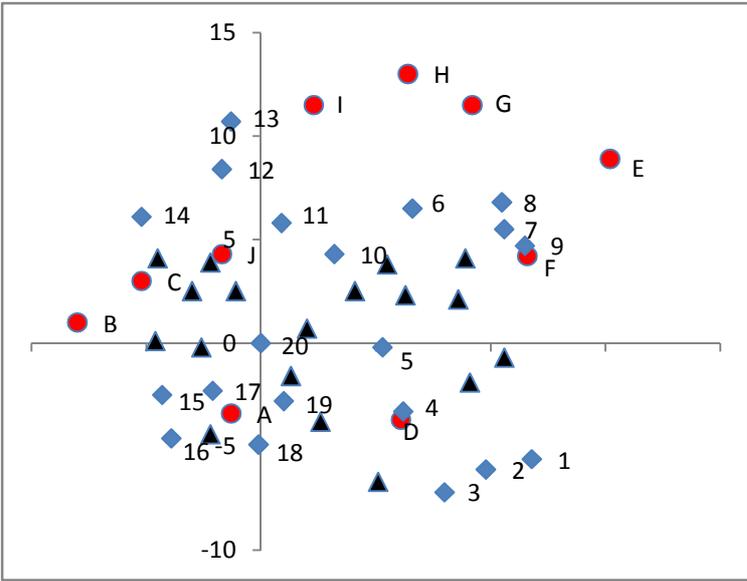


PO

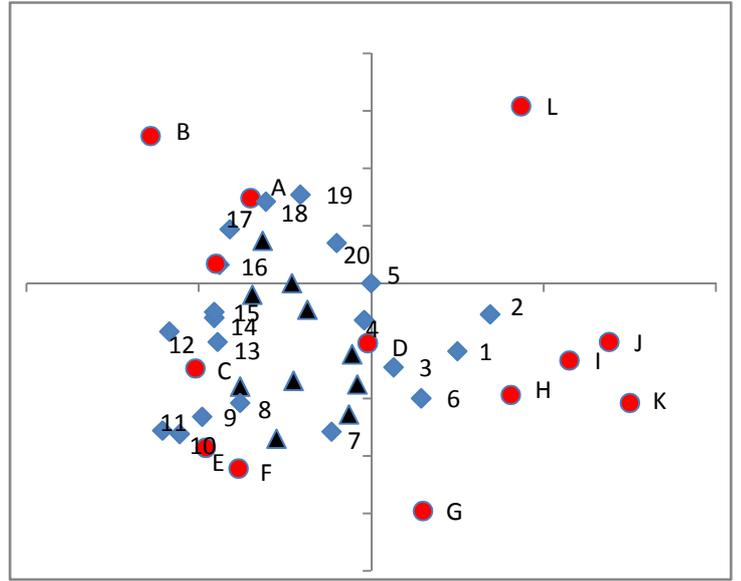


Parcelle 5

MO

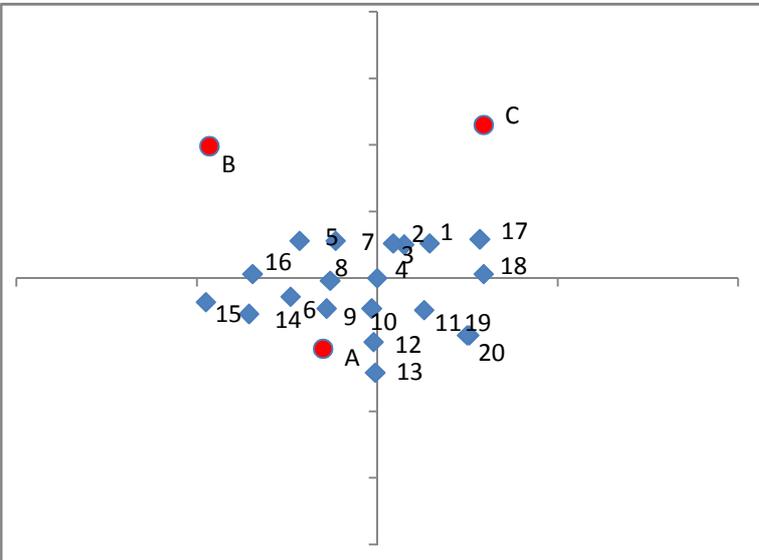


PO

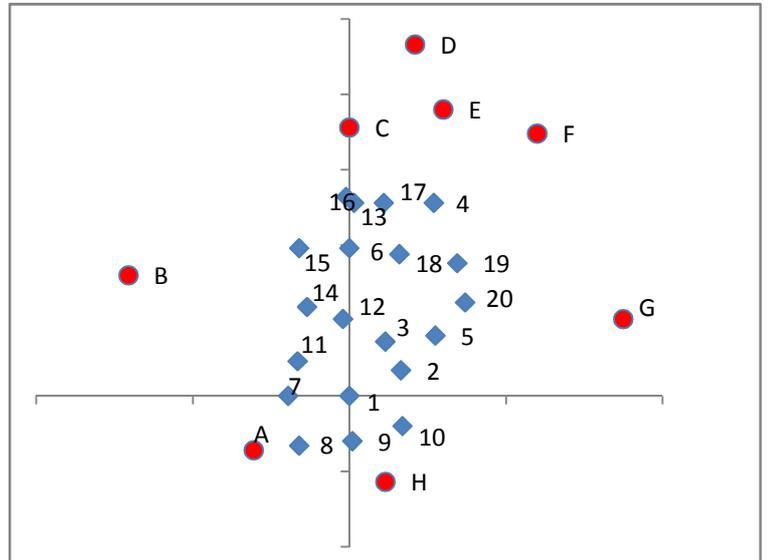


Parcelle 6

MO



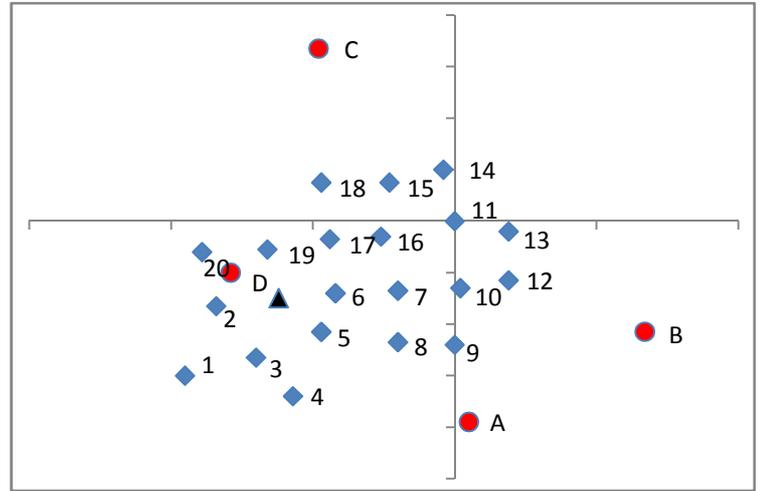
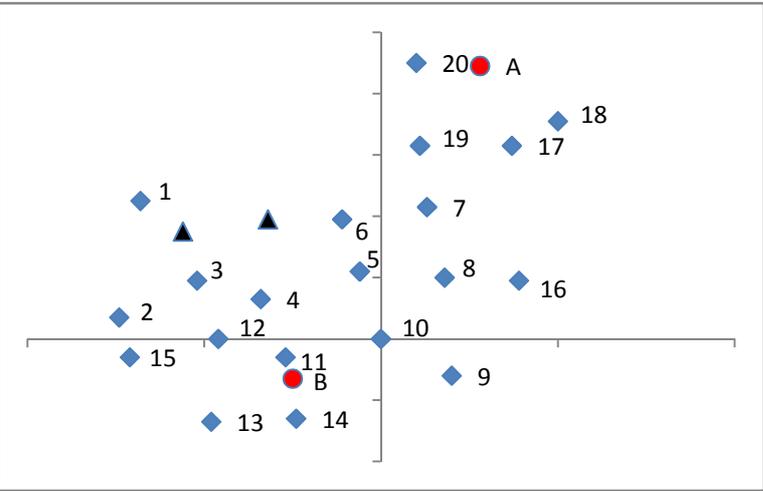
PO



Parcelle 7

MO

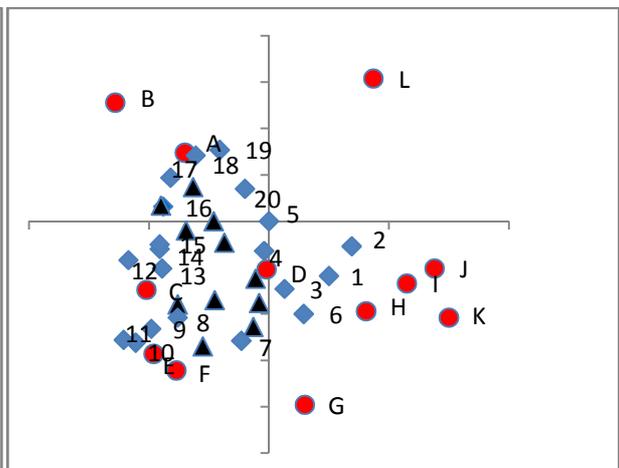
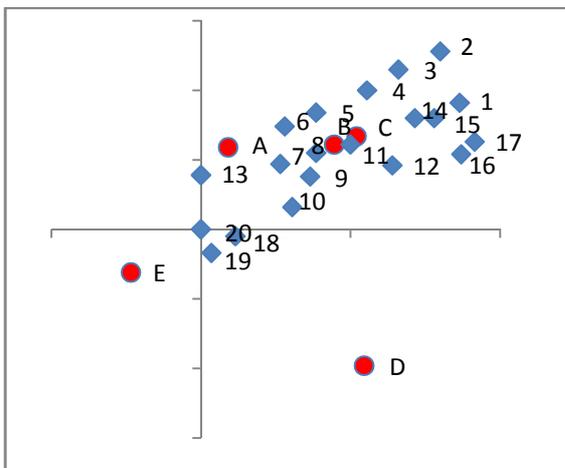
PO



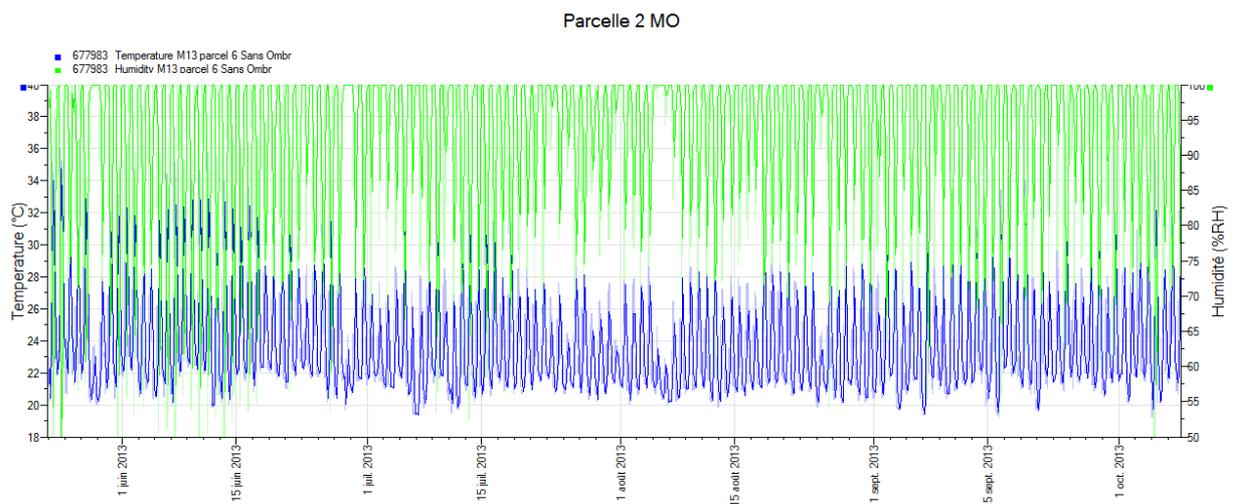
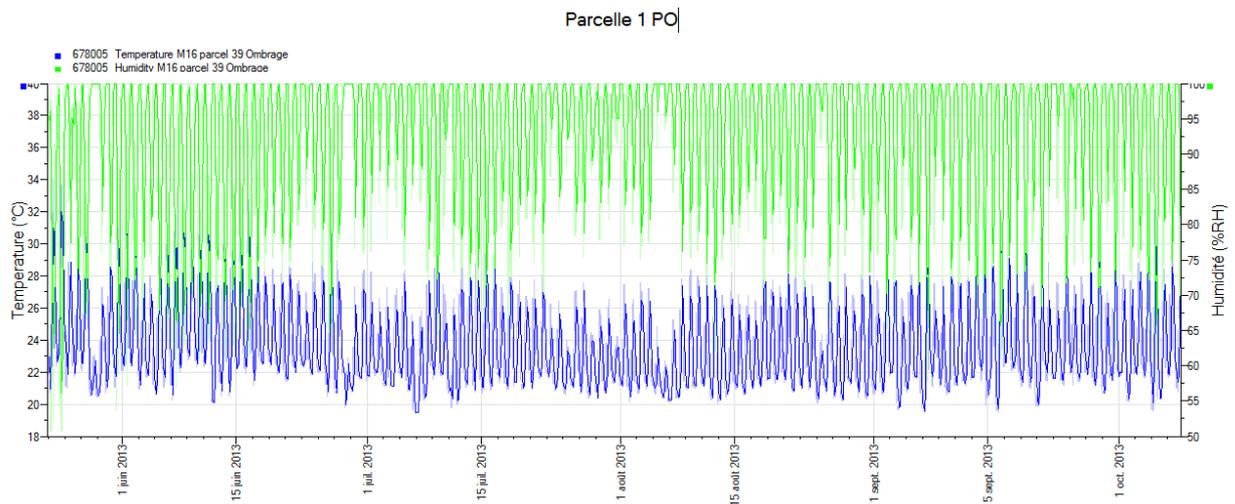
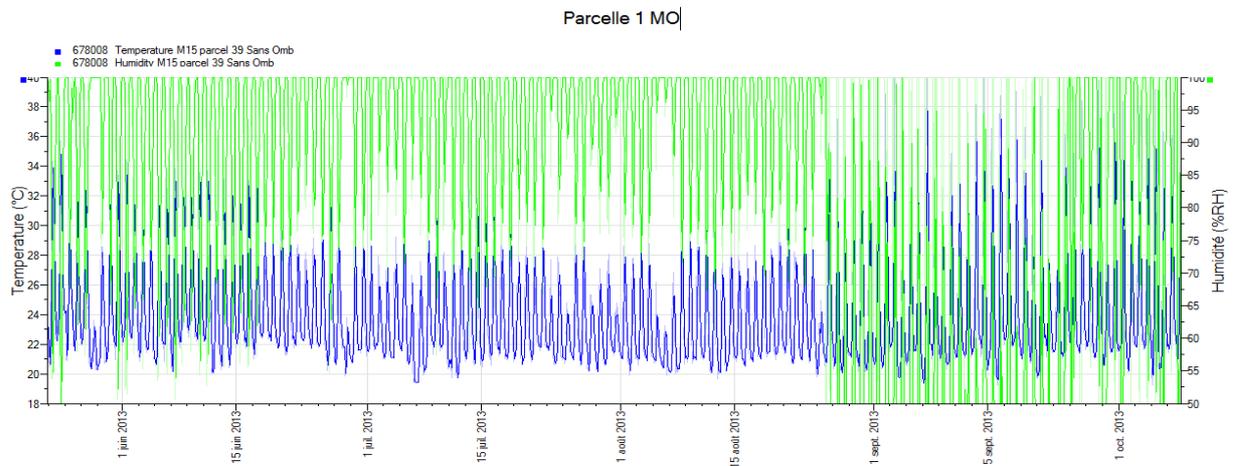
Parcelle 8

MO

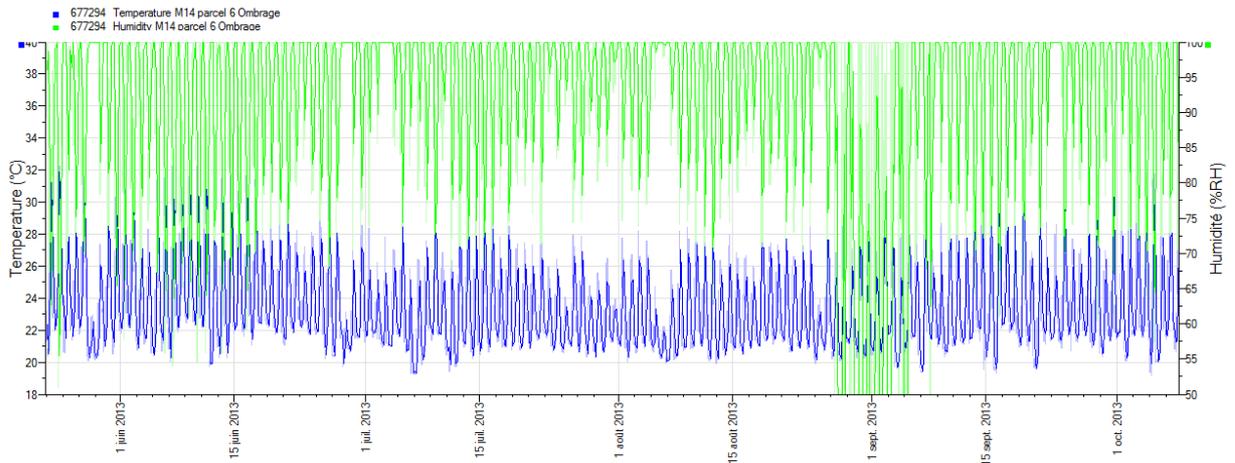
PO



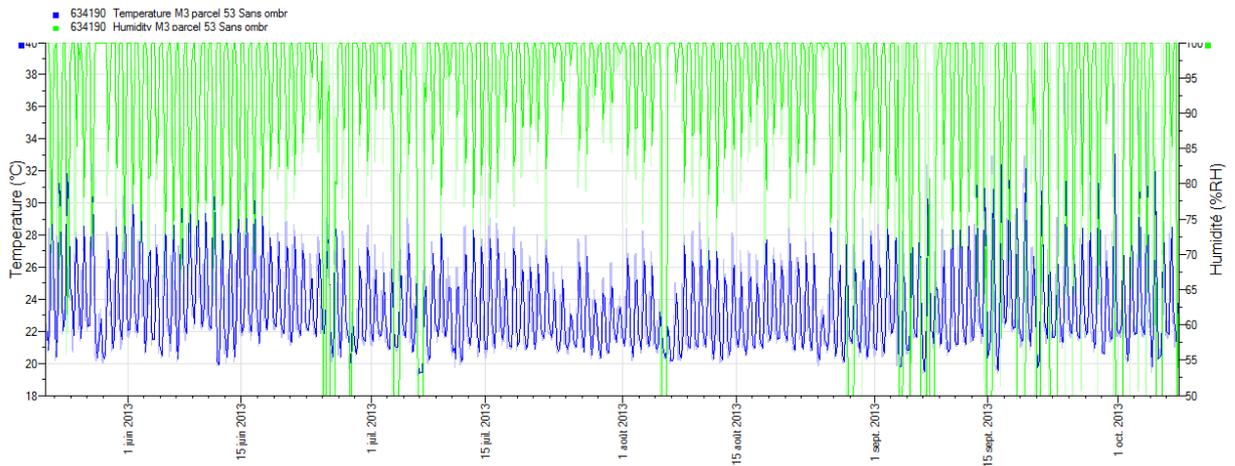
**Figure 2:** Graphiques des températures et de l'humidité relative



parcelle 2 PO



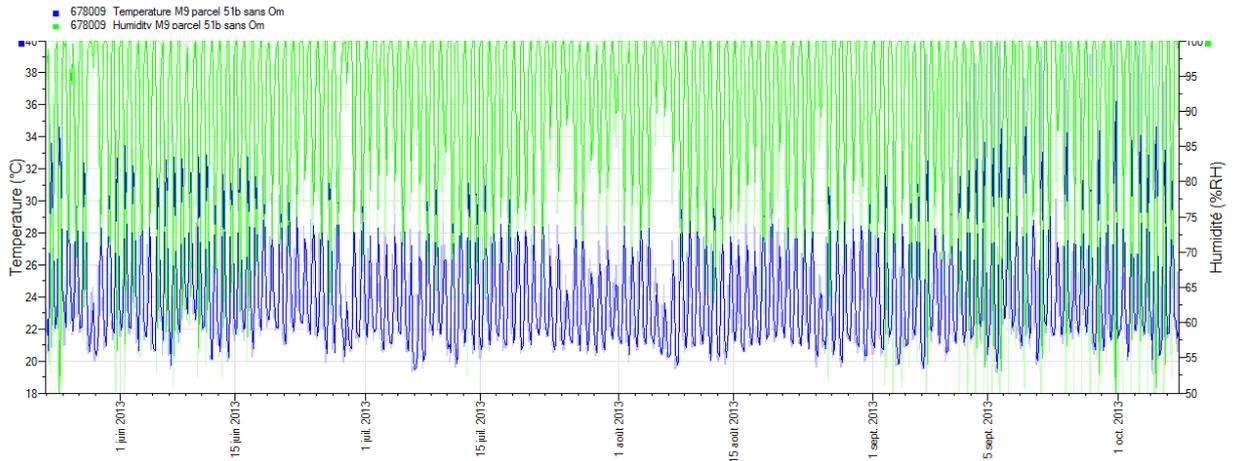
parcelle 3 MO



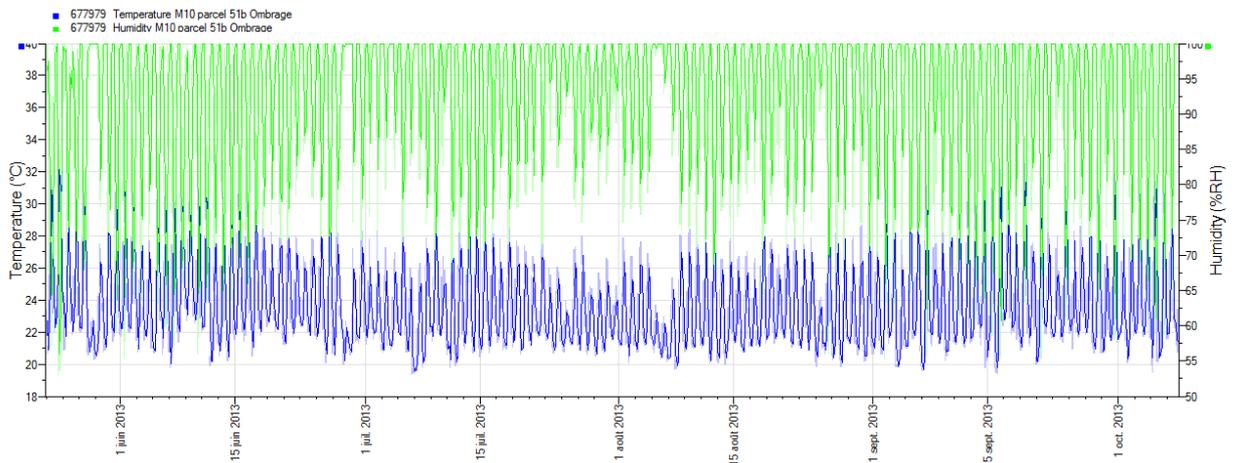
Parcelle 3 PO



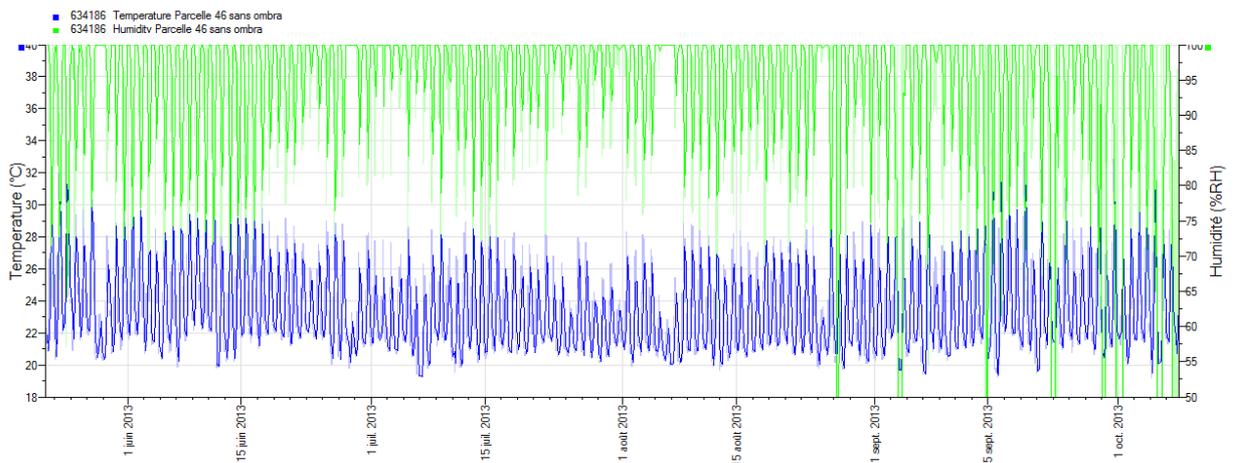
### parcelle 5 MO



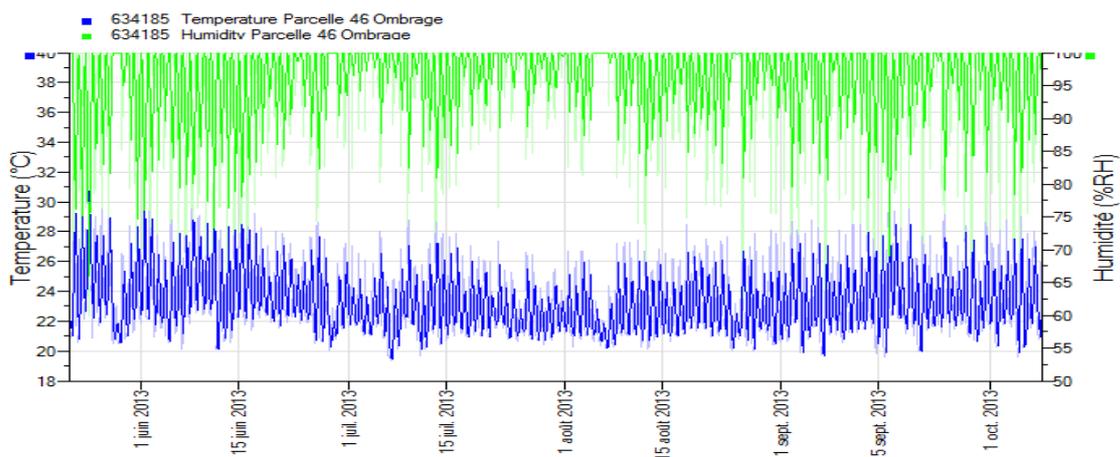
### parcelle 5 PO



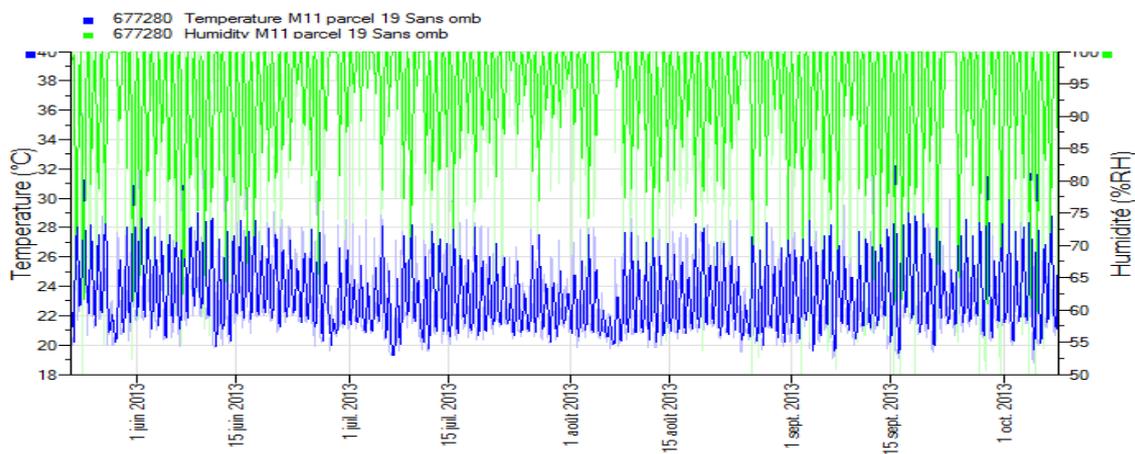
### parcelle 6 MO



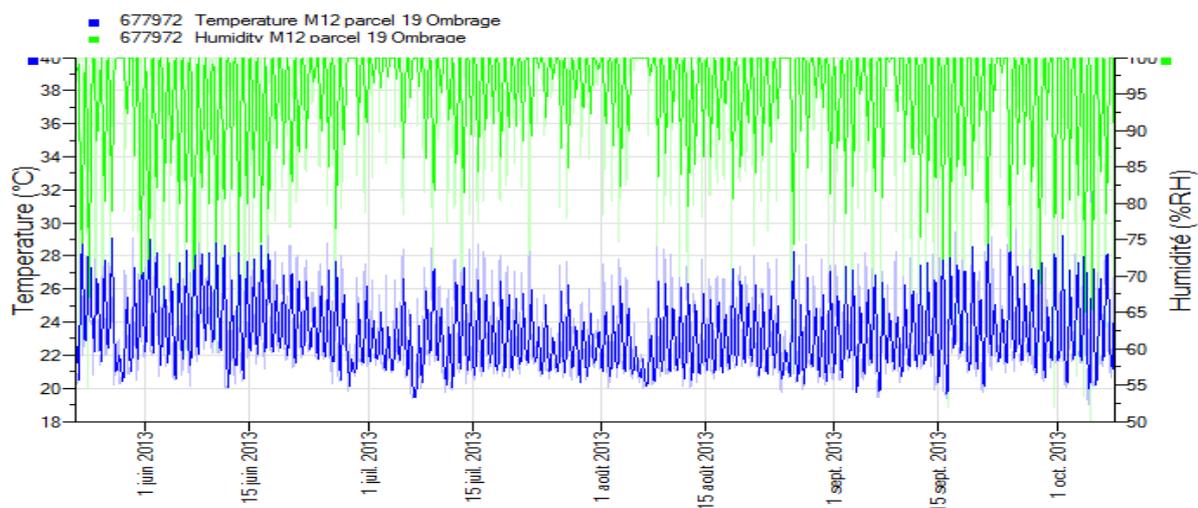
### parcelle 6 PO



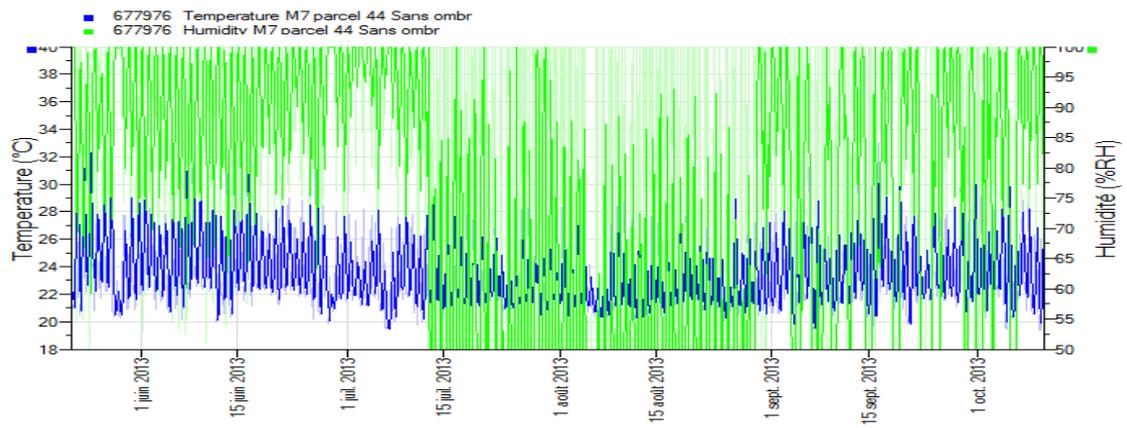
### parcelle 7 MO



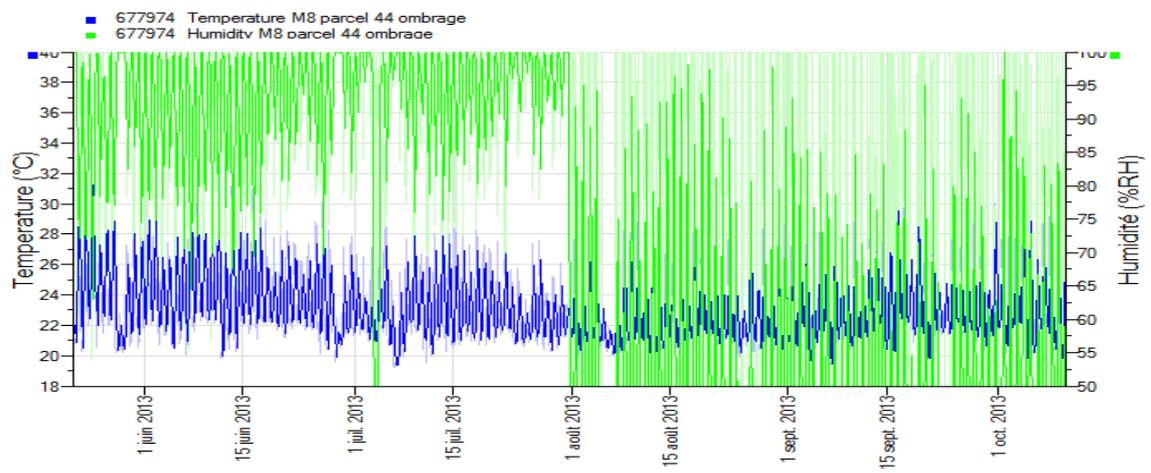
### parcelle 7 PO



### parcelle 8 MO

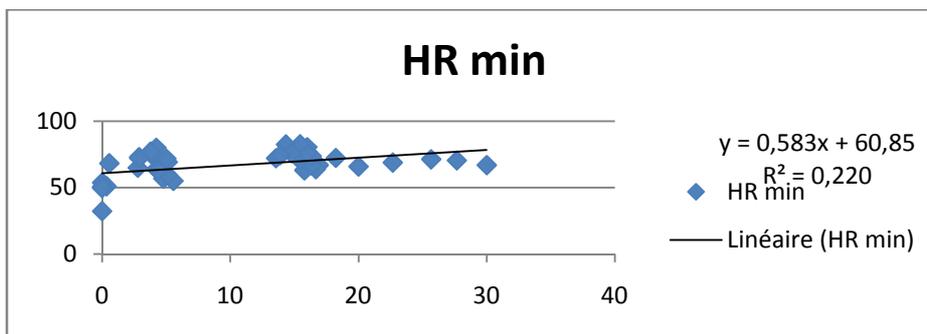
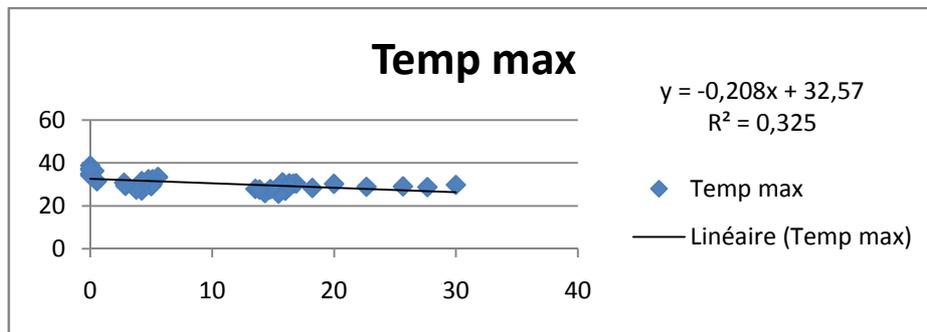


### parcelle 8 PO

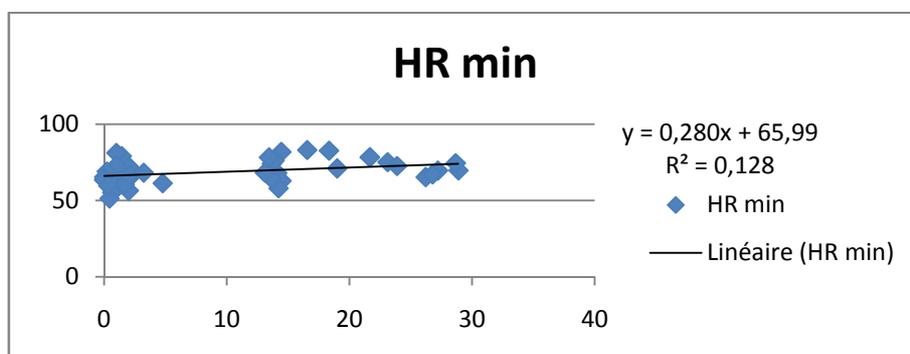
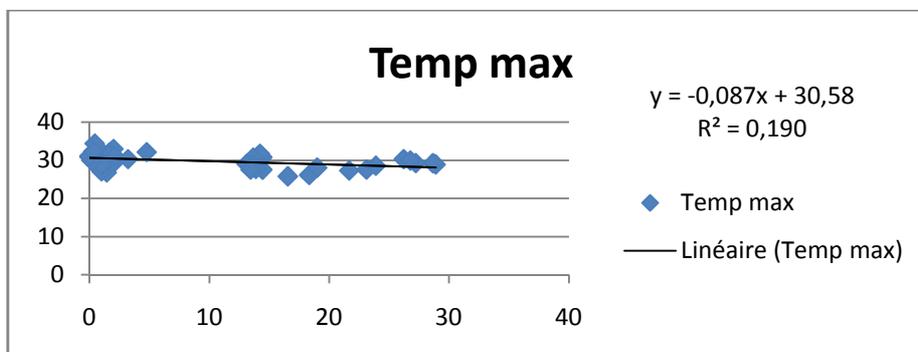


**Figure 3** : Relation entre le nombre d'heure d'ombrage et le microclimat

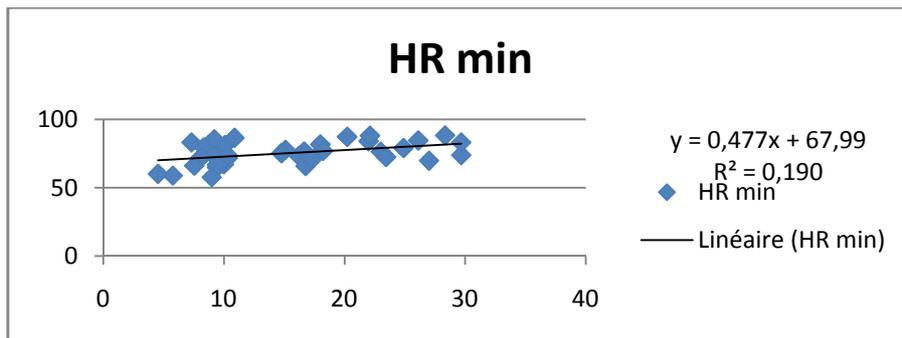
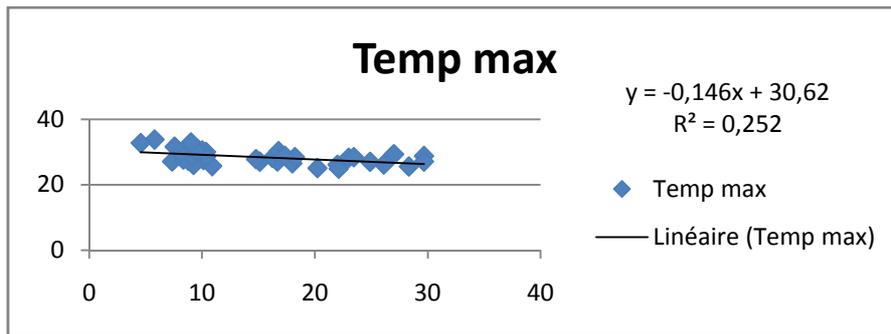
Parcelle 1



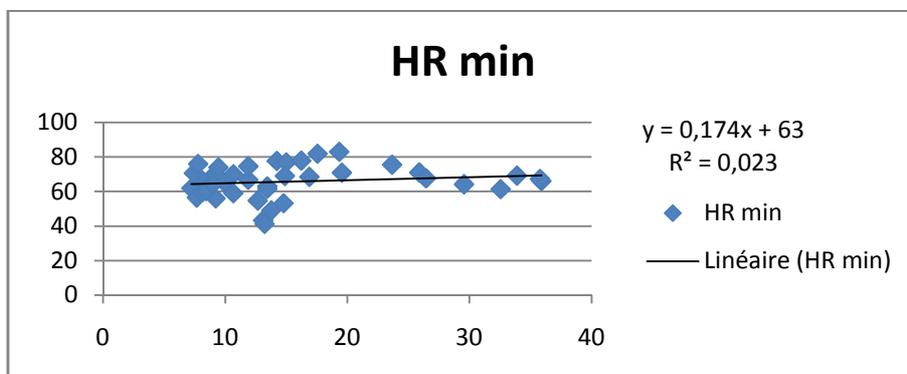
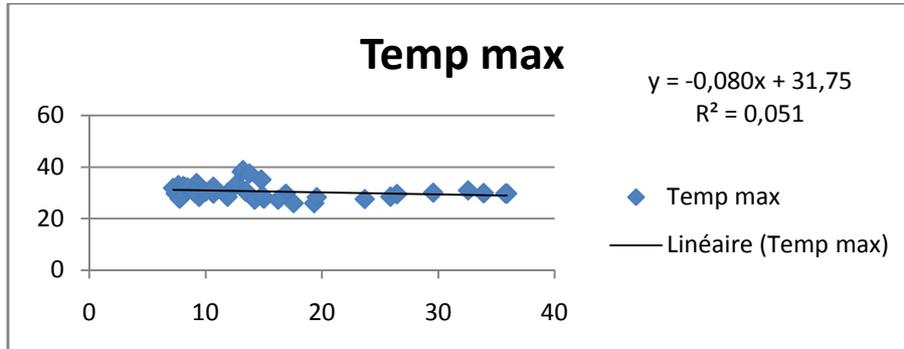
Parcelle 2



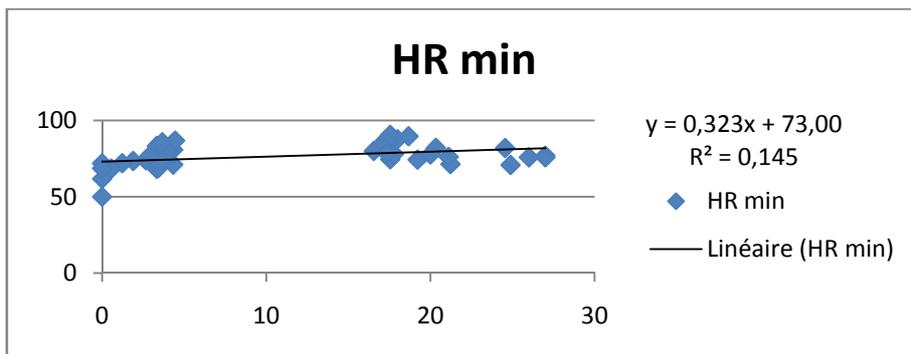
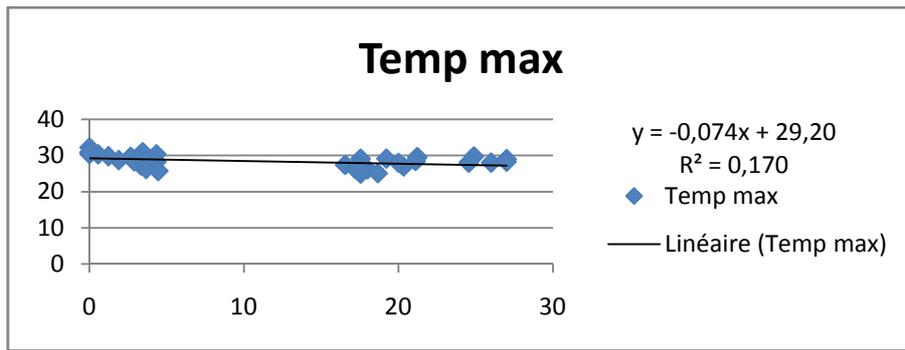
### Parcelle 3



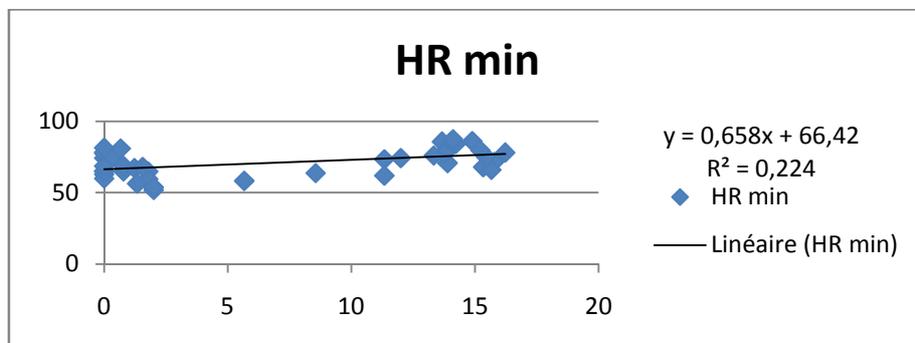
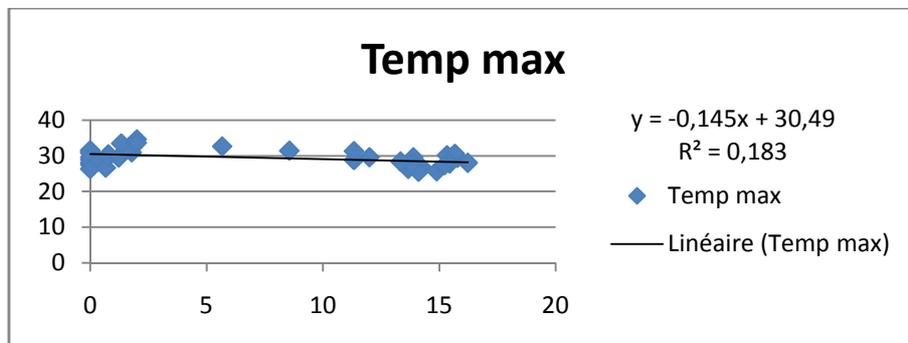
### Parcelle 5



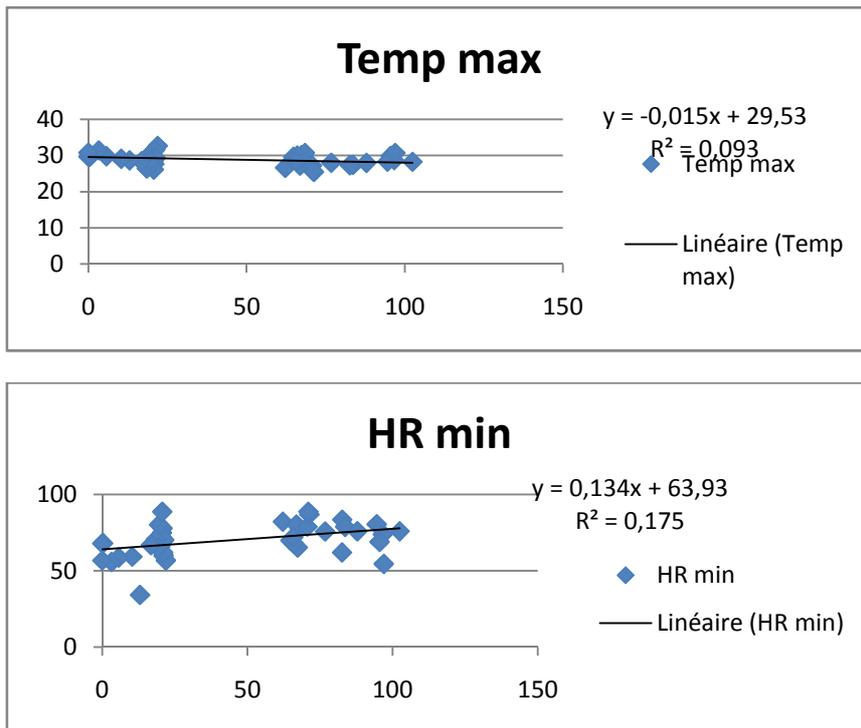
### Parcelle 6



### Parcelle 7



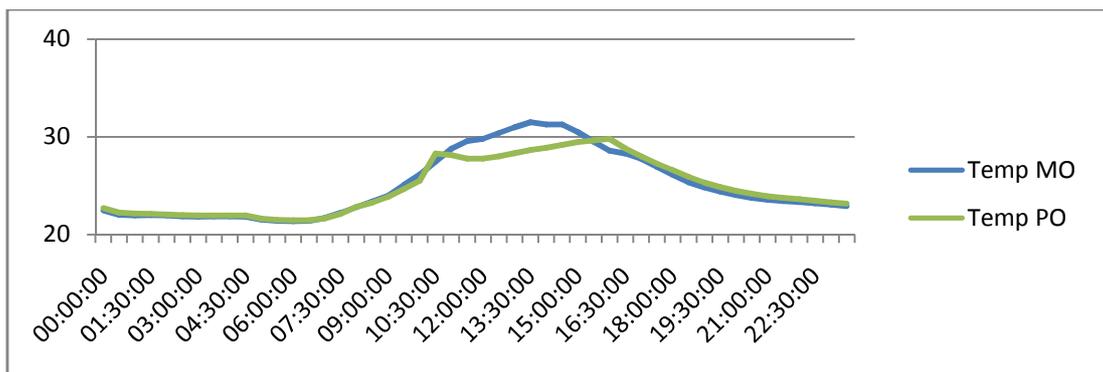
### Parcelle 8

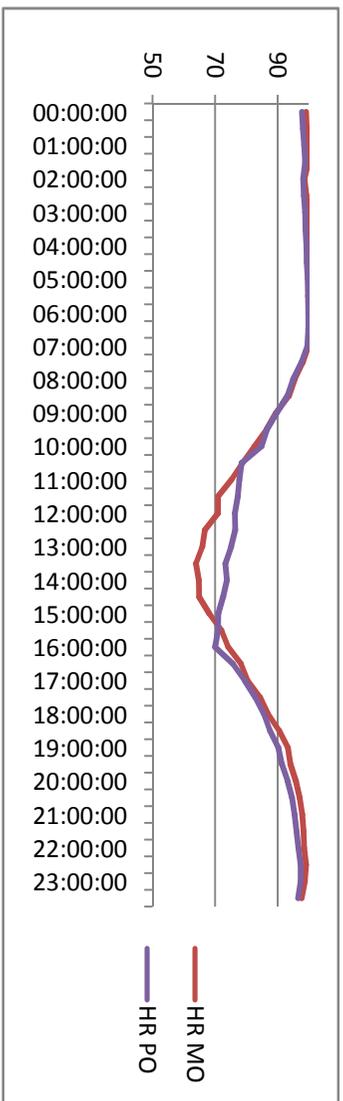


**Figure 4 :** Graphiques de variation des températures et de l'humidité relative moyenne en fonction des heures de la journée

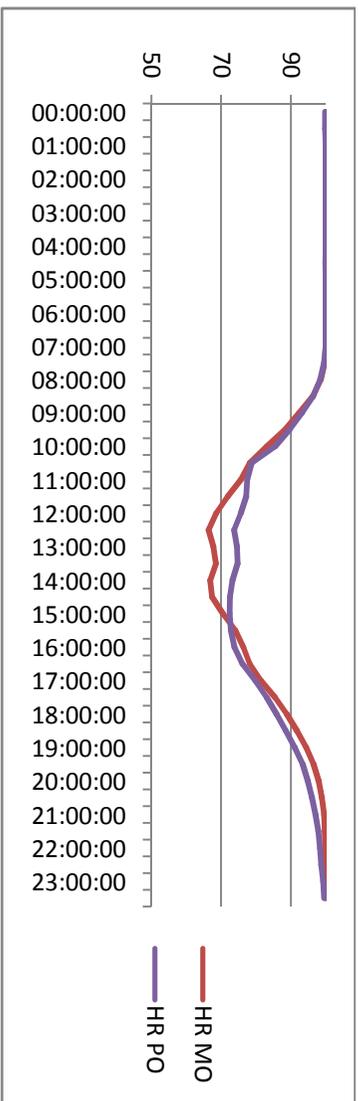
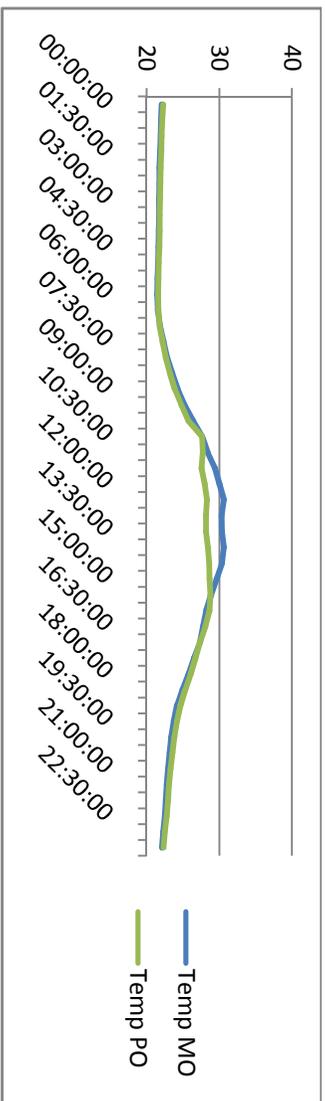
### Parcelle 1

Mai

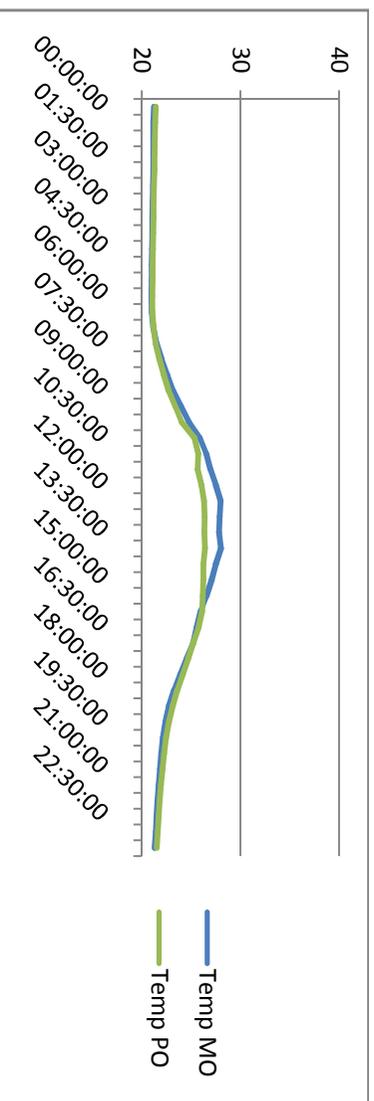


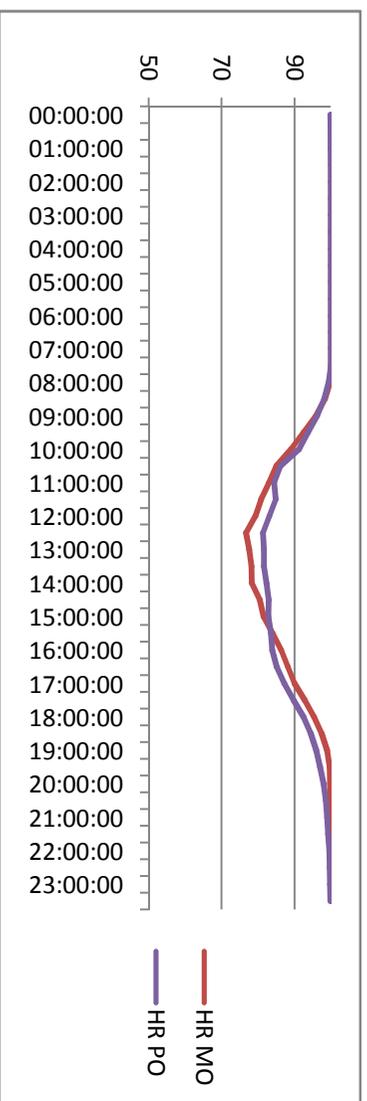


Juin

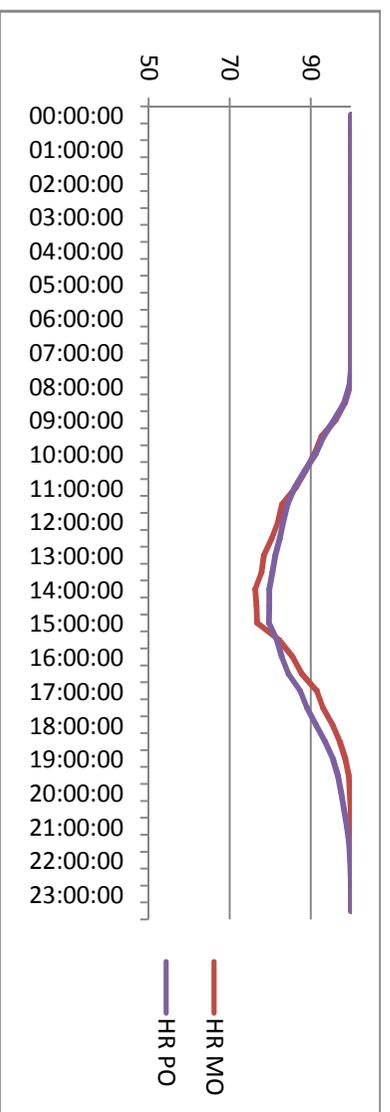
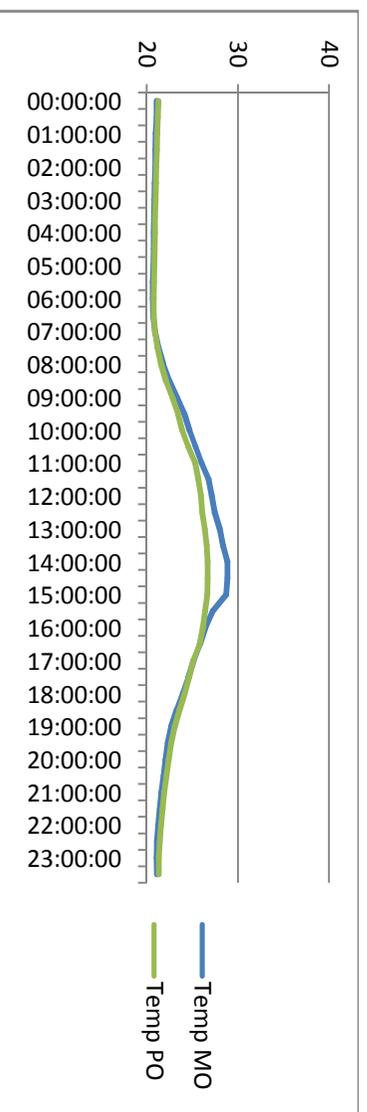


Juillet

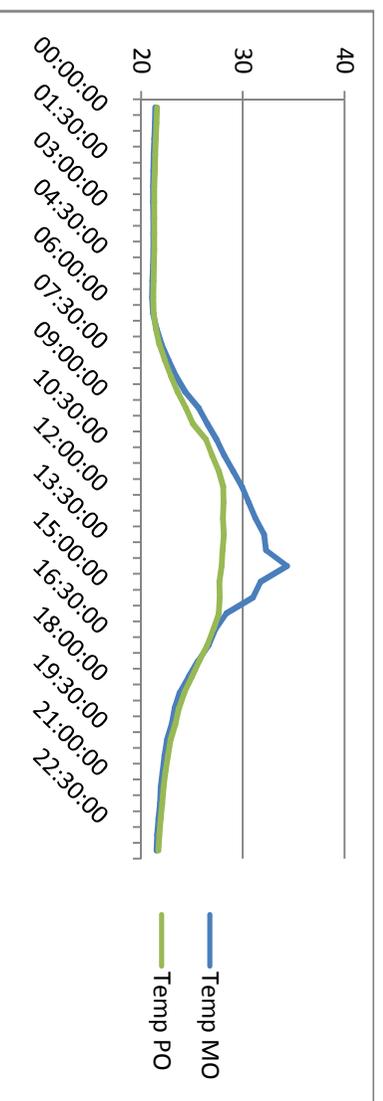


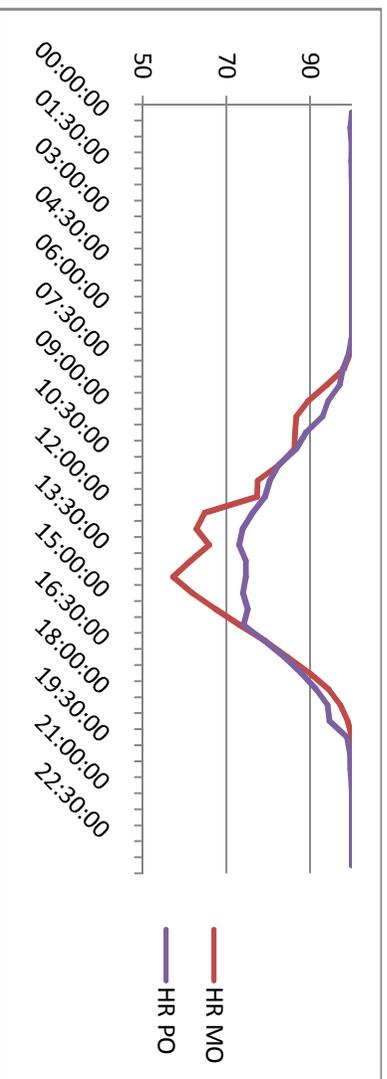
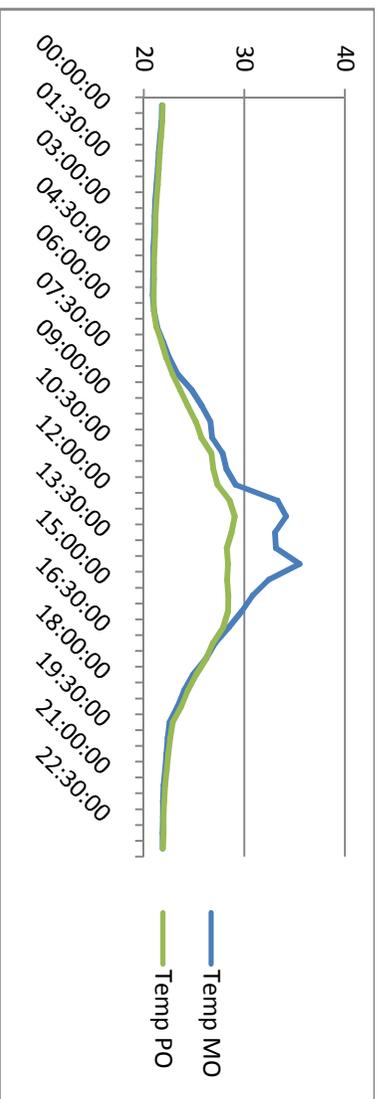
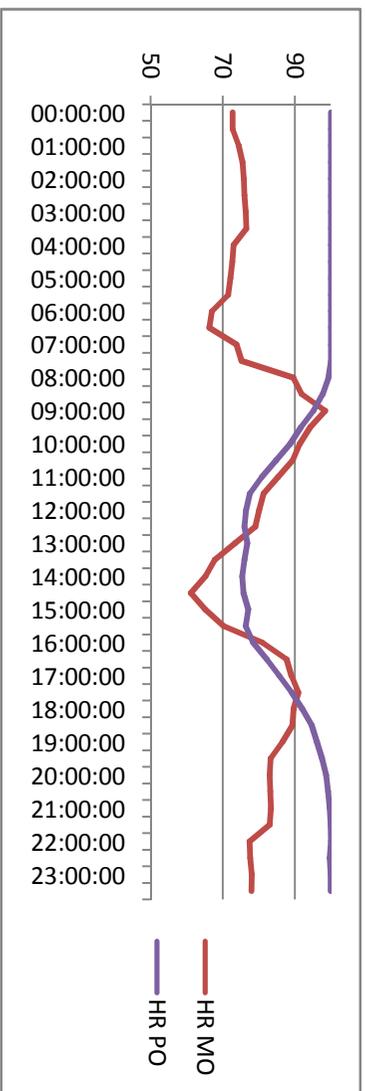


Août

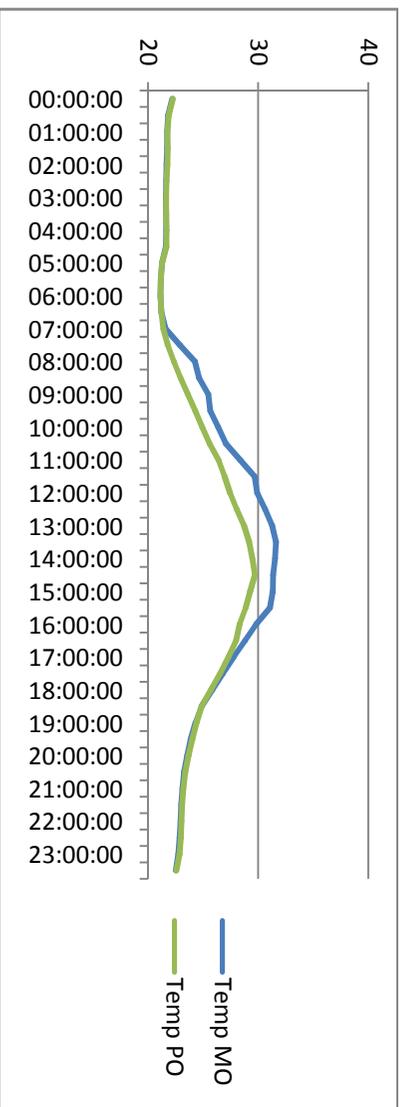


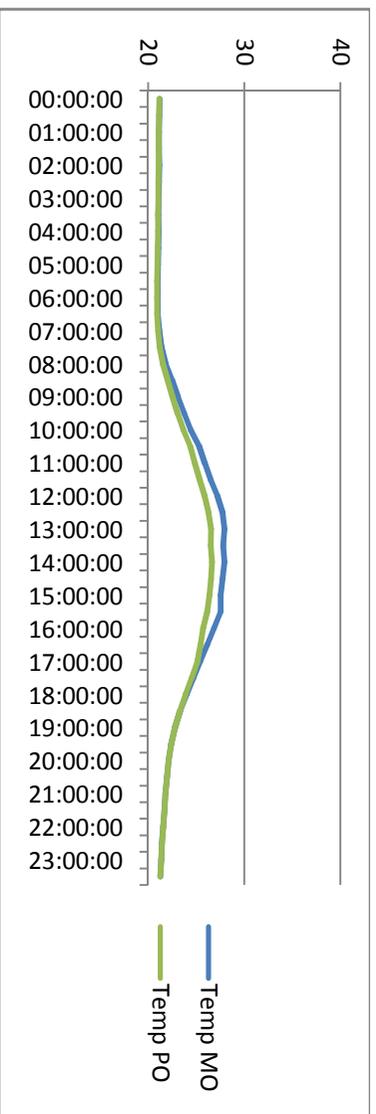
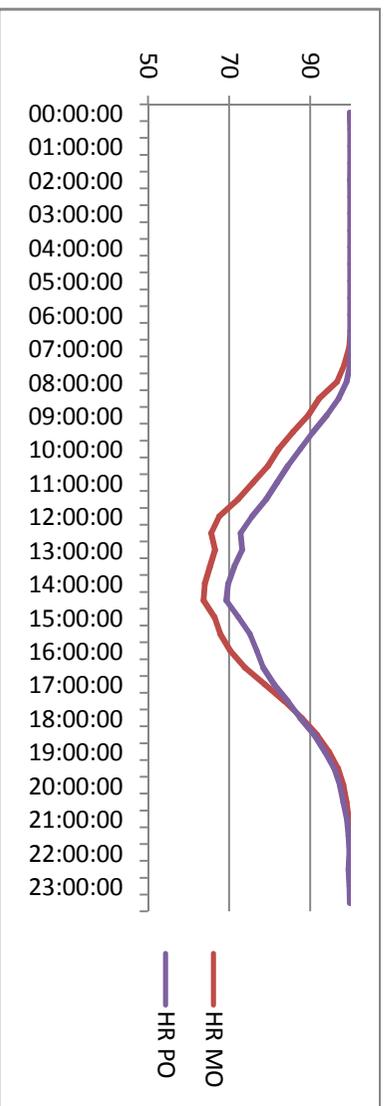
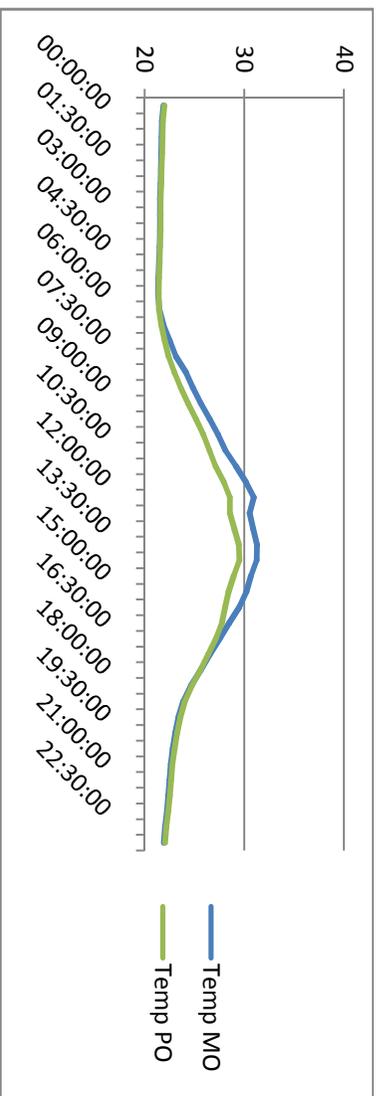
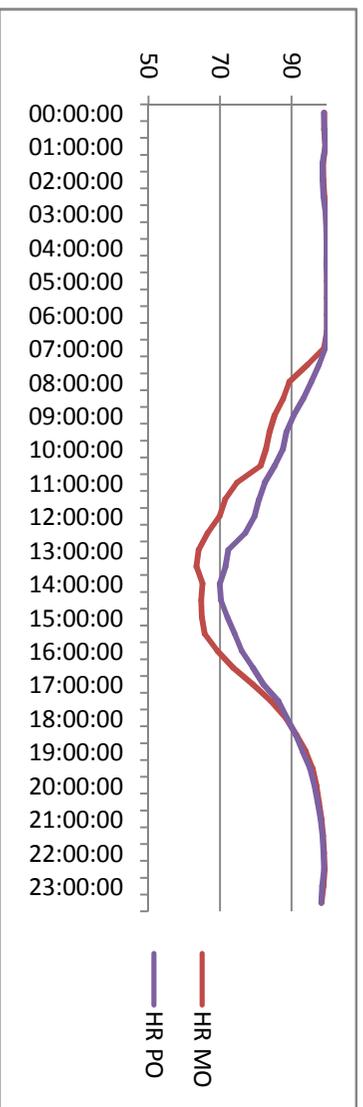
Septembre

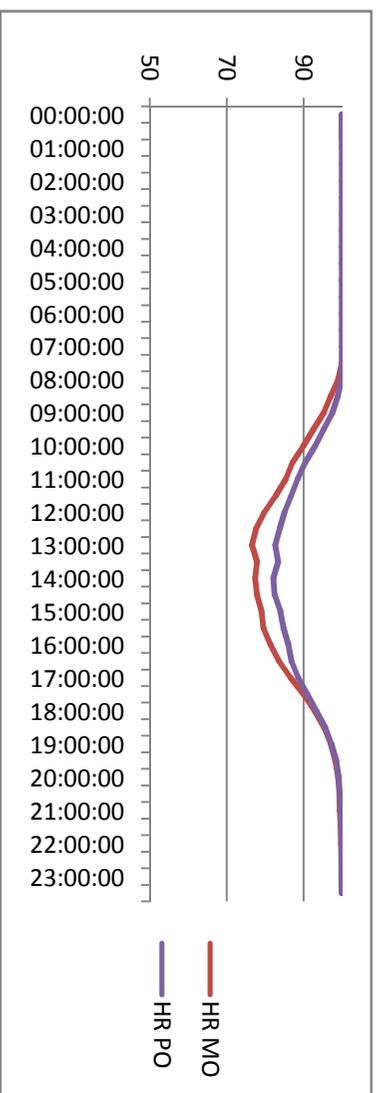




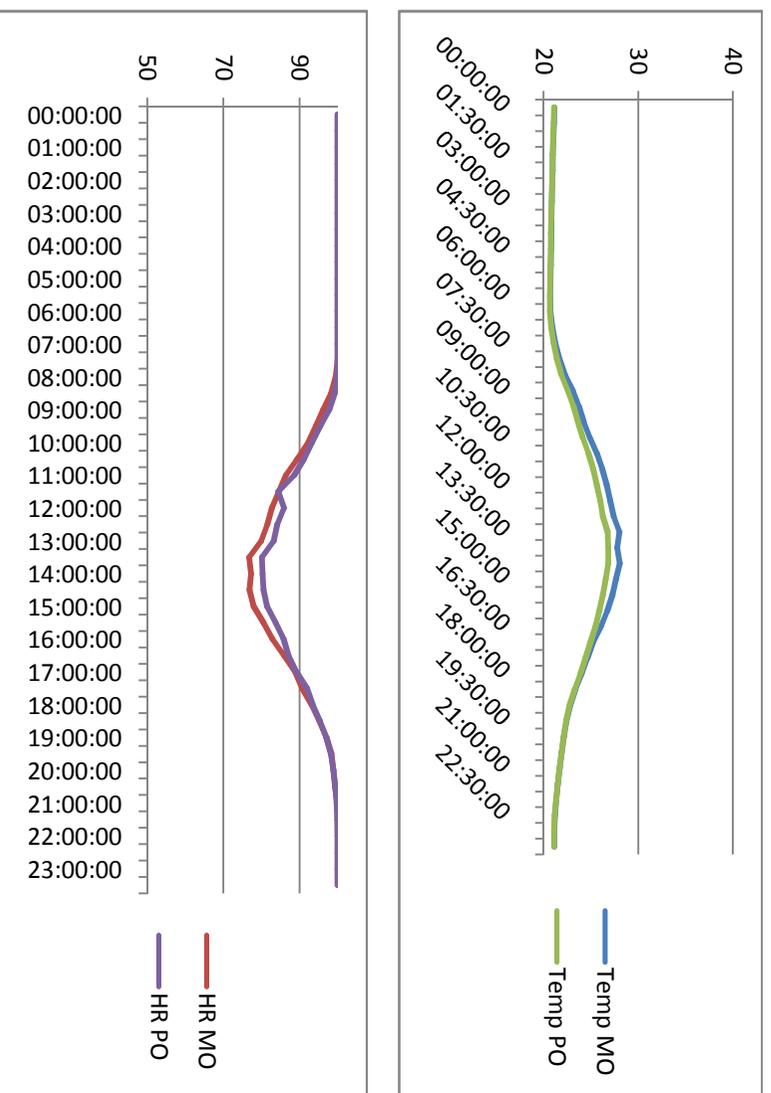
Mai



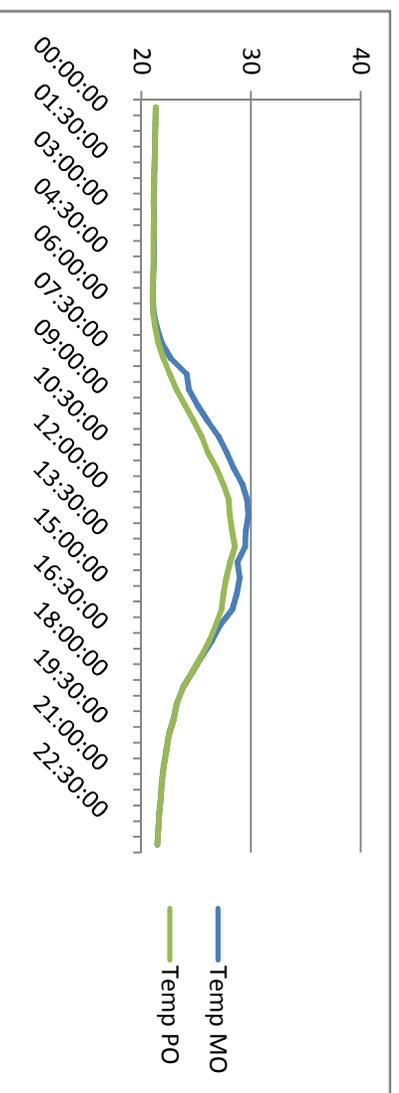


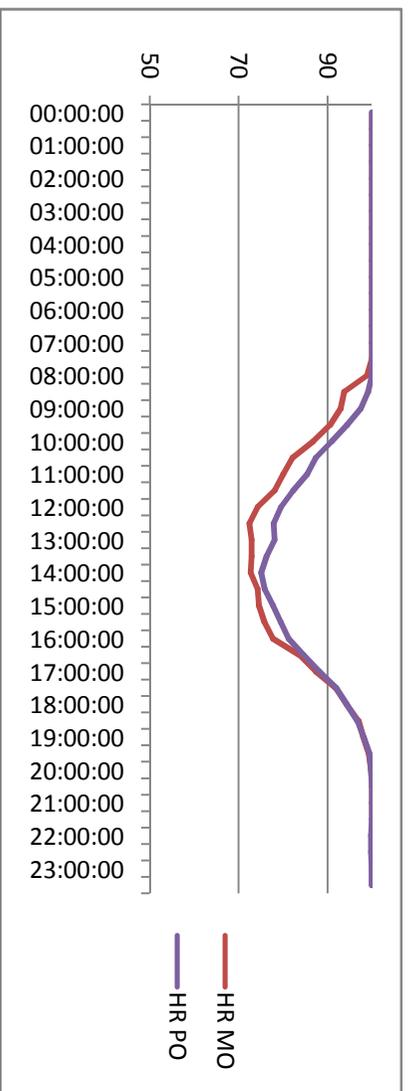


Août

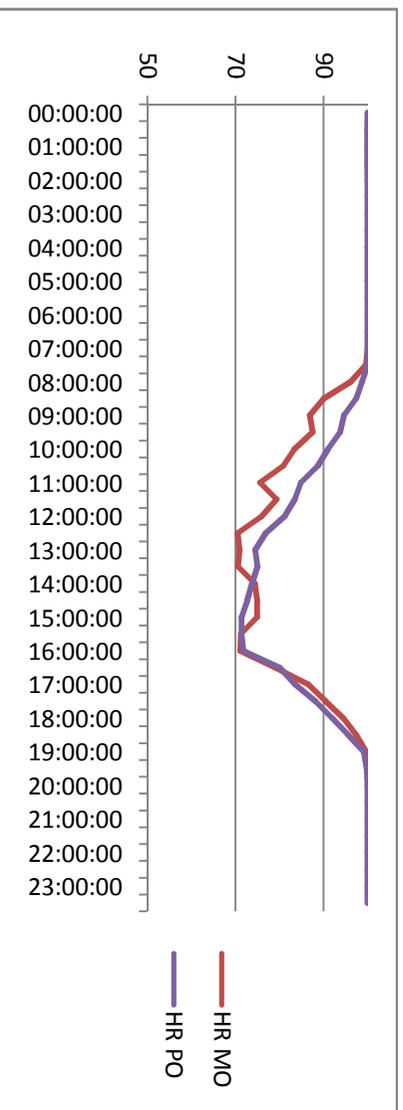
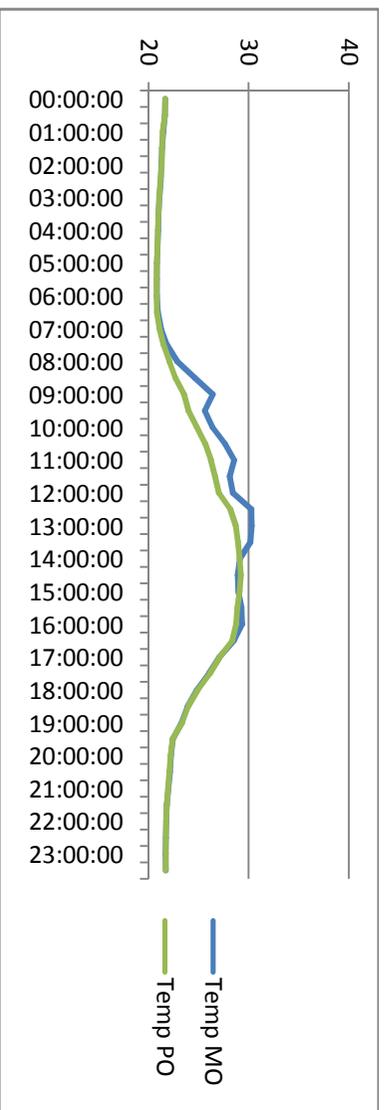


Septembre



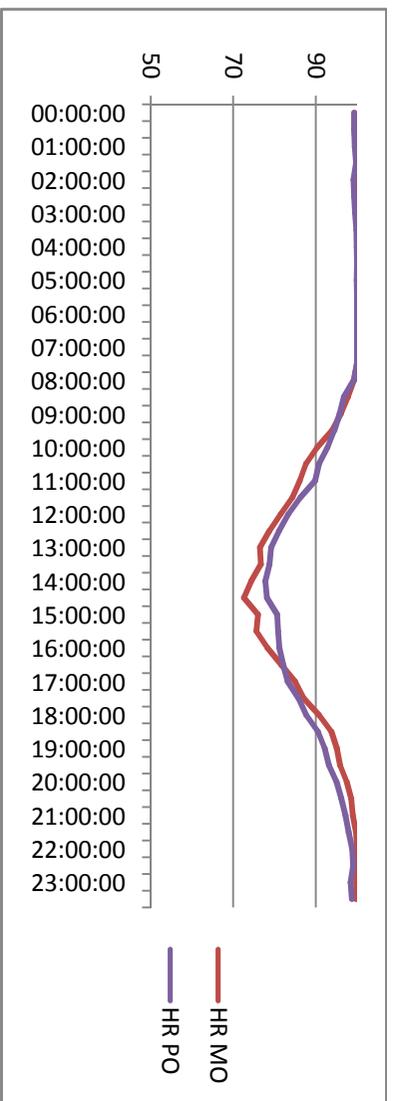
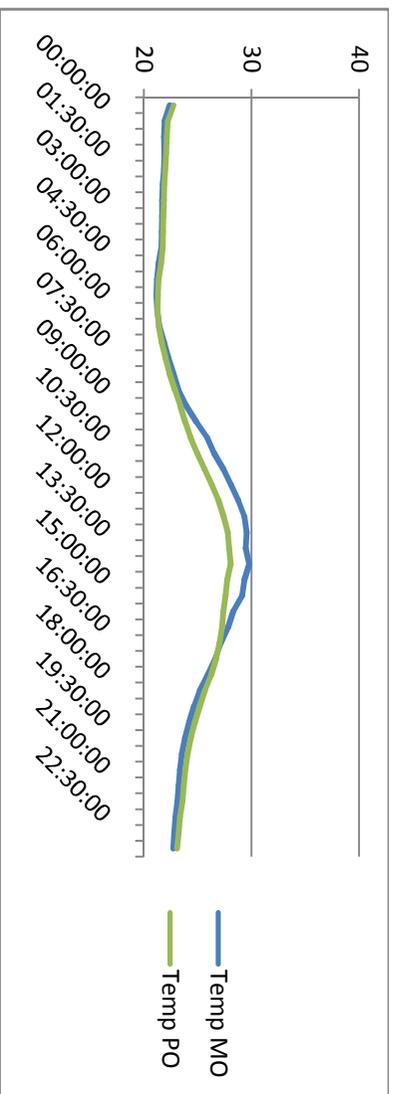


Octobre

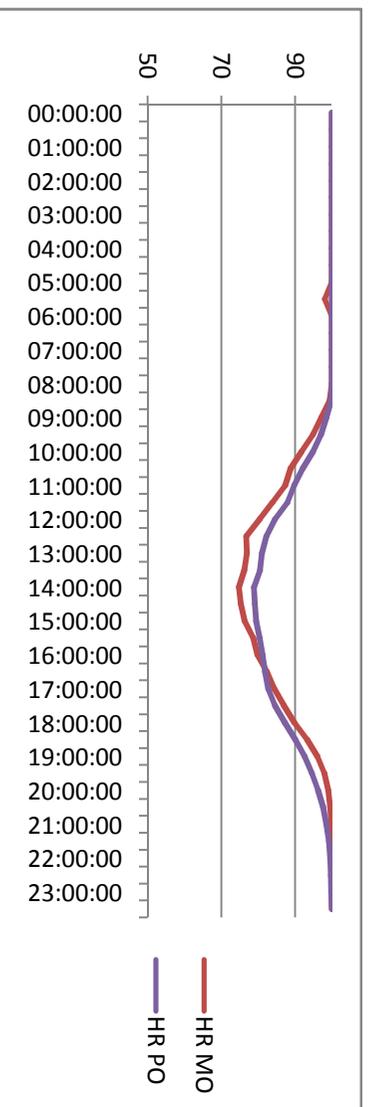
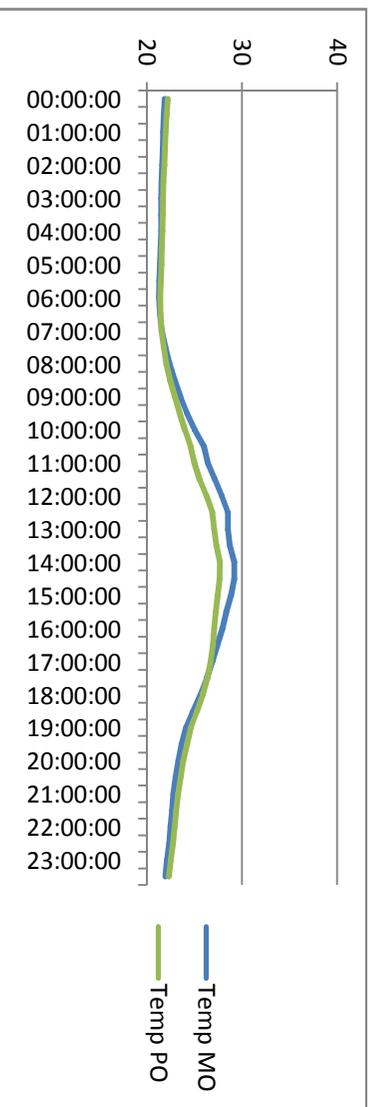


Parcelle 3

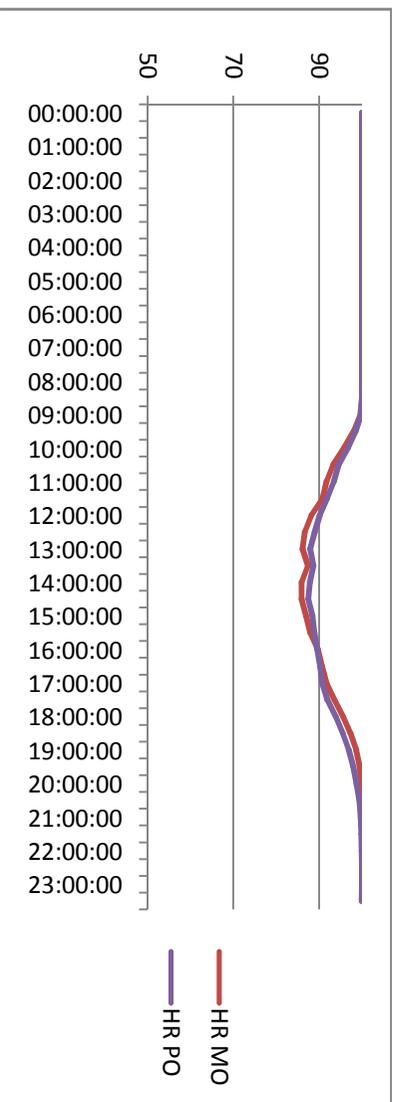
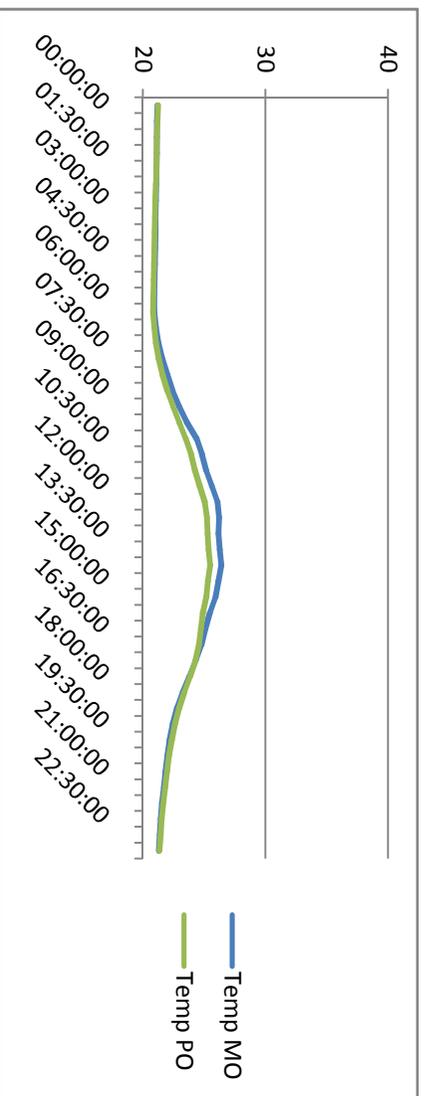
Mai



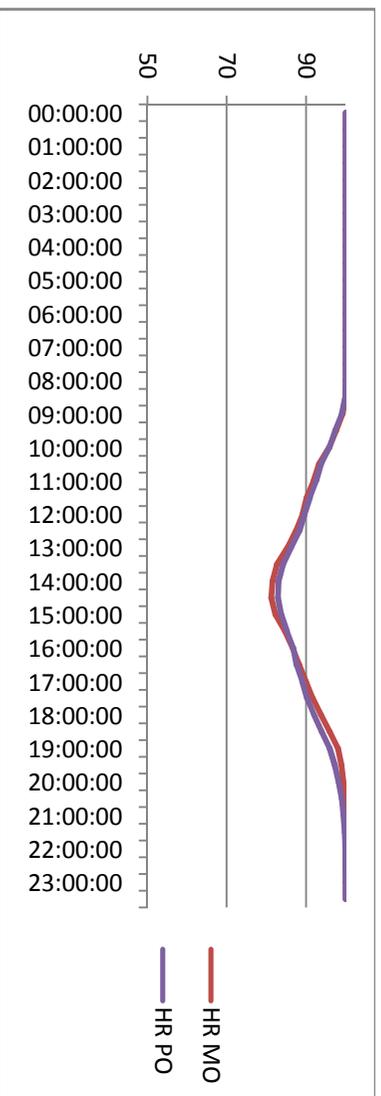
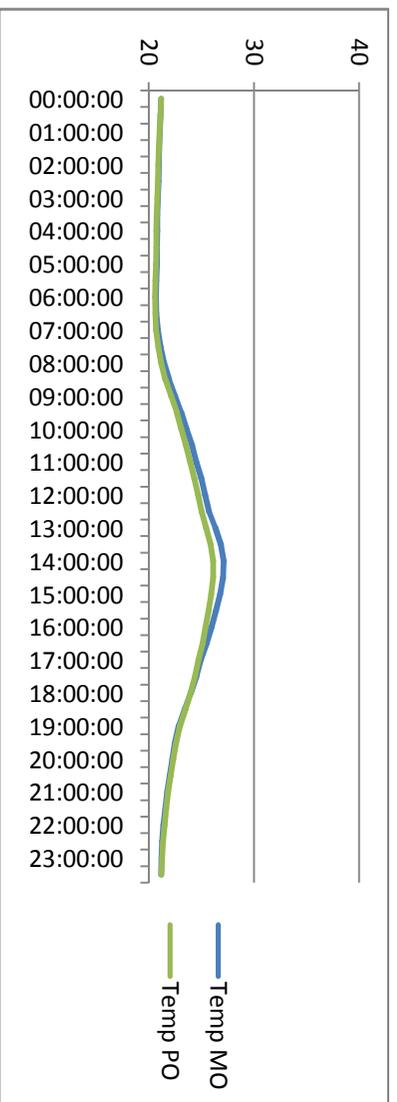
Juin



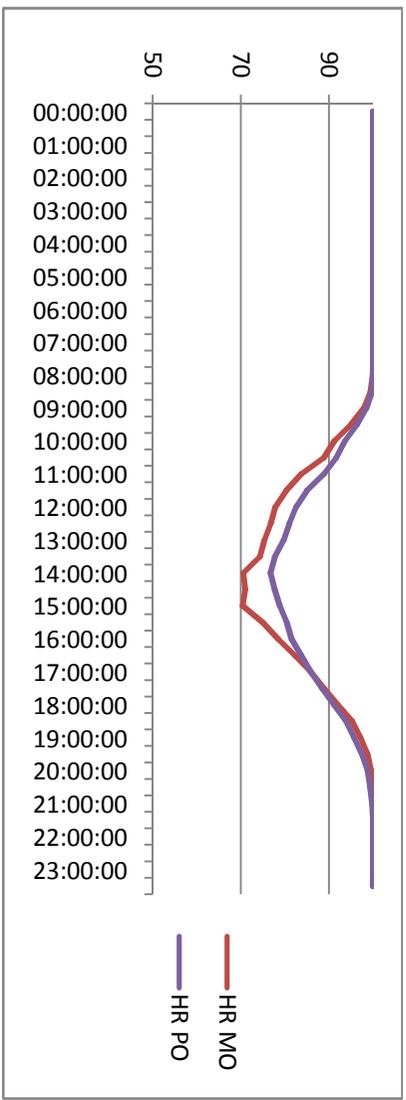
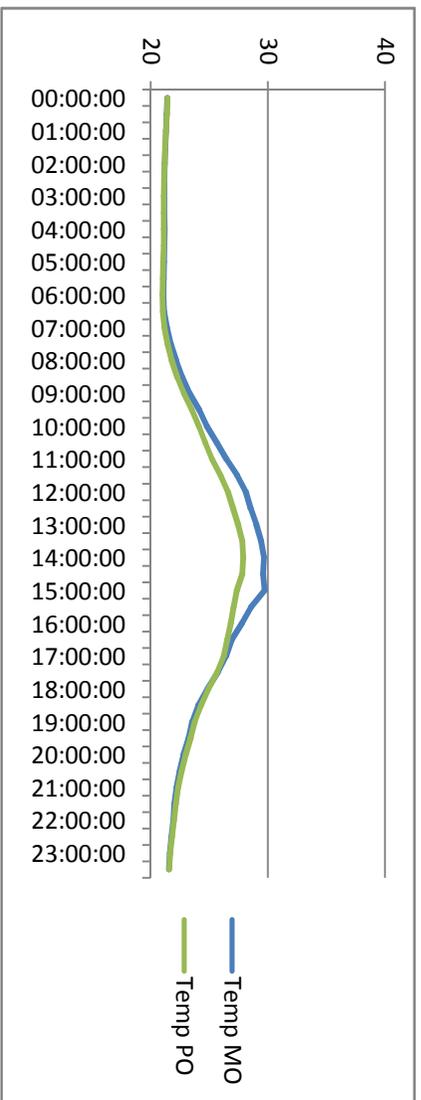
Juillet



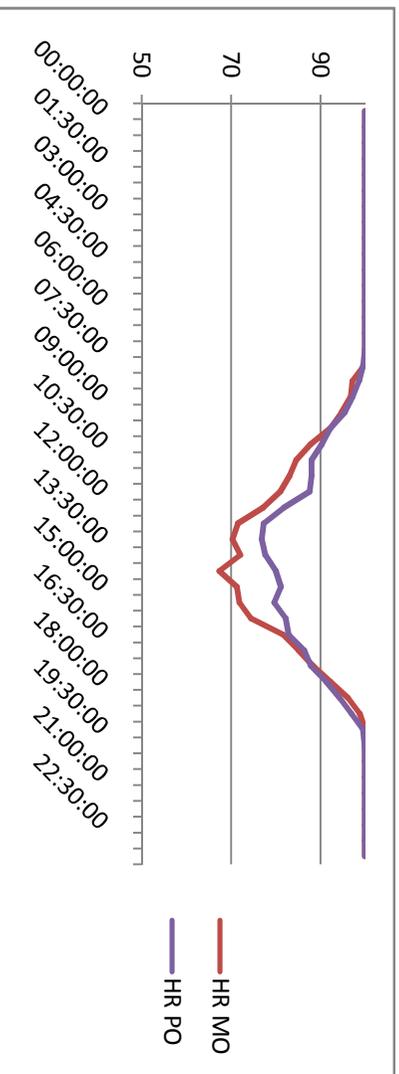
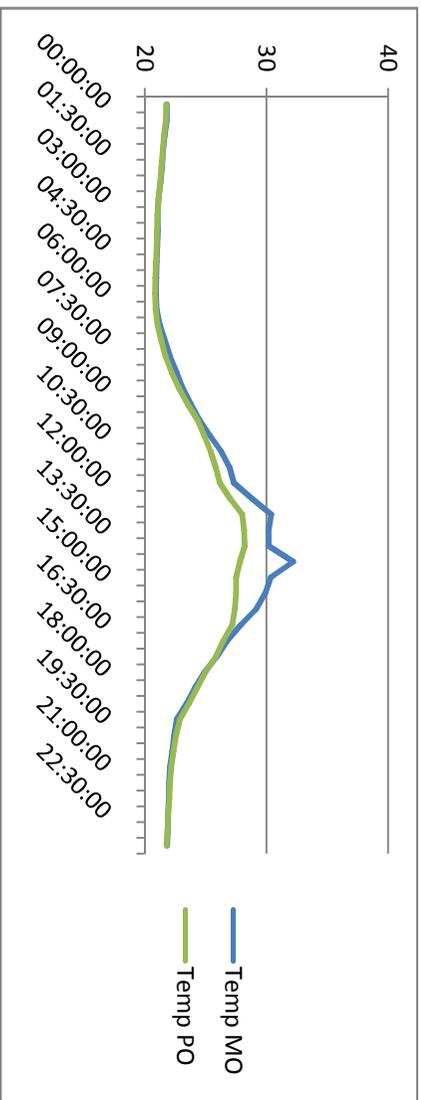
Août



Septembre

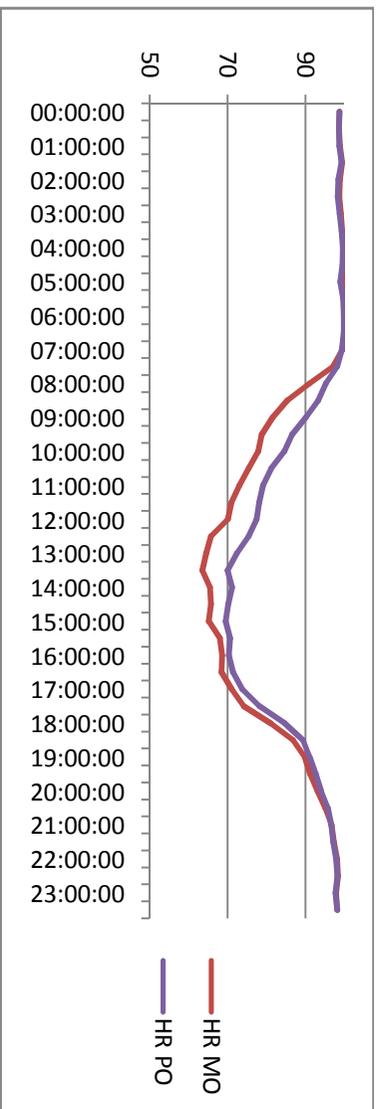
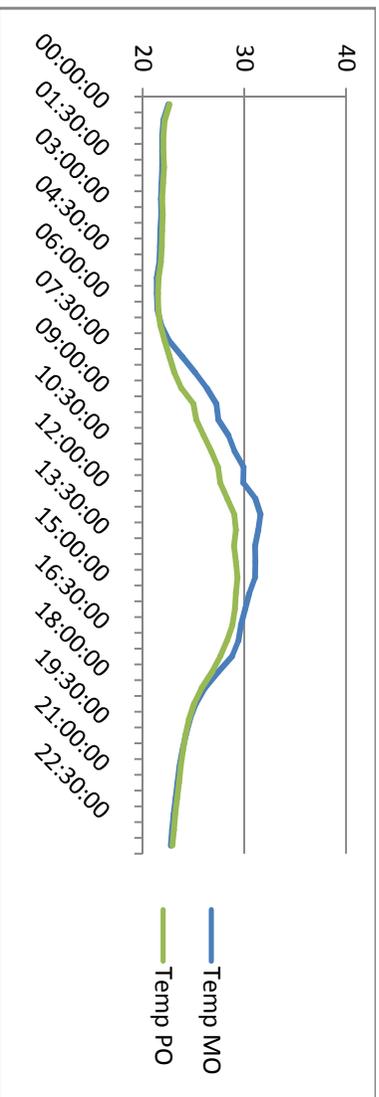


Octobre

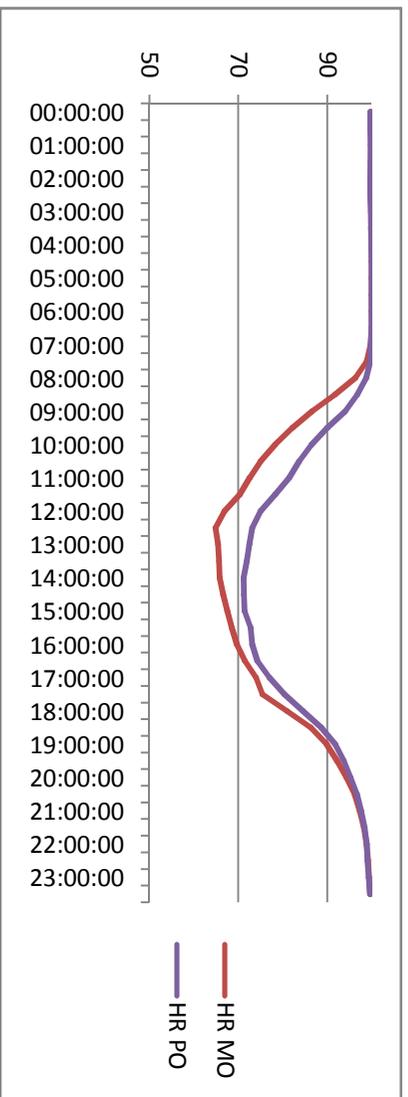
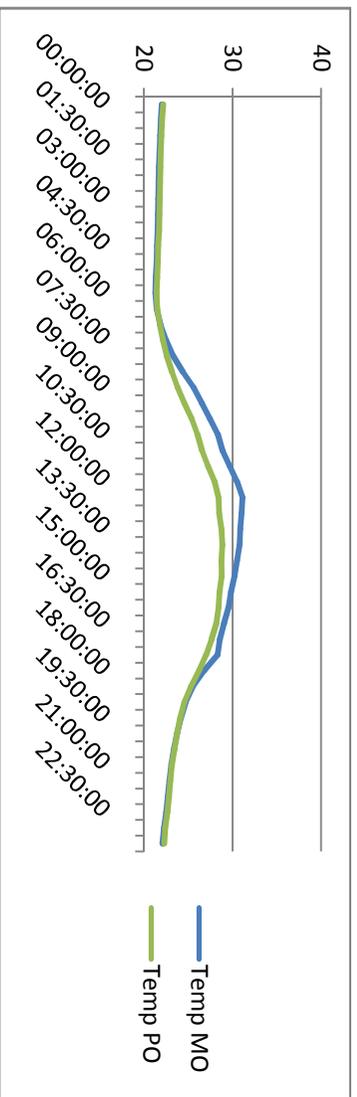


Parcelle 5

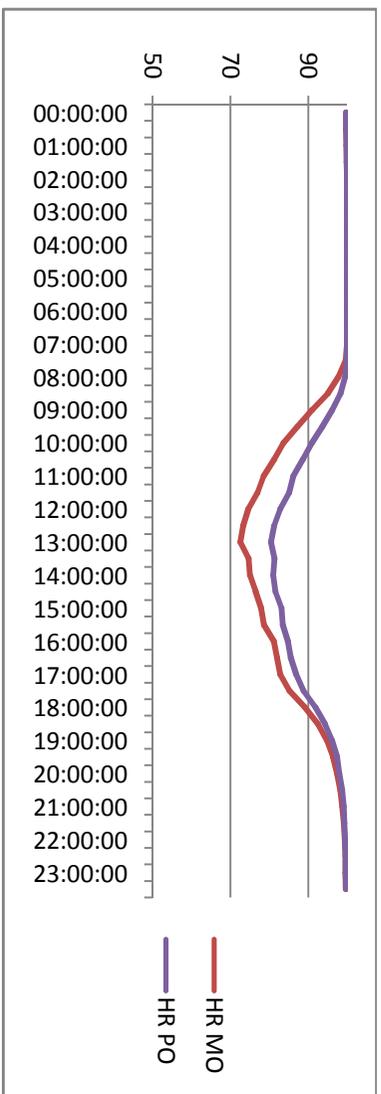
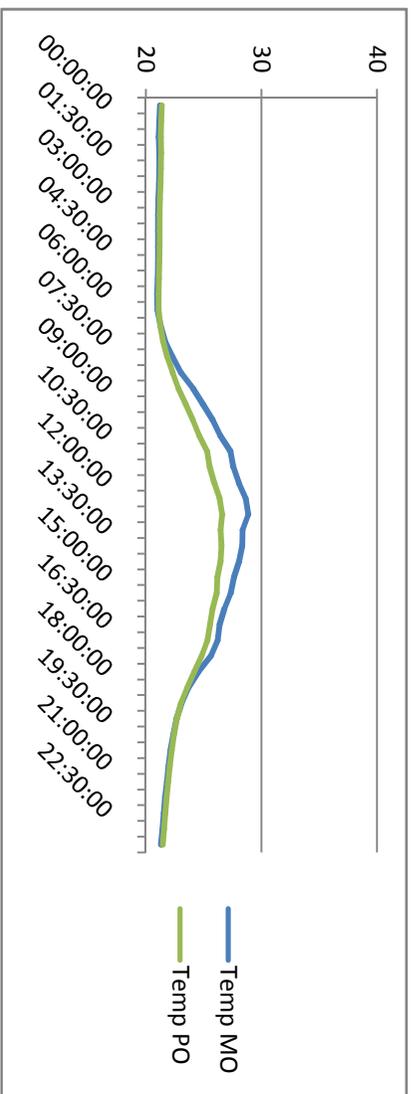
Mai



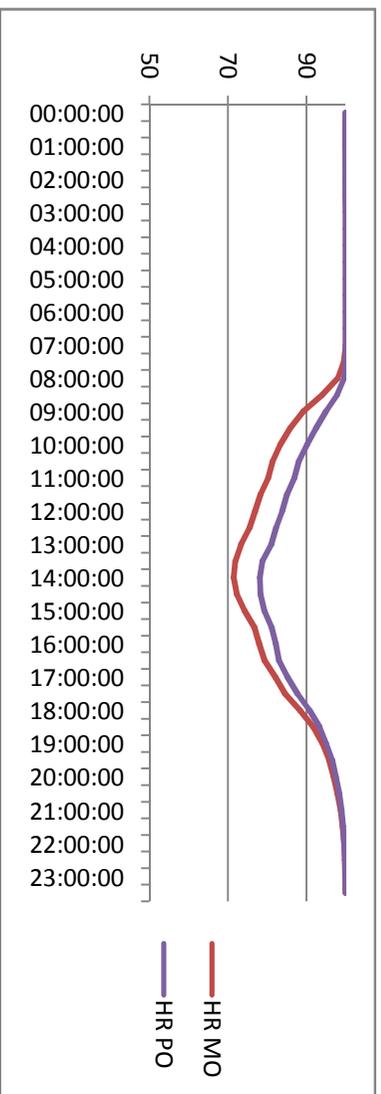
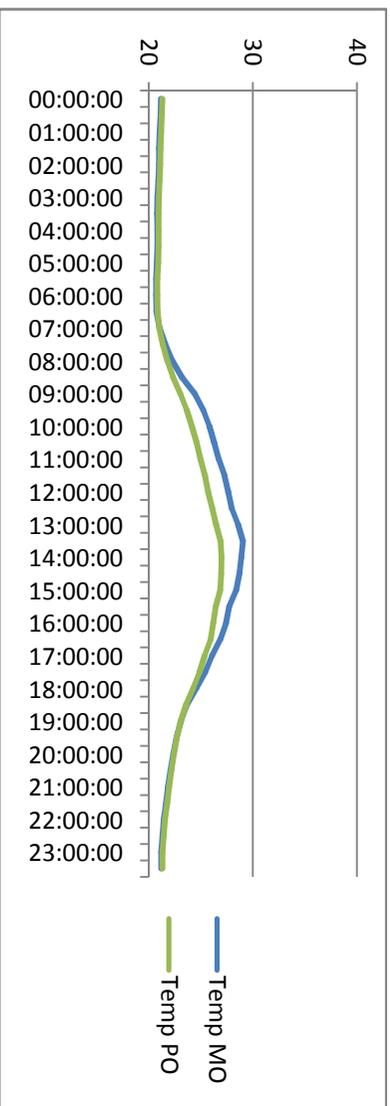
Juin



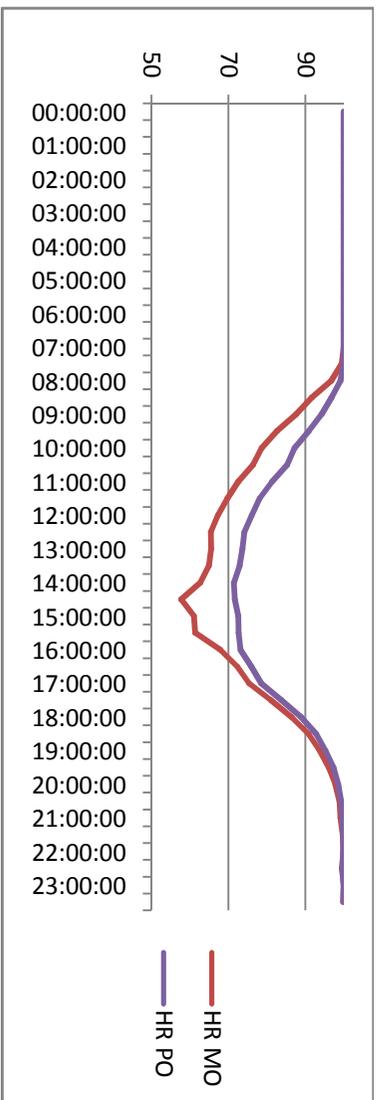
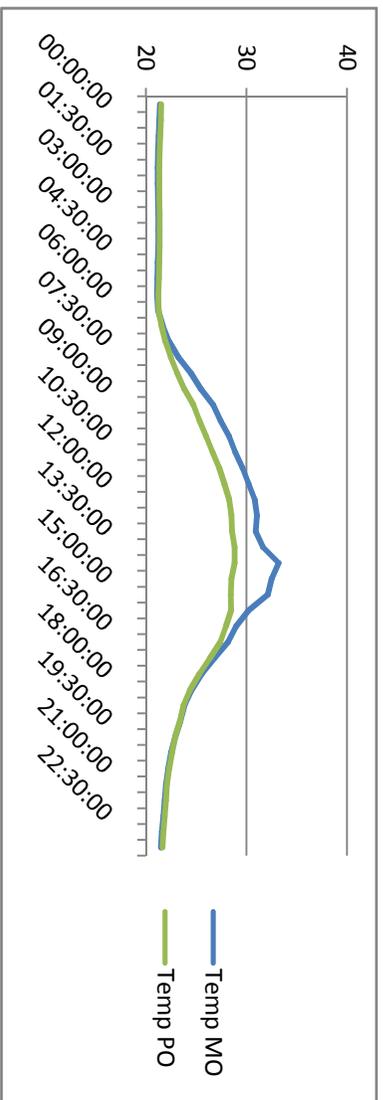
Juillet



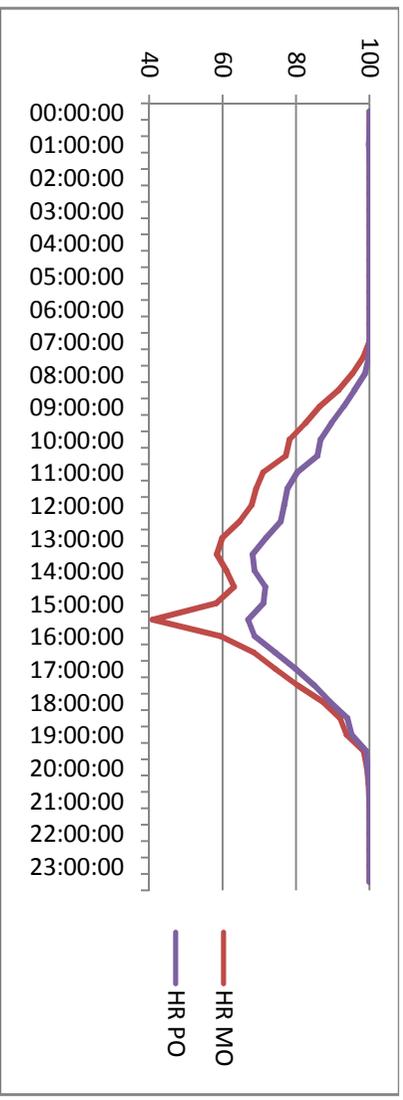
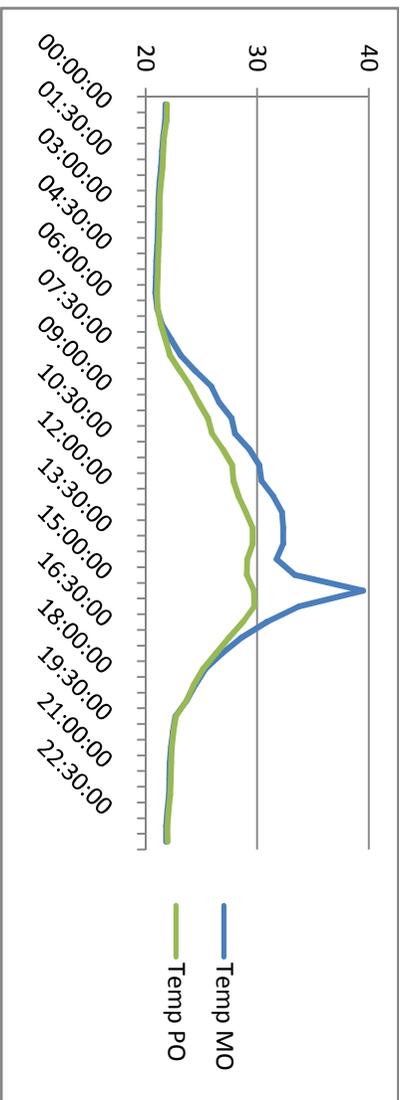
Août



Septembre

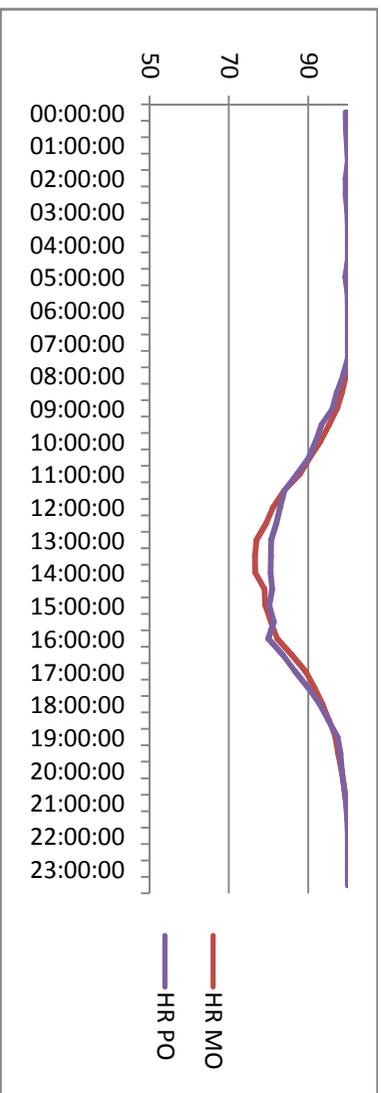
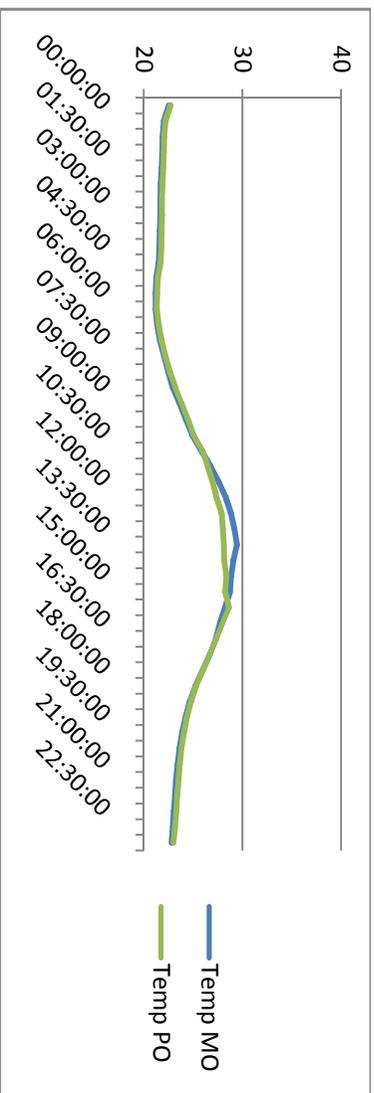


Octobre

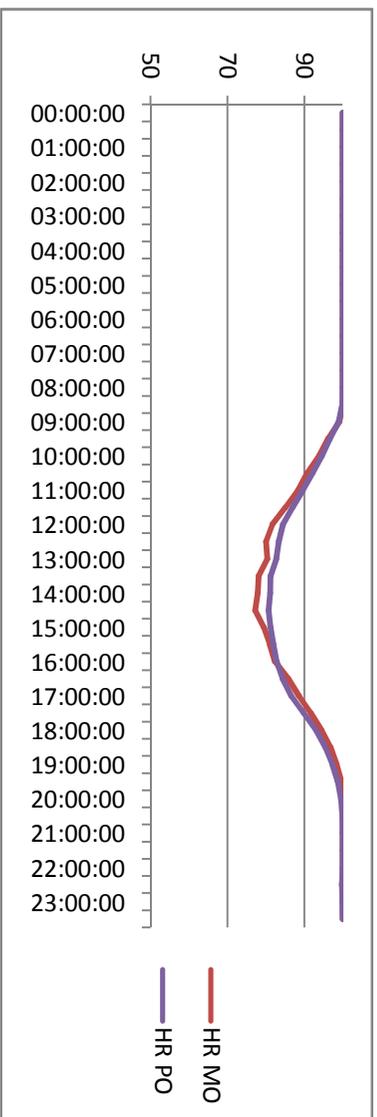
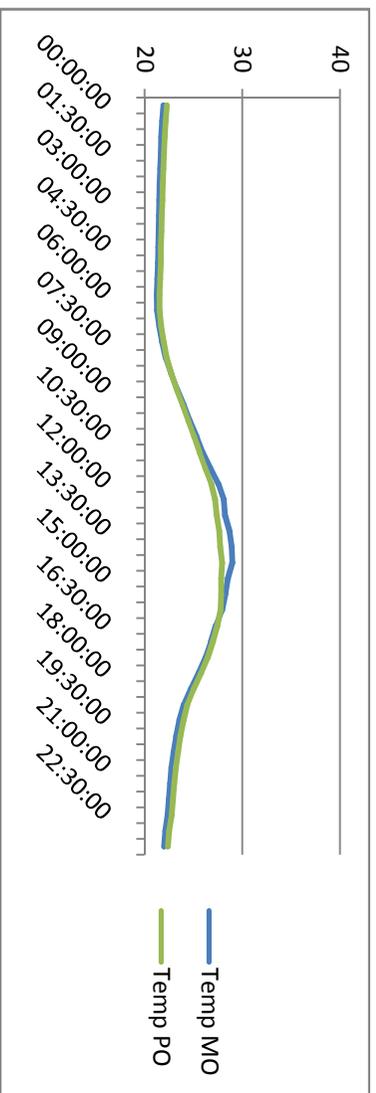


Parcelle 6

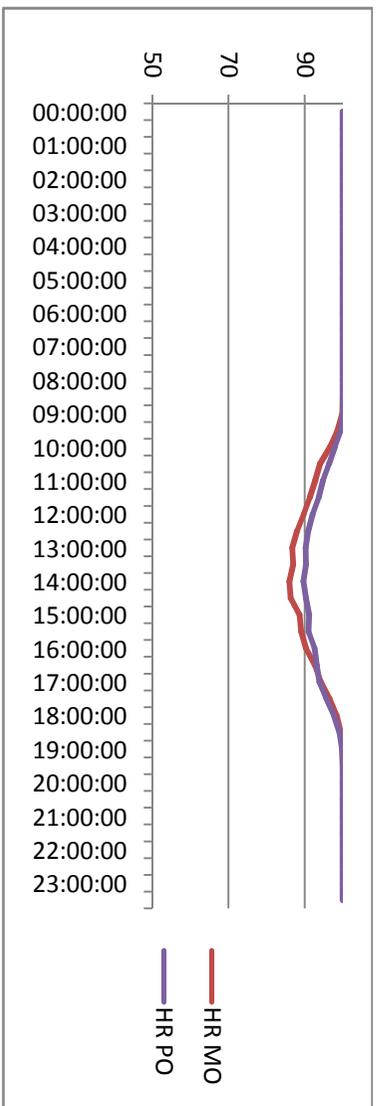
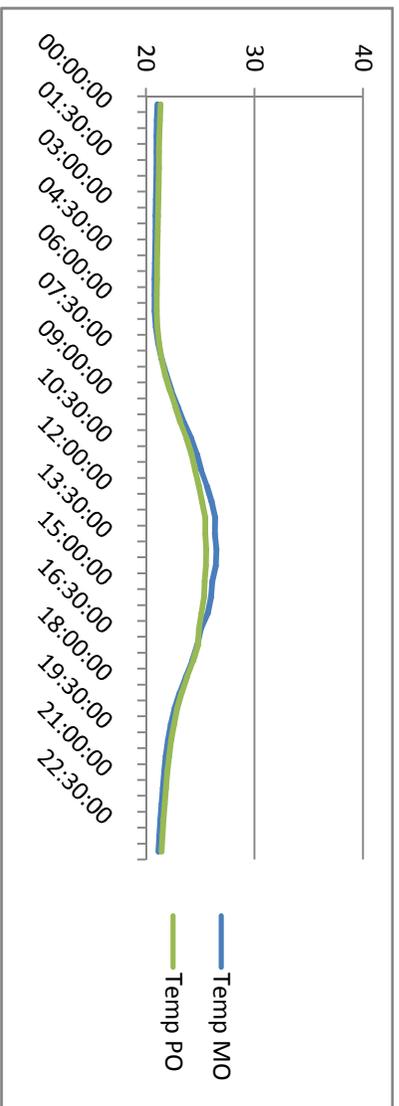
Mai



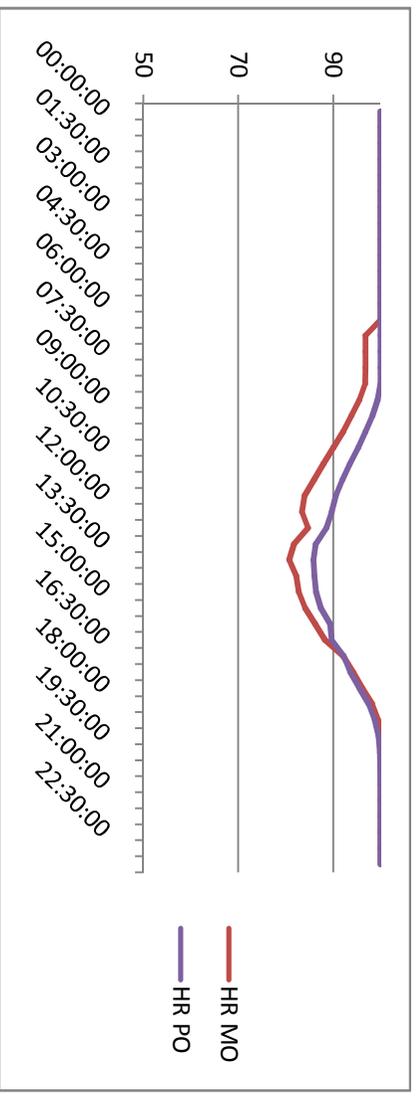
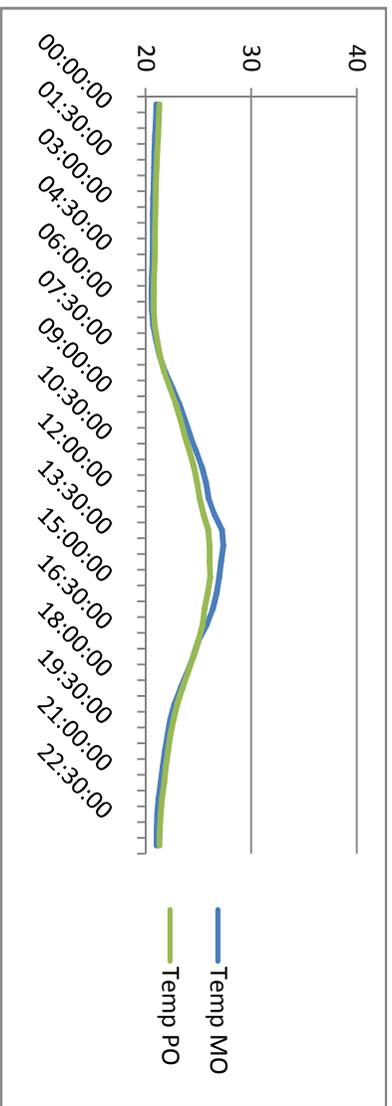
Juin



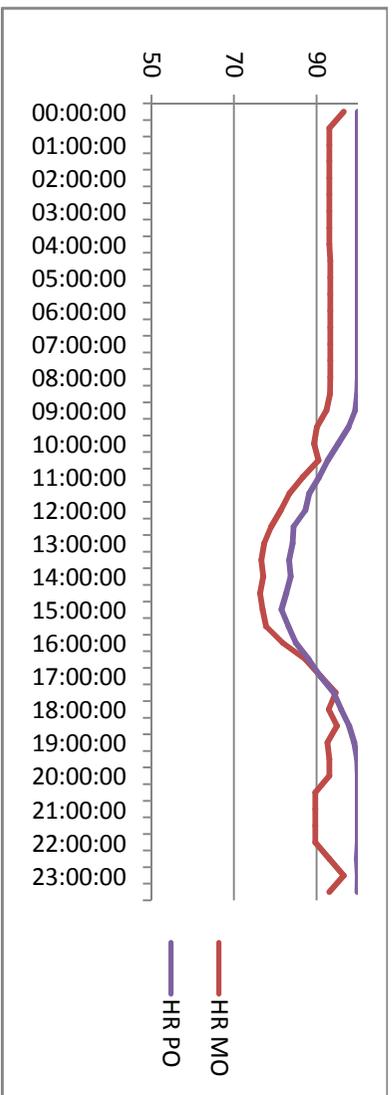
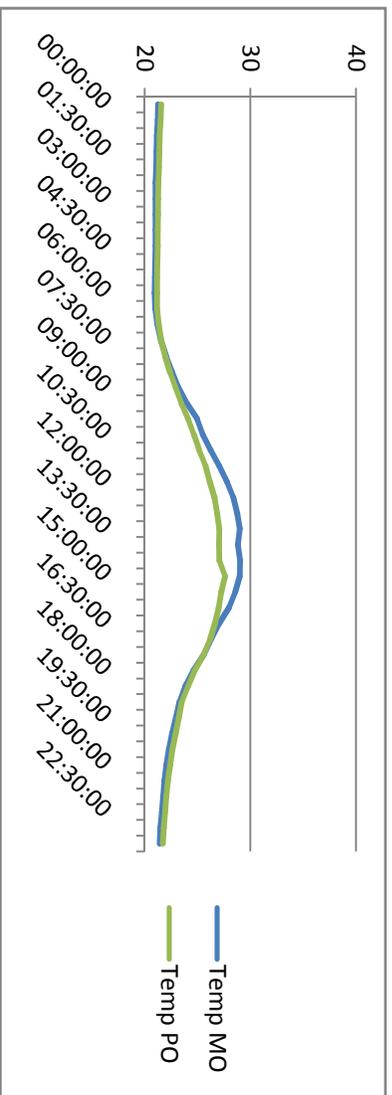
# Juillet



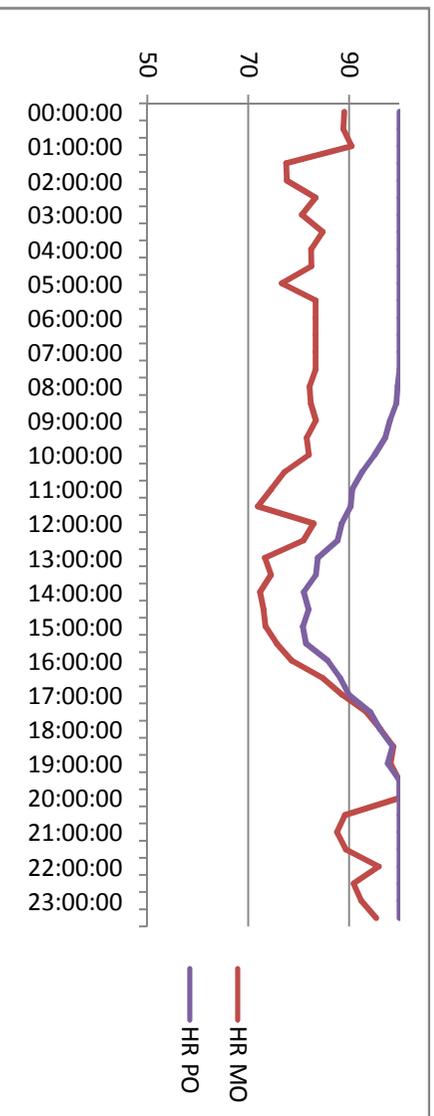
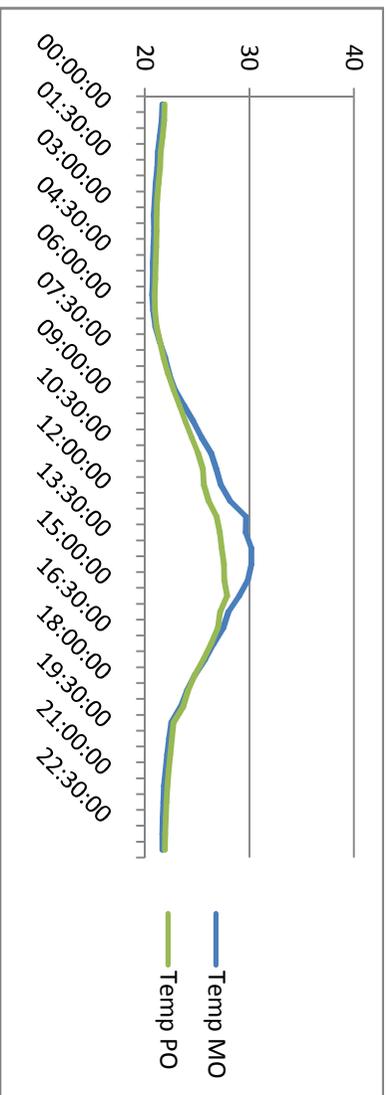
# Août



Septembre

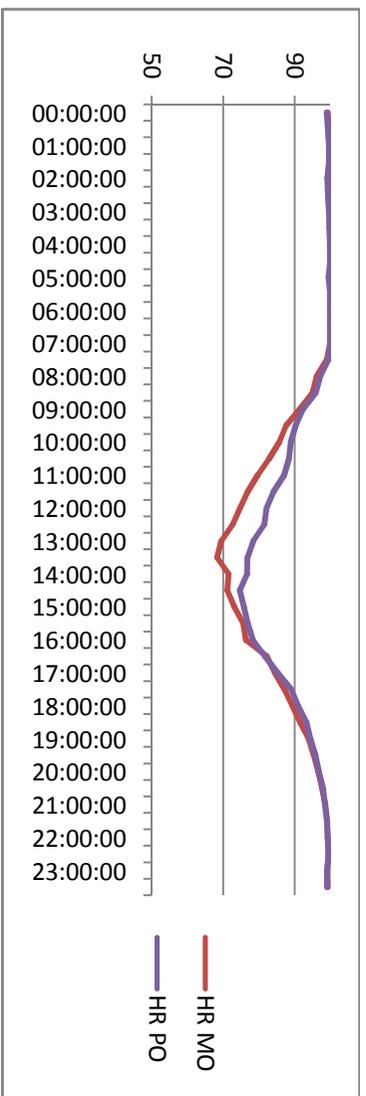
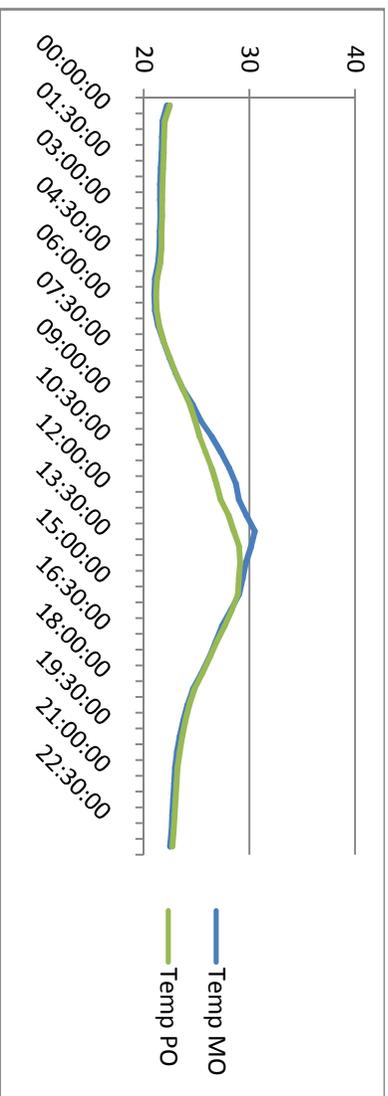


Octobre

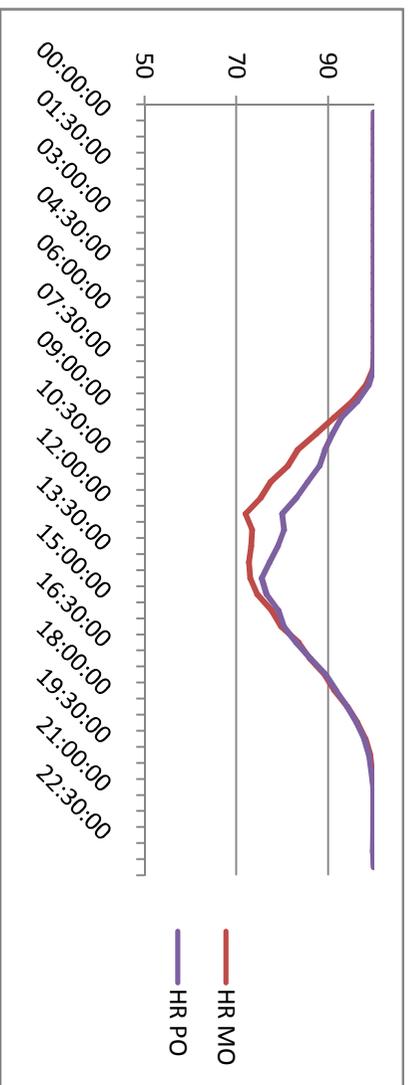
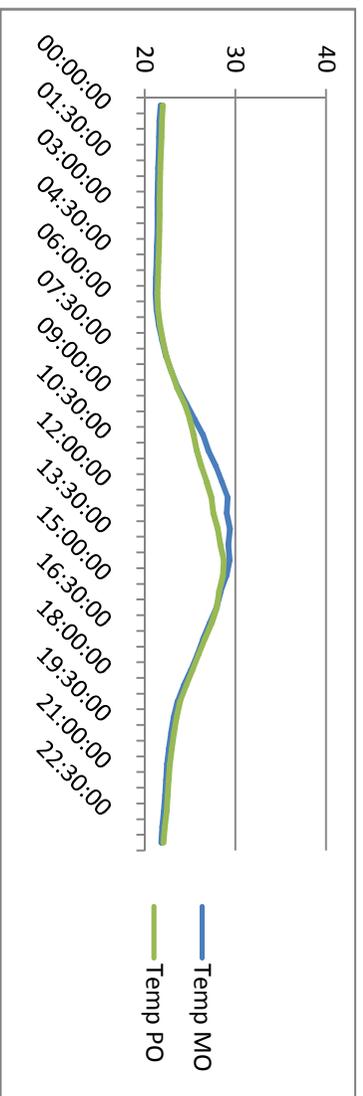


Parcelle 7

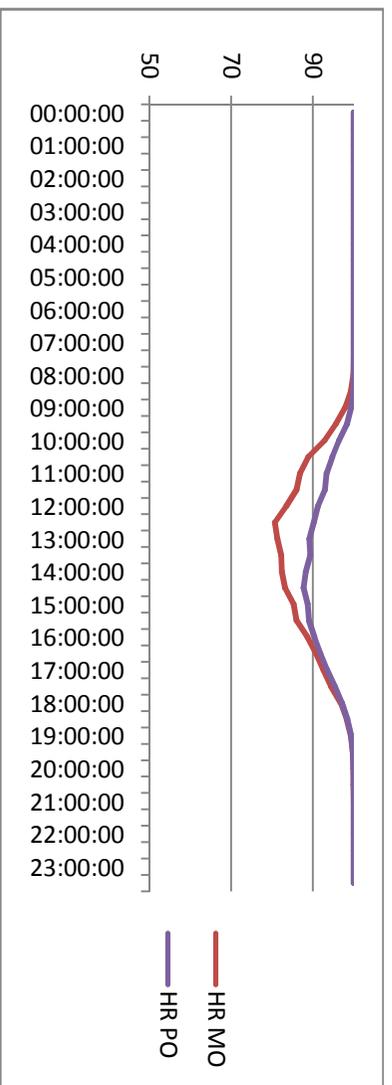
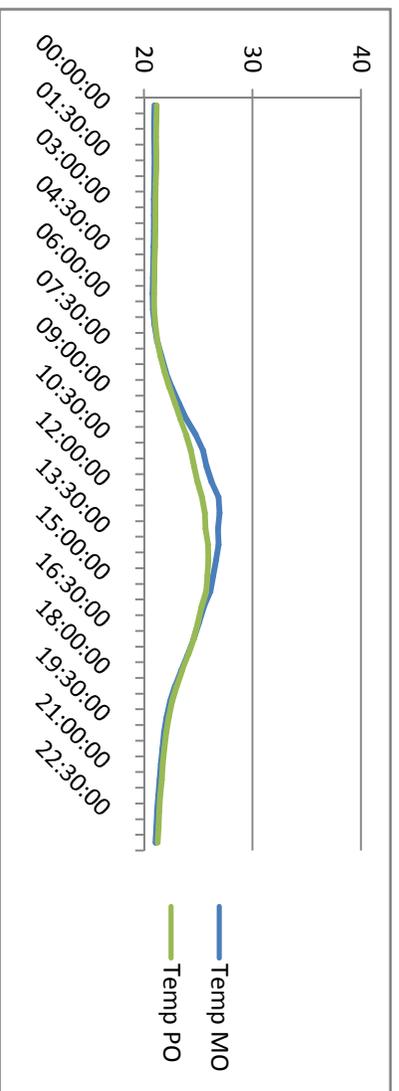
Mai



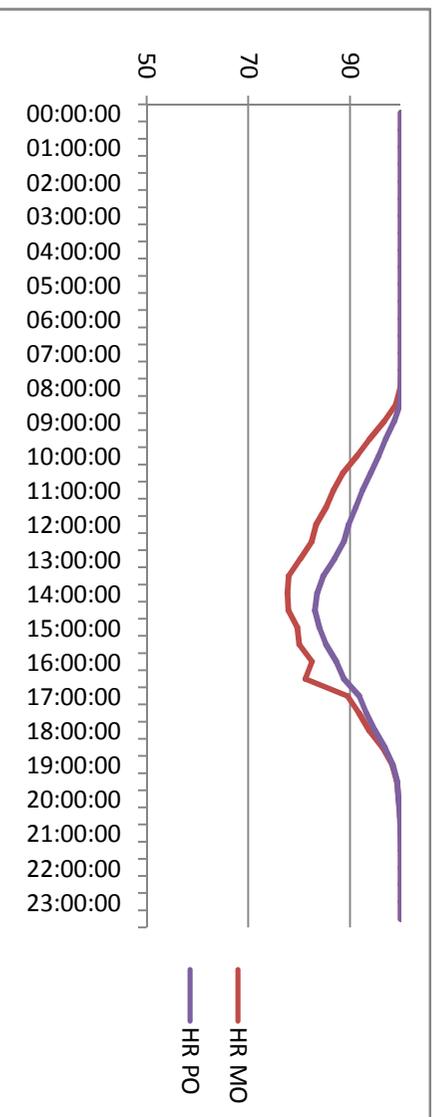
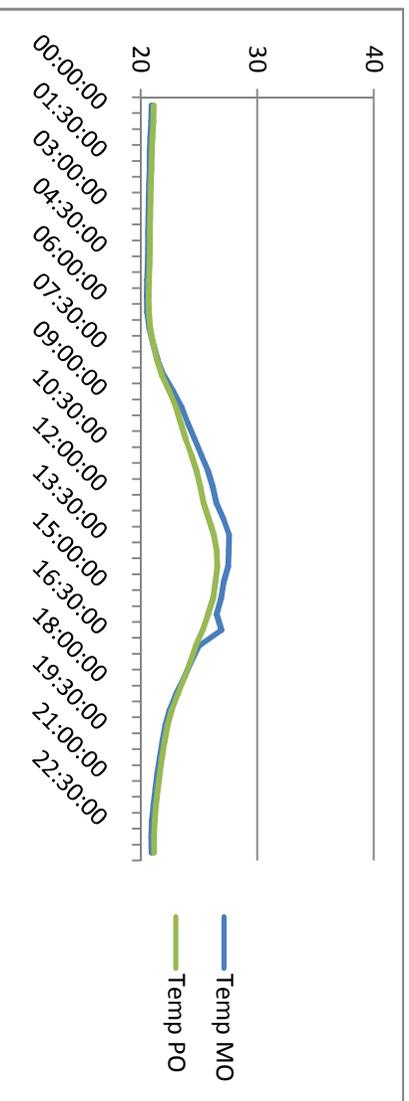
Juin



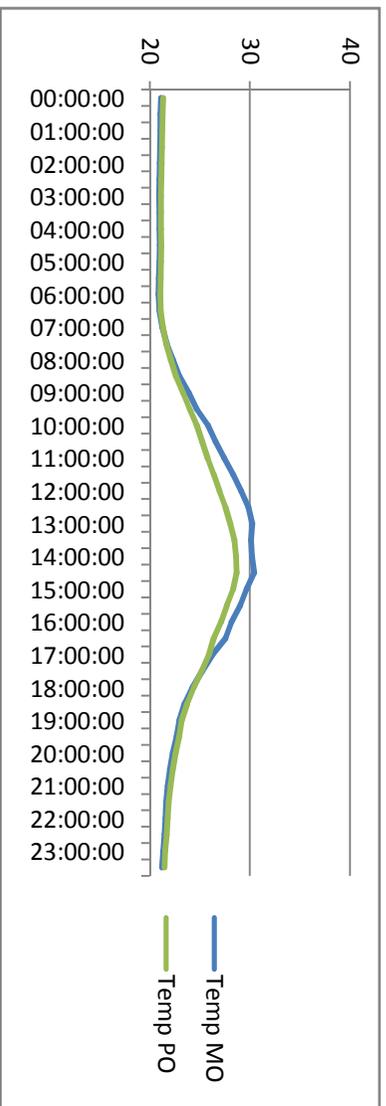
Juillet



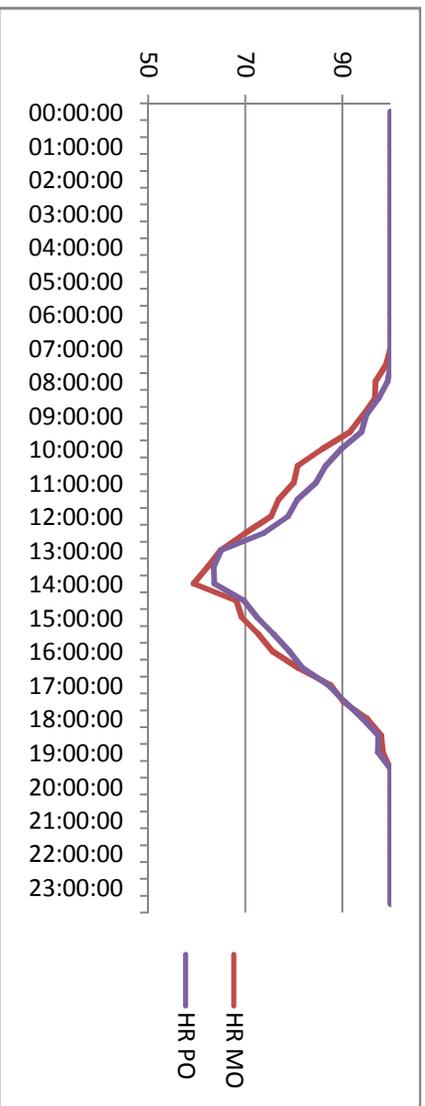
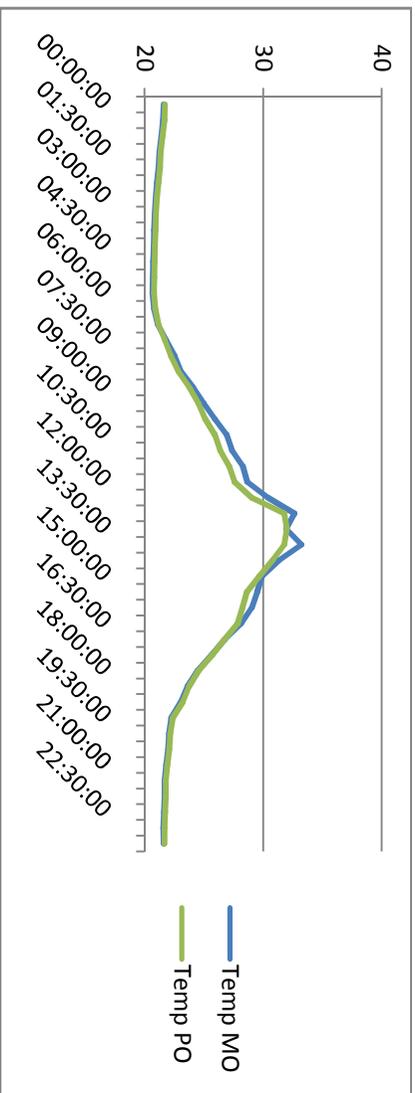
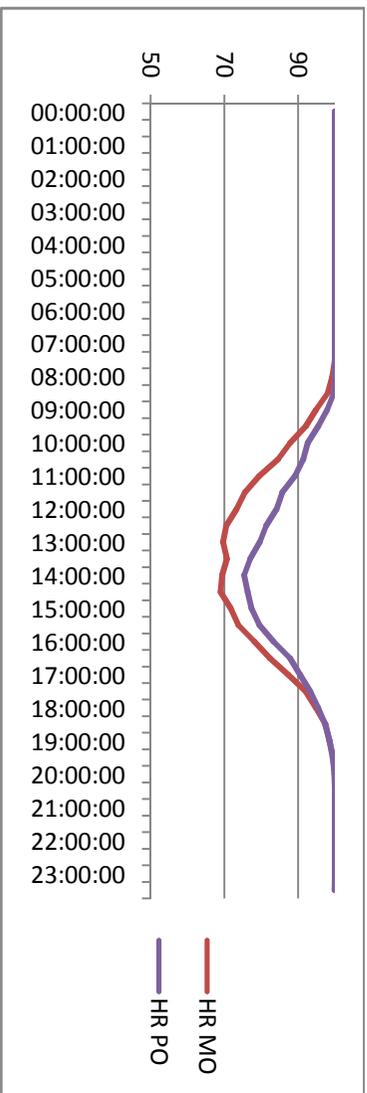
Août



Septembre

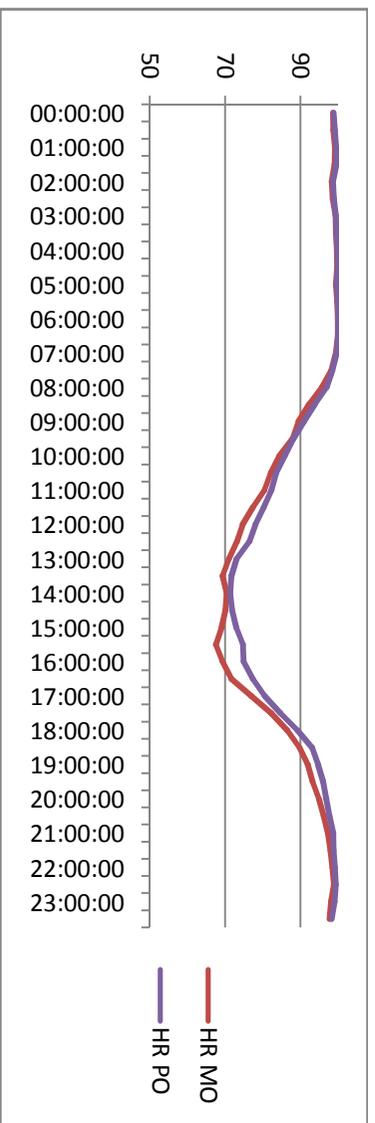
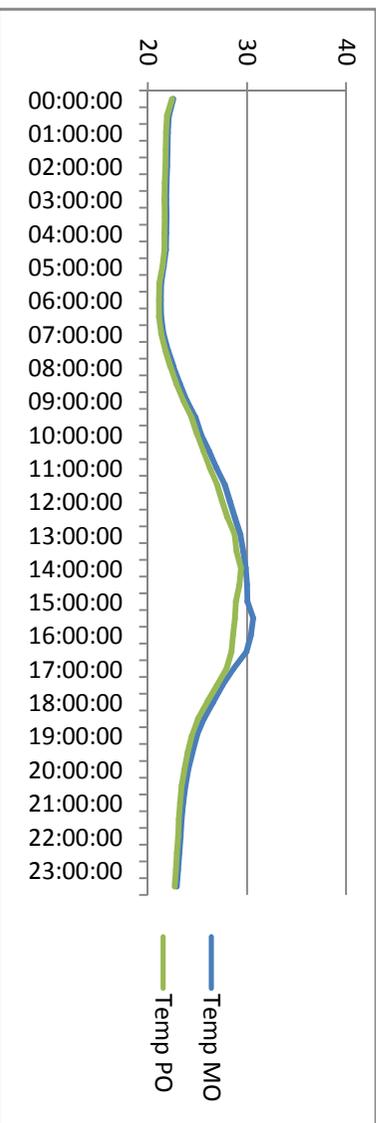


Octobre

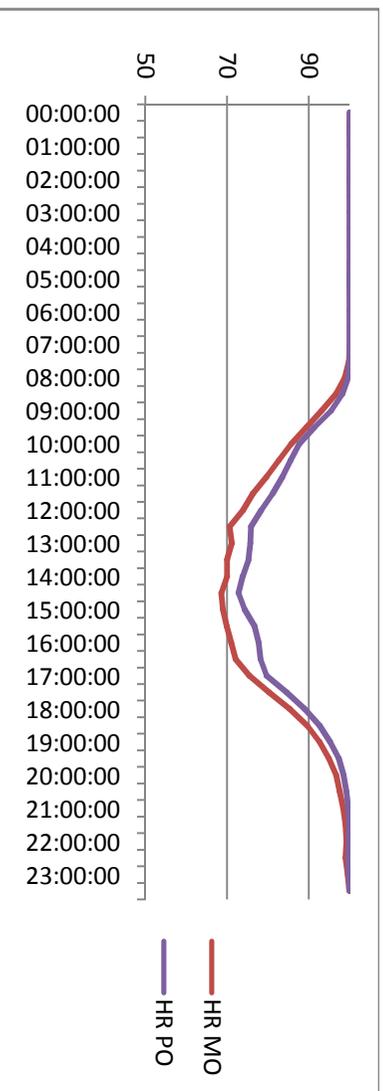
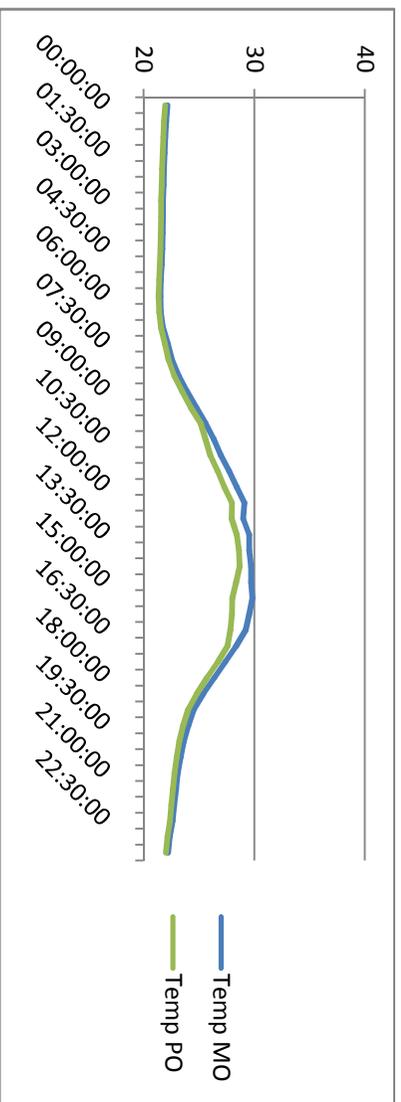


# Parcelle 8

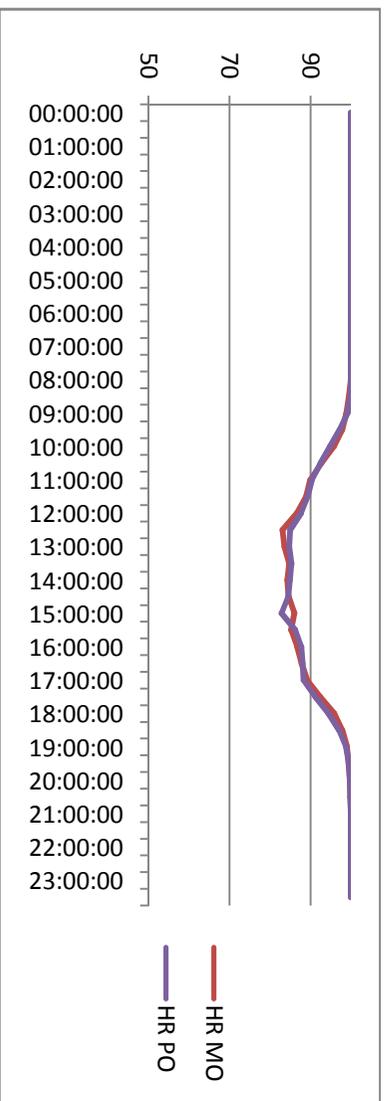
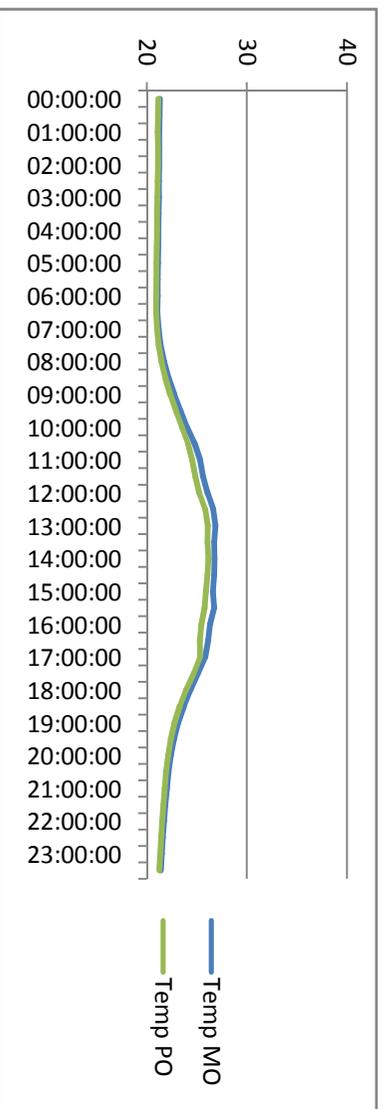
## Mai



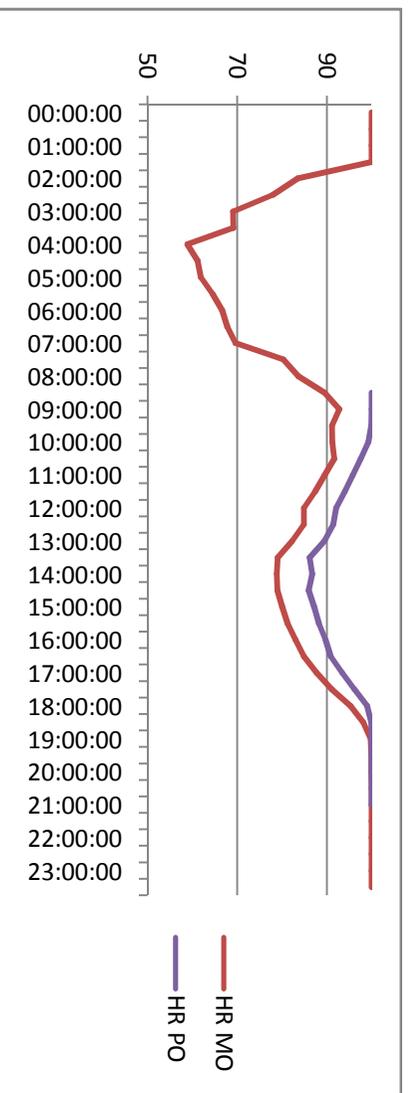
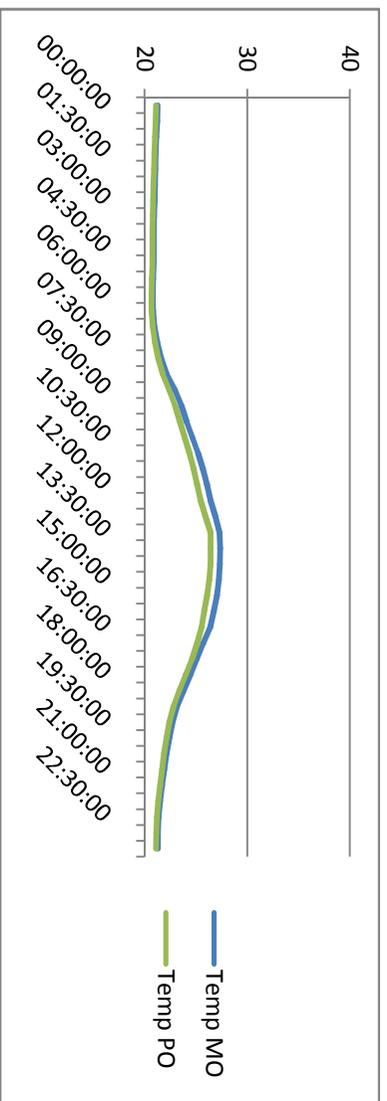
## Juin



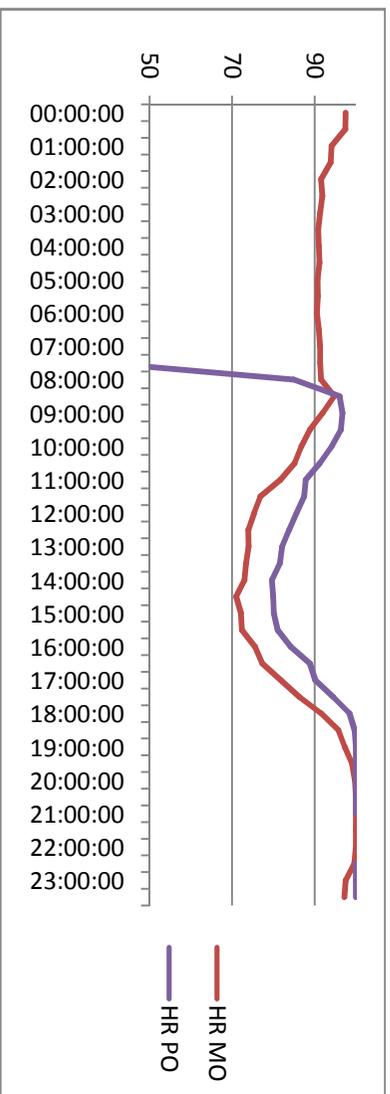
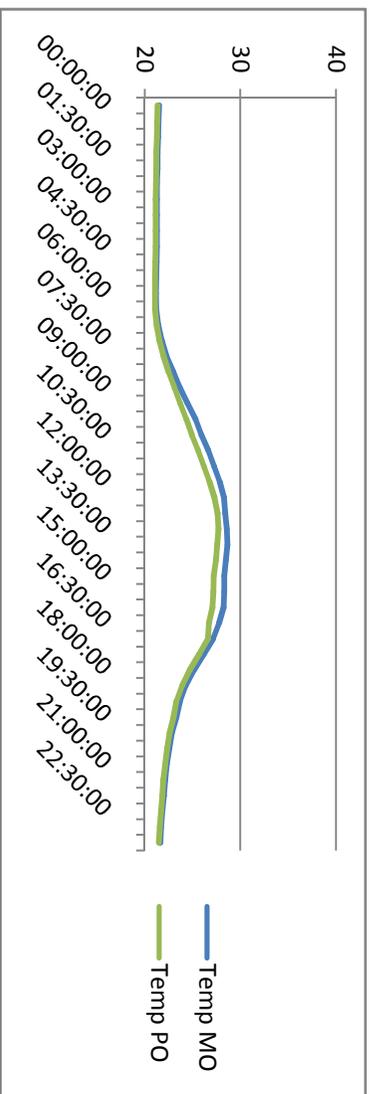
### Juillet



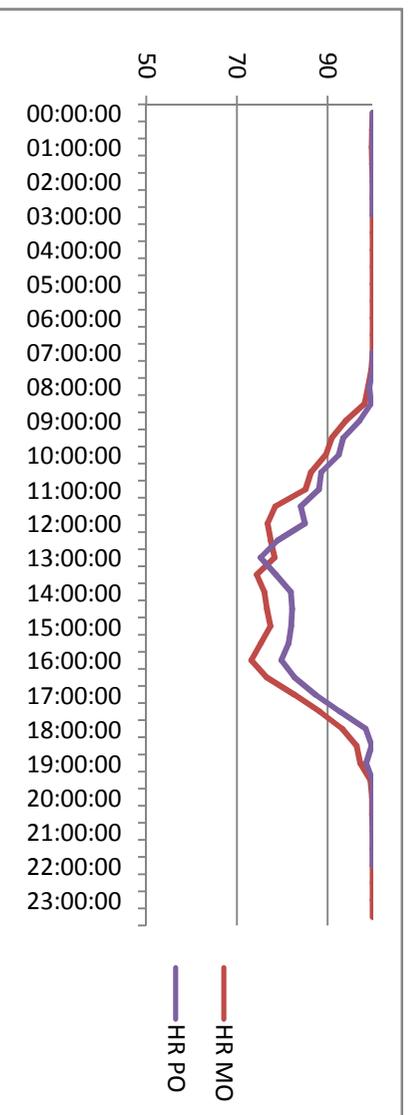
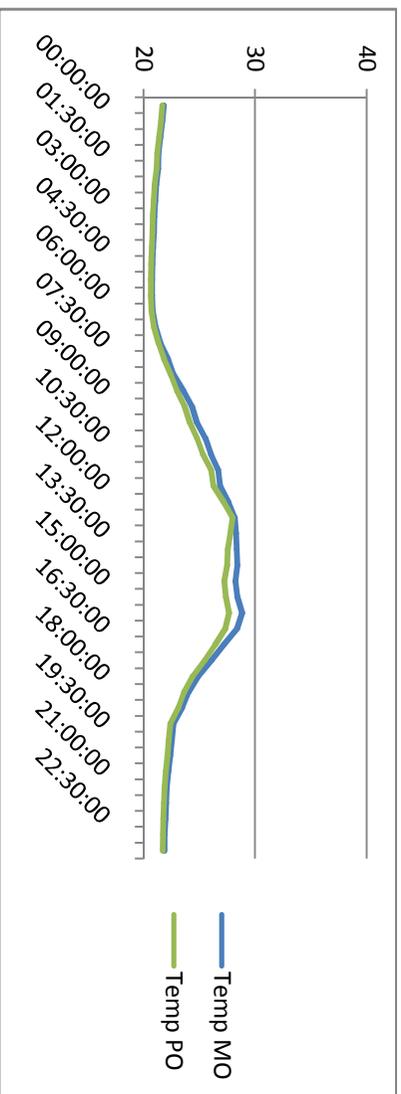
### Août



Septembre



Octobre



## ANNEXE C : Encadrés

### Encadré 1 : Corrélation entre quantité de pluie tombée et incidence de la pourriture brune

#### Corrélations

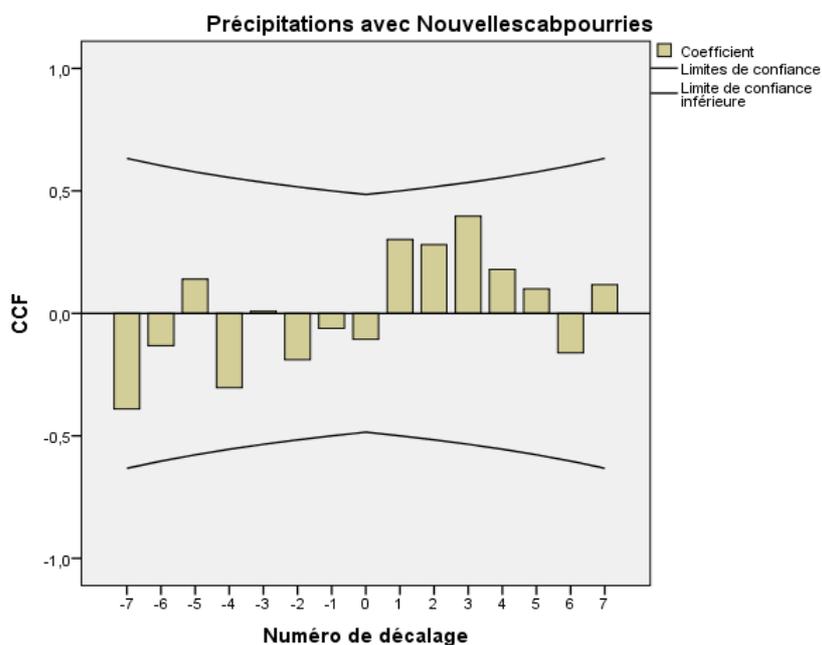
		Précipitations	Cabpourries
Précipitations	Corrélation de Pearson	1	,663**
	Sig. (bilatérale)		,004
	N	27	17
Cabpourries	Corrélation de Pearson	,663**	1
	Sig. (bilatérale)	,004	
	N	17	17

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

#### Corrélations

		Précipitations	Nouvellescabpourries
Précipitations	Corrélation de Pearson	1	-,106
	Sig. (bilatérale)		,686
	N	17	17
Nouvellescabpourries	Corrélation de Pearson	-,106	1
	Sig. (bilatérale)	,686	
	N	17	27

**Encadré 2 :** Corrélations entre incidence de la pourriture brune et quantité de pluie tombée avec décalage dans le temps



**Autocorrélations croisées**

Paire de séries: Précipitations avec Nouvellescabpourries

Retard	Autocorrélation croisée	Erreur standard <sup>a</sup>
-7	-,390	,316
-6	-,132	,302
-5	,139	,289
-4	-,304	,277
-3	,008	,267
-2	-,189	,258
-1	-,062	,250
0	-,106	,243
1	,302	,250
2	,280	,258
3	,396	,267
4	,179	,277
5	,100	,289
6	-,161	,302
7	,117	,316

a. Basé sur l'hypothèse que les séries ne sont pas corrélées de manière croisée et qu'une des séries est un bruit blanc.