



## RAPPORT DE STAGE

3<sup>ème</sup> année Génie Mathématique et Modélisation

Spécialité : Calculs Scientifiques

Master Recherche 2 Mathématique

# *Analyse de séries temporelles De mesures infrarouges thermiques pour l'évaluation Du stress hydrique de la végétation*

**NANA HAPPY Georgina**

11 Février – 11 Juillet 2013



**Responsable CIRAD** : Sylvain Labbé

**Responsable d'école** : Michel FOGLI

**La soutenance de ce mémoire aura lieu de 2 juillet 2013 à 15h, à  
Polytech' Clermont-Ferannnd.**

**Le jury sera composé de :**

Olivier Bodart, Responsable du Master2 Recherche de Maths (Polytech)  
Michel Fogli, Responsable de stage (Polytech)  
Sylvain Labbé, Tuteur de stage (Cirad)

Je remercie tous les participants.

*A tous ces moments, passées à la MTD avec mon ordinateur...*



## Table des matières

Remerciements .....	7
Résumé .....	8
Abstract.....	8
<b>I. INTRODUCTION.....</b>	<b>9</b>
<b>II. PRESENTATION DU CIRAD .....</b>	<b>10</b>
1. Les missions:.....	10
2. Les Axes prioritaires: .....	10
<b>III. PRESENTATION GENERALE DU SUJET .....</b>	<b>11</b>
1. Les bases de la télédétection .....	11
a) Définition.....	11
b) Les sources d'énergie .....	12
c) Les interactions entre rayonnement et la cible .....	12
2. Télédétection et stress hydrique des cultures .....	13
a) Loi de Stéphan-Boltzmann .....	14
3. Présentation des sites d'étude .....	15
3.1 Site Buaya.....	15
a) Descriptif .....	15
b) Acquisition des données .....	16
3.2 Verger de pommiers .....	18
a) Descriptif .....	18
b) Dispositif expérimental et monitoring de la parcelle de pommiers .....	18
4. Problématique .....	19
<b>IV. METHODOLOGIE .....</b>	<b>20</b>
1. Analyse données de palmiers .....	20
1.1 Données brutes.....	20
a) Le Rayonnement net .....	20
b) Les variations de (Ts-Ta).....	21
1.2. Prétraitement des données.....	25
a) Fusion de données.....	25
b) Calcul d'indices.....	27
2. Prétraitement de données de pommiers .....	28
2.1 Interpolation linéaire .....	28
2.2 Interpolation spline .....	29
<b>V. ANALYSE DE RESULTAT ET PERSEPCTIF .....</b>	<b>30</b>
1. Palmiers.....	30
a) Rayonnements.....	30
b) Etude du rayonnement lorsque $\alpha = 45^\circ$ .....	32
c) Comportement thermique de chaque arbre (Ts- Ta) avant filtration de données.....	33
d) Résultats après filtration.....	41

<b>2. Analyse sur les pommiers</b> .....	45
<b>a) calcul d'indice</b> .....	45
<b>b) résultats obtenus</b> .....	46
Conclusion .....	47
Références.....	48
Liens internet et packages utilisés.....	49
<b>ANNEXES</b> .....	50

## Table des figures

Figure 1: Base de la télédétection .....	11
Figure 2: Rayonnement en fonction de la longueur d'onde .....	12
Figure 3: Schéma du fonctionnement du système d'évapotranspiration d'une plante .....	13
Figure 4: Parcelles d'étude de l'exploitation de Sungai Buaya .....	15
Figure 5: Dispositif expérimental les capteurs infrarouges thermiques sont représentés par des flèches blanches .....	16
Figure 6: Le système d'acquisition aéroporté .....	17
Figure 7: Evolution temporelle du rayonnement solaire sur 5 jours. Les lignes verticales rouges représentent la période suivant le midi solaire (12:00 – 13:00) pour chaque journée. ....	20
Figure 8: Représentation graphique des différences entre température de surface et température de l'air pour les 3 régimes.....	24
Figure 9: interpolation linéaire.....	28
Figure 10: Interpolation spline cubique .....	29
Figure 11: Les Rayonnements en 2011 .....	30
Figure 12: Les Rayonnements émis et reçu en 2012 .....	31
Figure 13: Angle d'incidence du rayonnement solaire .....	31
Figure 14: Rayonnement (12-13h) 2011 .....	32
Figure 15: Rayonnement (12-13h) 2012 .....	32
Figure 16: (Ts-Ta) 0% ETP entre 12-13h (2011) .....	33
Figure 17: (Ts-Ta) 0% ETP entre 12-13h (2011) .....	34
Figure 18: (Ts-Ta) 5% ETP entre 12-13h (2011) .....	35
Figure 19: (Ts-Ta) 5% ETP entre 12-13h (2012) .....	35
Figure 20: (Ts-Ta) 100% ETP entre 12-13h (2011) .....	36
Figure 21: (Ts-Ta) 100% ETP entre 12-13h (2012) .....	36
Figure 22: (Ts-Ta) au centre du palmier entre 12-13h (2011 et 2012) .....	37
Figure 23: (Ts-Ta) au milieu de la palme, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	38
Figure 24: (Ts-Ta) à l'extrémité de la palme, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	39
Figure 25: (Ts-Ta) au sol, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	40
Figure 26: (Ts-Ta) filtré au centre, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	41
Figure 27: (Ts-Ta) filtré au milieu, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	42
Figure 28: (Ts-Ta) filtré à l'extrémité, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	43
Figure 29: (Ts-Ta) filtré à l'extrémité, entre 12-13h (2011 et 2012) .....	44
Figure 30: comparaison de rayonnements des données de pommiers (2011) .....	45
Figure 31: Variations de (Ts-Ta) de deux pommiers en fonction du rayonnement .....	46



## Remerciements

Si les remerciements constituent la seule partie du rapport que l'on se réjouit de rédiger, ils n'en demeurent pas moins difficiles à écrire tant ils sont teintés de souvenirs ... !

Je tiens tout d'abord à remercier M. Sylvain Labbé pour sa patience, sa disponibilité et son implication dans mon stage en me transmettant ses différentes connaissances sur le sujet de stage. Je le remercie également de m'avoir incité à participer çà la formation du 20/02/13à l'Irstea sur *EndNote* qui est logiciel de base de données développé pour gérer des références bibliographiques.

Je n'oublierai pas de remercier M. Regnard Jean Luc mon "deuxième encadrant", pour l'aide qu'il m'a apporté durant ce stage, et surtout pour son humour.

Je tiens à remercier particulièrement deux membres de notre équipe de travail à savoir : le thésard Virlet Nicolas, Gomez David, pour leur participation aux multiples réunions qui consistaient à suivre l'avancement de mon travail, mais également à ma préparation à la soutenance du 02 juillet 2013.

Je tiens à remercier les membres de la maison de la télédétection (Nathalie, Jean Stéphane, ...) pour différentes explications apportées et pour l'aide cruciale qu'ils ont su m'apporter pour préparer la soutenance de stage.

Je remercie aussi tous les stagiaires avec qui j'ai partagé de bons moments au bureau, aux pauses café et lors des repas.

Enfin, je remercie le personnel de la maison de la télédétection, sans oublié le directeur M. Pierre Fabre pour l'accueil chaleureuse qui m'a été offerte.

## Résumé

J'ai effectué mon stage de fin d'étude au CIRAD à la maison de la télédétection à Montpellier. Ce stage porte sur la thermographie infrarouge appliquée à la végétation dans l'optique de pouvoir gérer les ressources en eau. J'ai contribué à l'amélioration des résultats acquis en 2012 en faisant une étude minutieuse sur la base de données qui était à ma disposition.

J'ai mis en œuvre une méthode permettant de filtrer ces données pour être réutilisé plus tard pour l'analyse du stress et je l'ai implémentée sur R. Nous présentons ensuite les résultats obtenus en les comparant dans un certain nombre de configurations. Cette étape a permis d'évaluer les paramètres qui déterminent le phénomène étudié (stress). Enfin, une première étude sur la thermographie aérienne a été faite au préalable.

**Mots-clés:** télédétection, thermographie infrarouge, rayonnement solaire, température de surface, stress hydrique.

## Abstract

I have done my internship at CIRAD in “la maison de la télédétection” (remote sensing centre) in Montpellier. This training focused on infrared thermography applied to vegetation hydric stress in view to manage water resources. I contributed to improve results obtained during 2012 by making a careful study of the database that was available to me.

I have implemented a method to filter the data to be reused later for the analysis of hydric stress and I programmed on R. We then present the results obtained by comparing different configurations. This step was used to assess the parameters that determine the studied phenomenon (hydric stress). Finally, a first study of aerial thermography has been made beforehand.

**Key words:** remote sensing, infrared thermography, solar radiation, area temperature, water stress.

## I. INTRODUCTION

La Maison de la télédétection (MTD) de Montpellier regroupe des équipes de recherche de différents centres et instituts de recherche pour constituer un pôle de recherche appliquée en télédétection et information géographique. Elle regroupe des équipes d'Irstea, d'AgroParisTech, du Cirad et de l'IRD. Le cadre général est celui de l'aide à la gestion de l'environnement, des ressources et des territoires.

TETIS, unité mixte de recherche du Cirad, contribue au projet IR-Therm (Smart Research Institute, Cirad UPR AIVA, UMR TETIS). Ce projet, dont l'intitulé est « La thermographie infrarouge appliquée au palmier à huile dans l'étude de son comportement génotypique face à une contrainte hydrique ». L'objectif est de tester les apports de la mesure infrarouge thermique (IRT, en mode signal ou imagerie) à l'étude du stress hydrique. Ces travaux répondent à un double objectif méthodologique, à la fois technologique et validation de données.

La partie technologique a concerné la mise au point d'une chaîne de traitement permettant de passer du signal acquis par un système aéroporté à une grandeur quantifiée et donc comparable dans le temps et l'espace. Le système d'acquisition d'images multispectrales est composé d'un drone équipé d'appareils photographiques numériques pour les acquisitions dans le domaine optique réflectif (bleu, vert, rouge, rededge, proche infrarouge) et d'une caméra thermique pour les mesures dans l'infrarouge thermique. Pour convertir le signal acquis en une mesure radiométrique quantifiée, des méthodes de correction ont été mis en place. Cependant l'analyse de ces images sur des couverts discontinus (cultures non couvrantes, vergers) reste complexe quant à l'interprétation du signal émis par la plante et son environnement. Je tiens à souligner que cette partie ne fait pas l'objet de mon stage, mais permet de mieux comprendre le problème étudié.

Mon stage vise à analyser les données thermiques acquises et rechercher leur corrélation aux niveaux de stress hydrique mesurés in situ. De plus, le rayonnement émis, étroitement lié à la température du couvert, varie aussi fortement selon l'énergie incidente. Cette énergie incidente variant au cours de la journée selon la position du soleil et la météorologie locale (passage de nuages par exemple). L'analyse devra donc intégrer un système de filtrage des données thermographiques en fonction des données météorologiques. Cette analyse sera menée sur un site tropical et un site méditerranéen :

- une plantation de palmier en Indonésie (Sungai Buaya et Libo)
- un verger de pommier proche de Montpellier (Mauguio à 30 minutes de Montpellier)

Ce mémoire est organisé en quatre parties : Tout d'abord, nous commençons par présenter le Cirad dans laquelle je travaille, puis, nous présenterons de manière générale le sujet qui replace ce travail dans une continuité de travaux antérieurs. La troisième partie est d'ordre méthodologique. Nous expliquerons la méthode suivie dans le but d'une première approche exploratoire du sujet. Enfin, la quatrième partie affiche les résultats obtenus dans le cadre de ce travail et quelques perspectives pour le futur.

## II. PRESENTATION DU CIRAD

Le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) est un établissement public à caractère industriel et commercial. Il est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes.

### 1. Les missions:

En partenariat avec les pays du Sud dans leur diversité, le Cirad produit et transmet de nouvelles connaissances, pour accompagner leur développement agricole et contribuer au débat sur les grands enjeux mondiaux de l'agronomie. Ses activités relèvent :

- des sciences du vivant,
- des sciences sociales et
- des sciences de l'ingénieur appliquées à l'agriculture, à l'alimentation et aux territoires ruraux.

Le Cirad s'engage sur des défis complexes et évolutifs : sécurité alimentaire, intensification écologique, maladies émergentes, devenir des agricultures des pays du Sud.

### 2. Les Axes prioritaires:

Le Cirad concentre ses recherches autour de six axes scientifiques prioritaires :

- **Intensification écologique** : Inventer de nouvelles agricultures qui optimisent les rendements et préservent la biodiversité.
- **Biomasse énergie et sociétés du sud** : Étudier les conditions d'émergence et les mobilités de mise en valeur des bioénergies et faveur des populations du Sud.
- **Alimentation accessible et de qualité** : Innover pour une alimentation accessible, diversifiée et sûre.
- **Santé animale et maladies émergentes** : Anticiper et gérer les risques sanitaires infectieux liés aux animaux sauvages et domestiques.
- **Politiques publiques, pauvreté et inégalités** : Accompagner les politiques publiques pour réduire les inégalités structurelles et la pauvreté.
- **Agriculture, environnement, nature et sociétés**: Mieux comprendre les relations entre nature, agriculture et sociétés pour gérer durablement les espaces ruraux tropicaux.

### III. PRESENTATION GENERALE DU SUJET

#### 1. Les bases de la télédétection

##### a) Définition

Télédétection désigne l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci (Source : Dictionnaire des termes normalisés des sciences et techniques). De façon plus restrictive le terme se rapporte à la détection, la mesure ou l'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques.

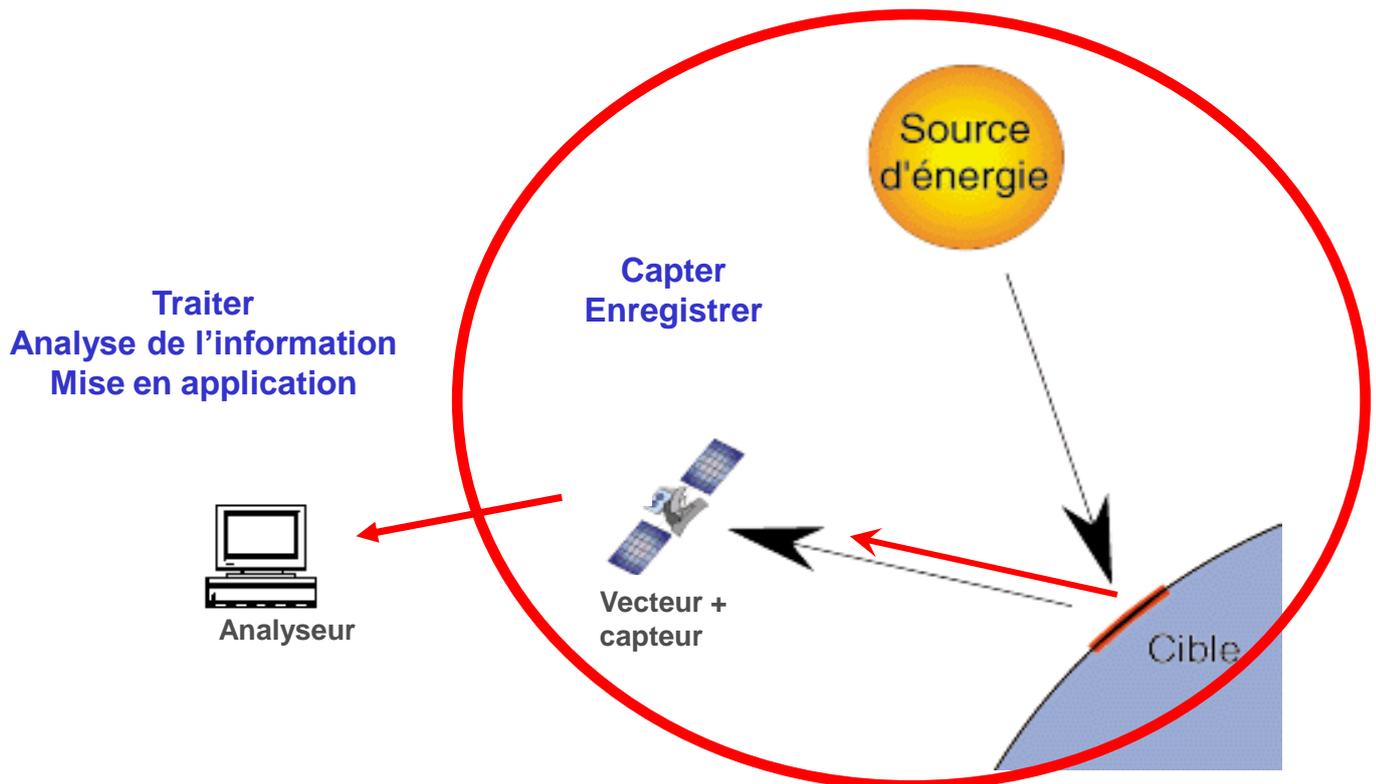


Figure 1: Base de la télédétection

Capteur : Instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant mesurable.

Vecteur : Véhicule contenant les capteurs (hélicoptère basse altitude, avions haute et basse altitude...).

## b) Les sources d'énergie

Il existe deux sources d'énergie :

- ✓ Tout corps dont la  $T^{\circ} > 0 \text{ K}$  ( $-273 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) émet un rayonnement électromagnétique. La longueur d'onde d'émission maximale est donnée par  $\lambda_{\text{max}} = 2897 / T$
- ✓ Le rayonnement solaire = apport externe d'énergie pour la Terre

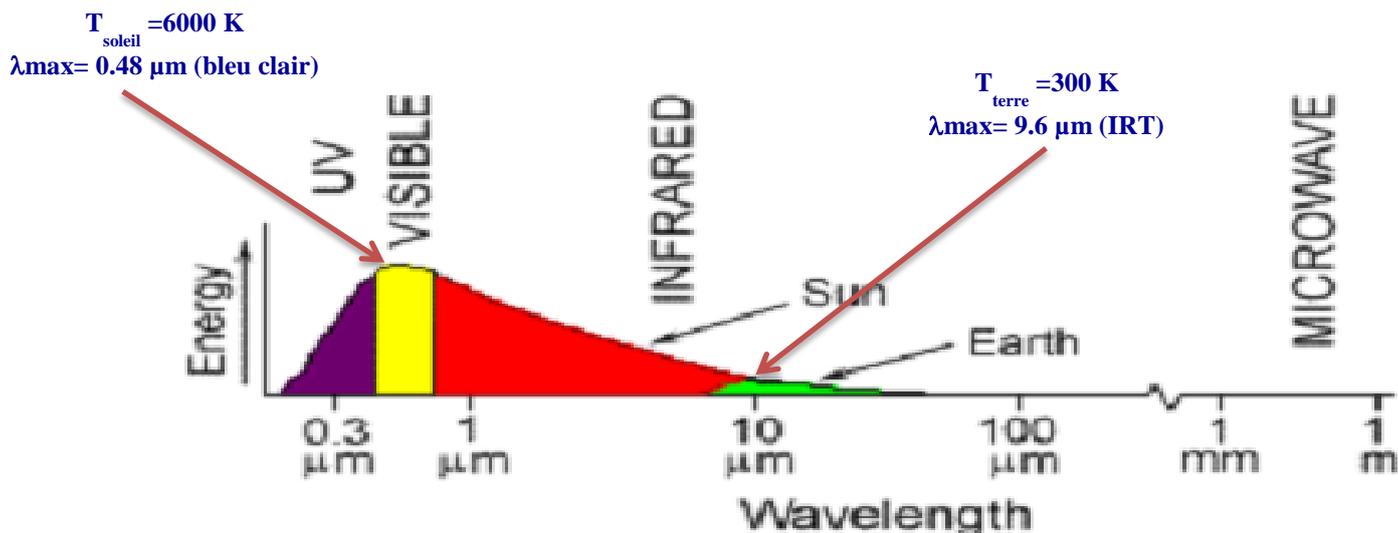


Figure 2: Rayonnement en fonction de la longueur d'onde

## c) Les interactions entre rayonnement et la cible

Lorsqu'une onde EM arrive au contact d'une cible plusieurs phénomènes se produisent. Parmi les nombreuses propriétés des ondes électromagnétiques, certaines sont fondamentales pour la compréhension des principes de base de la télédétection. C'est le cas de la réflexion, de l'absorption, de la transmission, de la diffusion et de l'émission.

- ✓ *Réflexion* : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en réfléchir une partie. Lorsqu'il s'agit d'énergie solaire réfléchi par une portion d'espace terrestre, on parle d'*albédo*. Il s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchi.
- ✓ *La réflexion* peut être spéculaire, c'est à dire qu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes les directions.
- ✓ *Absorption* : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en absorber une partie. Cette énergie absorbée est transformée et modifie l'énergie interne du corps. Ainsi, la température interne du corps peut augmenter ce qui va être la source d'émissions plus importantes dans d'autres longueurs d'ondes (infrarouge thermique par exemple).
- ✓ *Transmission* : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en transmettre une partie. Un objet transparent à une transmittance élevée dans les longueurs d'ondes visibles. Une surface d'eau pure ou le feuillage d'arbres sont des exemples de surfaces susceptibles de transmettre une partie du REM.

L'énergie incidente qui vient du soleil peut être réfléchi, absorbée ou transmise par la cible. D'où la relation suivante :

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

Dans la pratique, un corps est perçu comme *blanc* dès qu'il réfléchit au moins 80 % de la lumière d'une source lumineuse blanche. À l'inverse tout corps réfléchissant moins de 3 % de la lumière incidente paraît *noir*.

Le but de la télédétection c'est de capter l'énergie d'un REM (rayonnement électromagnétique) émise ou réfléchi.

## 2. Télédétection et stress hydrique des cultures

Ce stage repose sur les principes fondamentaux du concept d'agriculture de Précision. Ce dernier est basé sur le constat de l'existence de variabilités intra-parcellaires. Il propose une gestion raisonnée des apports en intrants (dont l'eau) par l'optimisation spatiotemporelle des apports à la parcelle pour assurer une gestion durable de l'environnement, tout en maintenant la productivité. Pour cela, l'état, notamment hydrique, de la culture doit être déterminé.

D'un point de vue physiologique, la plante en situation de déficit hydrique, ferme ses stomates afin d'éviter la déshydratation et la destruction de ses tissus (Fig.3). L'évapotranspiration est alors réduite puis stoppée, ce qui conduit à une augmentation de la température de surface des feuilles : l'énergie solaire reçue par la plante provoque un échauffement de la surface foliaire. Cette fermeture des stomates limite l'absorption du gaz carbonique et donc la photosynthèse et la production de matière sèche de la plante.

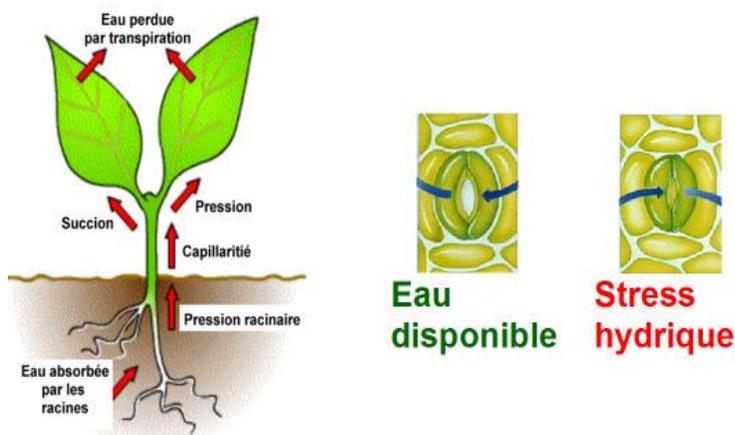


Figure 3: Schéma du fonctionnement du système d'évapotranspiration d'une plante

En lien avec le fonctionnement hydrique des plantes, diverses études ont montré que la température de la canopée est liée à la teneur en eau des plantes (Jackson et al. 1977). Les capteurs infrarouge thermique, en enregistrant l'énergie émise par les corps, permettent, via la loi de Stéphan – Boltzmann, de mesurer la température de surface des feuilles et de la canopée. Cela signifie qu'il est possible de connaître l'état hydrique de la plante et ainsi de détecter un éventuel stress hydrique, et cela sur de grandes surfaces si les mesures sont effectuées au-dessus du couvert à l'aide de capteurs imageurs aéroportés (caméra thermique) ou satellitaires. L'irrigation pourrait ainsi être modulée dans l'espace (intra- et inter-parcellaire) en fonction de l'état hydrique des plantes, ce qui par conséquent optimiserait la consommation en eau.

a) **Loi de Stéphan-Boltzmann**

La puissance rayonnée par un corps est donnée par la formule:

$$P = \epsilon \sigma S T^4$$

Où :

$\sigma$ : est la constante de Stéphan et vaut  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

$T$  : est la température du corps en Kelvin

$\epsilon$  : est l'émissivité et vaut 1 pour un corps pur et varie 0 et 1 selon la surface du matériau

$S$  : la surface du corps

La caractérisation de la distribution spatio-temporelle de l'état hydrique et nutritionnel des cultures constitue un élément clé pour la gestion raisonnée des intrants et les applications en agriculture de précision. Les images à très haute résolution acquises par télédétection dans les domaines optique réflectif et thermique permettent l'obtention d'informations spatialisées sur les paramètres bio-physico-chimiques décrivant l'état des cultures.

Notre étude est essentiellement basée sur le site Buaya (Indonésie) et sur un verger de pommier (Mauguio au sud de la France).

### 3. Présentation des sites d'étude

#### 3.1 Site Buaya

##### a) Descriptif

Sur le site de Sungai Buaya, Nous avons 6 modes d'irrigation (0, 25, 50, 75, 100, 125 % évapotranspiration potentielle en abrégé ETP ) assurés par un système de goutte à goutte. La variété étudiée est la *Marihat* (palmiers adultes) plantée en 1991 sur cette parcelle. Les palmiers sont disposés en quinconce, chaque palmier étant distant de ses six voisins de 9 mètres.

Trois placettes ont été choisies pour faire l'objet d'un suivi (0, 50, 100 % ETP). Ce choix a été effectué de manière à disposer d'un témoin irrigué (100 % ETP) qui permettra la comparaison, d'un témoin entièrement stressé (0 % ETP) et d'un traitement intermédiaire (50 % ETP).



Figure 4: Parcelles d'étude de l'exploitation de Sungai Buaya

## b) Acquisition des données

Des mesures infrarouges thermiques (IRT) ont été réalisées sur ce site, faisant l'objet d'un régime d'irrigation contrasté. Deux types de mesures ont été effectués :

- ✓ Des mesures de proxy-détection (à l'échelle de la plante) : relevé des mesures de température de surface couplées à des mesures météorologiques (température et humidité relative de l'air, rayonnement) enregistrées par les centrales d'acquisitions. Les centrales enregistrent une valeur moyenne toutes les 5 min, l'intervalle de scrutation étant de 5 secondes. Afin de réaliser ces différentes mesures, 3 dispositifs ont été installés. Chaque dispositif consiste en deux échafaudages de 17 m entourant chaque couple de palmiers et supportant les capteurs et centrales. Le dispositif varie selon les différents types de traitements (Figure5) :
- ❖ *Traitements 0 % ETP et 100 %ETP:*
  - 4 capteurs IRT (IR 120, Campbell Scientific®) : 3 visant la canopée (centre du palmier, milieu de palme et extrémité de palme) et un visant le sol (pour 0 % ETP et 100 %ETP)
  - 1 capteur de température de d'humidité relative de l'air (HMP60, Campbell Scientific®)
  - 1pyranomètre (SP1110, Campbell Scientific®)
  - 1 centrale d'acquisition ( CR3000 pour 0% ETP et CR3000B pour 100% ETP)
  -
- ❖ *Traitement 50 % ETP :*
  - 4 capteurs IRT (IR 120, Campbell Scientific®) : 4 visant la canopée (centre du palmier 1, milieu de palme du palmier 1, extrémité de palme du palmier 1, milieu de palme du palmier 2)
  - 1 capteur de température de d'humidité relative de l'air (HMP60, Campbell Scientific®)
  - 1 centrale d'acquisition CR1000 (notée CR1000A)

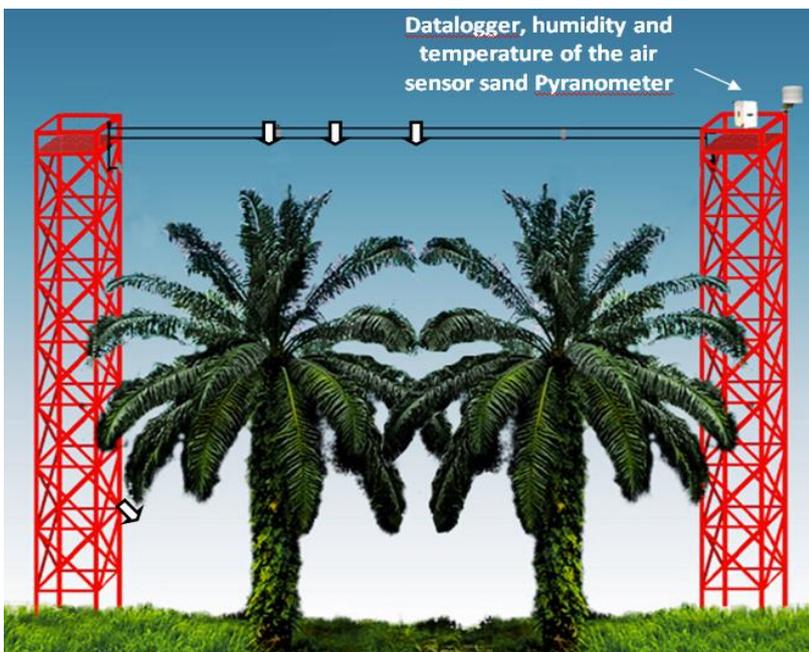


Figure 5:Dispositif expérimental les capteurs infrarouges thermiques sont représentés par des flèches blanches

- ✓ Des mesures aéroportées (par drone) : images thermiques, visible et proche infrarouge sur les dispositifs suivis. Le drone utilisé est un quadcopteur de la marque Mikrocopter®, dont la charge utile est d'1 kg (Figure 6). Du fait de cette faible charge utile, les acquisitions ont été réalisées en deux temps :

- Un premier vol est effectué afin d'acquérir les images visible et proche infrarouge
- Un second sert à l'acquisition des images thermiques.

Les acquisitions visible et proche infrarouge sont réalisées à l'aide de deux appareils photo numériques Foveon® X3 et les acquisitions thermiques ont été réalisées en mode vidéo, à l'aide d'une micro caméra thermique Miricle, Thermotechnix Systems Ltd. Les vols ont été réalisés à une altitude 50m



*Drone*



*Appareils photo Foveon*



*Support du drone sur lequel sont fixées les caméras*



*Micro caméra thermique*

*Figure 6: Le système d'acquisition aéroporté*

Nous disposons également des mesures sur le terrain du stress hydrique de ces plantes réalisées à partir de différentes approches (mesures par chambre à pression, teneur en eau du sol et modélisation de la demande en eau).

L'expérimentation a débuté le 13 août 2011 et l'irrigation contrastée a été mise en place le 6 juin 2012.

## **3.2 Verger de pommiers**

### **a) Descriptif**

L'expérimentation est conduite sur un verger de 6000m<sup>2</sup> situé à l'Unité Expérimentale de l'INRA de Melgueil à Maugio (34) sur la plateforme Diaphen. Le verger est constitué de 488 arbres, soit 122 génotypes hybrides répétés 4 fois et 32 individus pour les 2 parents, situés soit dans la parcelle (4 répétitions), soit en bordure. Tous les arbres sont greffés sur porte-greffe M9 (un seul génotype « racines »). Les 122 hybrides sont issus du croisement Starkrimson x Granny Smith. Les arbres sont répartis sur 10 rangs (5m\*2m). Leur disposition est aléatoire, par paires (sur deux rangs contigus), le même génotype étant soumis à des conditions hydriques contrastées dans des placettes adjacentes. L'irrigation est effectuée par micro aspersion. Les apports couvrent les besoins de tous les arbres en début de saison, avec une pluviométrie de 3 à 6mm/jour. L'irrigation est ensuite interrompue un rang sur deux pendant les mois de juillet et août pour une durée de 7 à 8 semaines, afin de permettre le développement d'une contrainte hydrique édaphique (2011).

### **b) Dispositif expérimental et monitoring de la parcelle de pommiers**

Un suivi continu des conditions climatiques est assuré grâce à une centrale micro-météo équipée de capteurs divers : rayonnement global (capteur SPS1100), rayonnement photo synthétiquement actif (capteur SKP215), température et humidité de l'air (sonde HMP45), anémomètre (AR100) et pluviomètre (ARG100). Ces capteurs sont reliés à une centrale CR10X (Campbell Scientific) permettant l'acquisition en continu des données au pas de temps de 10 minutes. La centrale micro-météo est alimentée par une batterie reliée à un panneau solaire.

Le suivi agronomique repose sur deux batteries de 6 sondes tensiométriques Watermark situées au centre de la parcelle, mesurant les potentiels hydriques de sol à 30 et à 60 cm de profondeur sur un rang irrigué (NS) et un autre rang non-irrigué (S) durant la période estivale. Un boîtier Monitor permet l'acquisition en continu (6 mesures par jour) des mesures de ces sondes sur cette placette considérée comme moyenne. Par ailleurs 24 sondes tensiométriques ont été placées au pied de 12 arbres (3 génotypes x 4 répétitions : hybrides 7, 70 et 96) aux mêmes profondeurs que précédemment, afin de suivre l'évolution du potentiel hydrique dans la zone racinaire de ces individus. Cette deuxième série de mesures est effectuée manuellement 2 fois par semaine, les lendemains d'irrigation entre 10h et 12 h, heure locale, ainsi que les jours lors des missions d'imagerie aéroportées.

Un suivi de la température de la canopée est effectué à l'aide de radiothermomètres non imageurs, IR120 (Campbell Sci), sur les 12 arbres précédemment évoqués (hybrides 7, 70 et 96). Ces capteurs mesurent la température de surface dans un angle solide, selon un demi-angle de 20°, et sont placés à 1.4m du sommet de la canopée de façon à pouvoir prendre en compte l'ensemble du feuillage de chaque arbre. Quatre autres capteurs sont utilisés pour mesurer la température de surface du sol nu sur un rang stressé et un rang non stressé (2 répétitions). Tous les capteurs IR 120 sont reliés à des centrales d'acquisition CR3000 (Campbell Scientific) permettant une acquisition en continu des valeurs de températures de surface dans l'infrarouge thermique, au pas de temps de 10 minutes. Comme pour la centrale météo, chacune des centrales CR3000 est alimentée par une batterie reliée à un panneau solaire.

#### 4. Problématique

Le rayonnement émis par la plante est étroitement lié à la température du couvert. Il varie aussi fortement selon l'énergie incidente. Cette énergie incidente variant au cours de la journée selon la position du soleil et la météorologie locale (passage de nuages par exemple). Les données présentent toutefois un niveau de bruit élevé, lié aux variations des conditions météorologiques (nuages, vent, irradiation), mais également au mauvais fonctionnement de certains capteurs qui se dérèglent dans le temps (pannes, insectes, poussières, etc.). Nous proposons de faire une analyse plus fine de ces données :

- ✓ Pour corriger les effets d'ennuage, en sélectionnant les valeurs utiles ou en corrigeant les valeurs mesurées par rapport à des valeurs de référence (calibration croisée).
- ✓ Pour éliminer les valeurs suspectes, par analyse des corrélations entre capteurs redondants ou devant être corrélés, ou par analyse intrinsèque de l'évolution du bruit présenté par le capteur.
- ✓ Pour évaluer l'apport de ces données thermographiques filtrées pour la mesure du stress hydrique de la végétation (au regard des mesures terrain disponibles).

Le tableau suivant liste quelques variables principales, utilisées pour mener cette étude.

<u>Variables</u>	<u>Désignations</u>	<u>unités</u>
<b>Ta</b>	Température de l'air	°C
<b>Ts</b>	Température de surface	°C
<b>HR</b>	Humidité relative de l'air	%
<b>Rain</b>	Quantité de pluies	mm
<b>Rg.Theo</b>	Rayonnement solaire reçue par la plante	W.m <sup>-2</sup>
<b>Rg</b>	Rayonnement émis par la plante	W.m <sup>-2</sup>
<b>U</b>	Vitesse du vent	m.s <sup>-1</sup>
<b>VPD</b>	Vapor Pressure Deficit	kPa
...		
...		
...		

## IV. METHODOLOGIE

### 1. Analyse données de palmiers

Le dispositif mis en place permet de mesurer la température de surface ( $T_s$ ) de la canopée, qui augmente lorsque la plante manque d'eau. Pour interpréter la  $T_s$  en tant qu'indicateur de stress hydrique il est cependant important de :

- Connaître les conditions météorologiques au moment de la mesure,
- Savoir ce que vise le capteur (pourcentage de feuilles et de sol).

Dans un premier temps, notre but était de calculer certains indices de stress hydrique. Puis, visualiser l'évolution du rayonnement net au cours du temps et enfin, analyser la différence ( $T_s - T_a$ ) pour chaque point visé par les capteurs (centre, milieu, extrémité et sol) et chaque type de traitement (0, 50, 100% ETP) au cours du temps.

#### 1.1 Données brutes

Les données brutes acquises par les centrales ont été analysées sur le logiciel R. A partir de ces données nous avons calculé pour chaque traitement le VPD (Vapor Pressure Deficit en  $W \cdot m^{-2}$ ). Le VPD dépend uniquement de la température et de l'humidité et est un bon indicateur du niveau d'évapotranspiration potentielle.

##### a) Le Rayonnement net

A partir des données brutes, nous avons représenté les variations du rayonnement net stocké dans la centrale CR3000 en fonction des jours Julian (en anglais Julian days). (Figure 7) Les jours Julian représente le nombre de jours qui s'est écoulé à partir d'une date donnée. Dans notre cas nous avons choisi le 1<sup>er</sup> janvier 2011 comme date de référence car l'enregistrement de données a débuté le 13 août 2011.

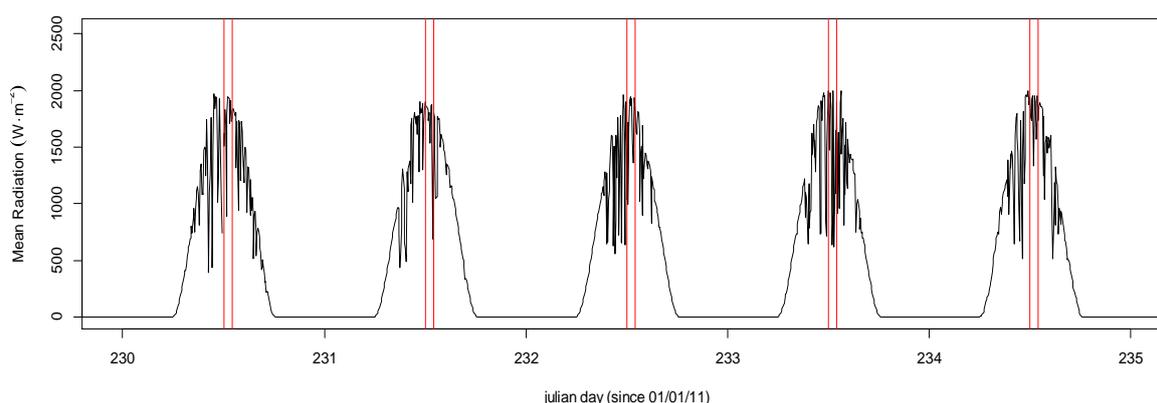


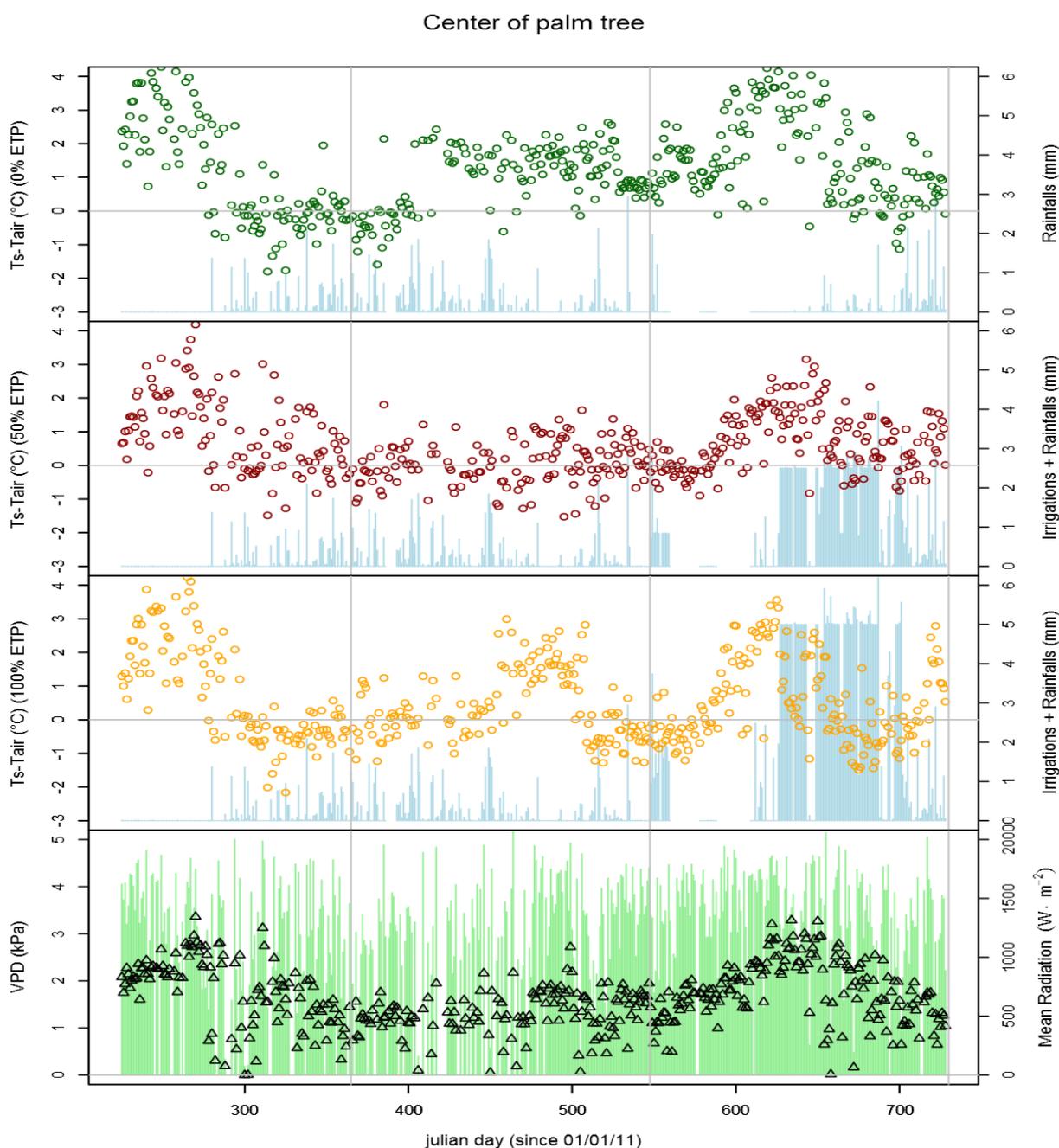
Figure 7: Evolution temporelle du rayonnement solaire sur 5 jours. Les lignes verticales rouges représentent la période suivant le midi solaire (12:00 – 13:00) pour chaque journée.

L'analyse des mesures de rayonnement solaire entre 12:00 et 13:00 sur l'ensemble du jeu de données acquis montre une couverture nuageuse (ou des passages nuageux) quasi permanentes sur ce créneau.

Compte tenu de variations du rayonnement, nous avons voulu avoir une idée sur le comportement thermique de chaque arbre pour chaque traitement (0% ETP, 50% ETP et 100% ETP) le comportement thermique de chaque arbre suivi (chaque arbre étant couvert par 3 capteurs IR 120 vis-à-vis des apports en eau (pluies, irrigations), du VPD (Vapor Pressure Deficit en  $W \cdot m^{-2}$ ) et du rayonnement moyen, sur la période 12:00 – 13:00 (Figures 8, 9, 10 et 11).

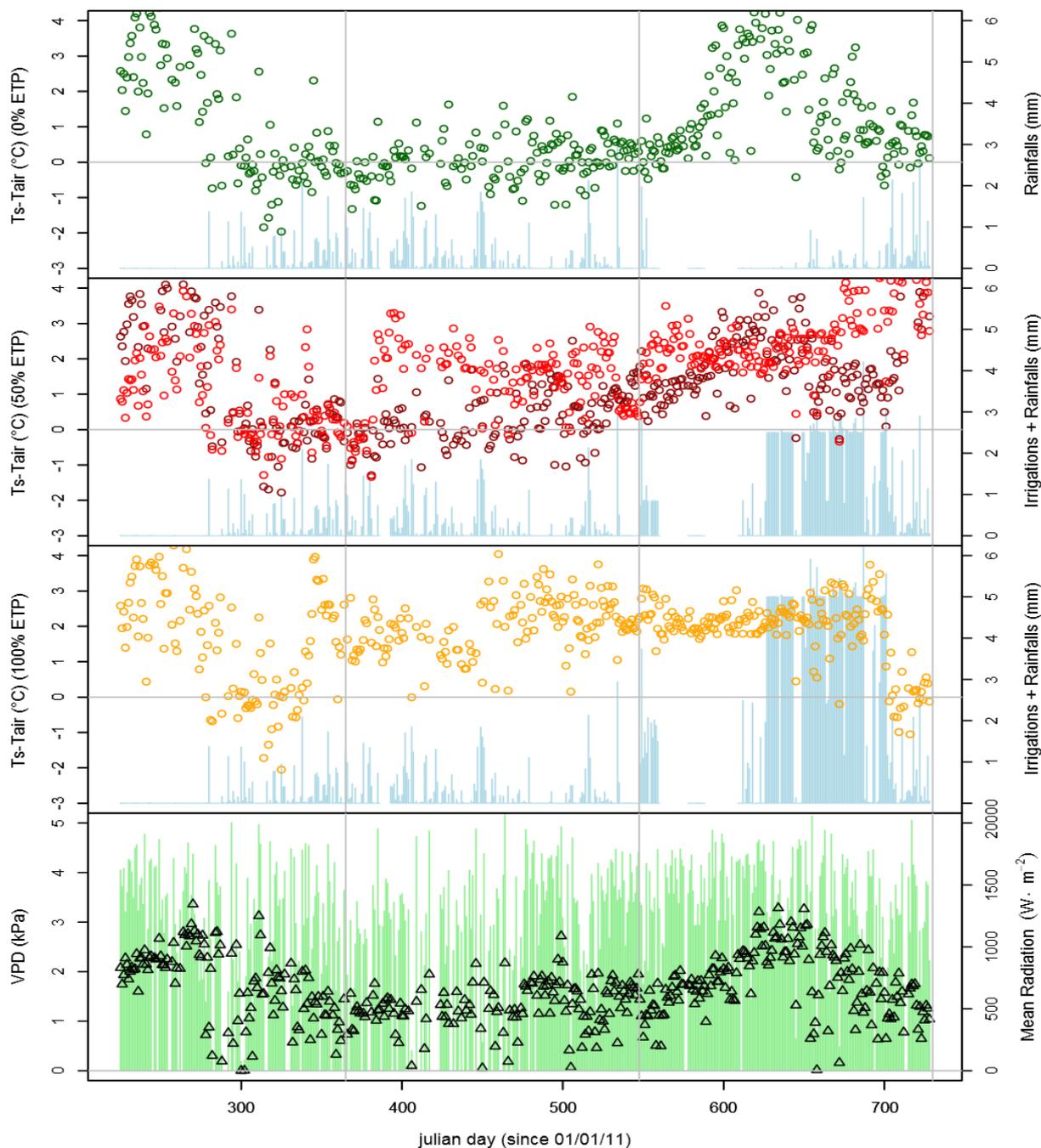
## b) Les variations de (Ts-Ta)

### ▪ Capteur visant le centre



- **Capteur visant le milieu**

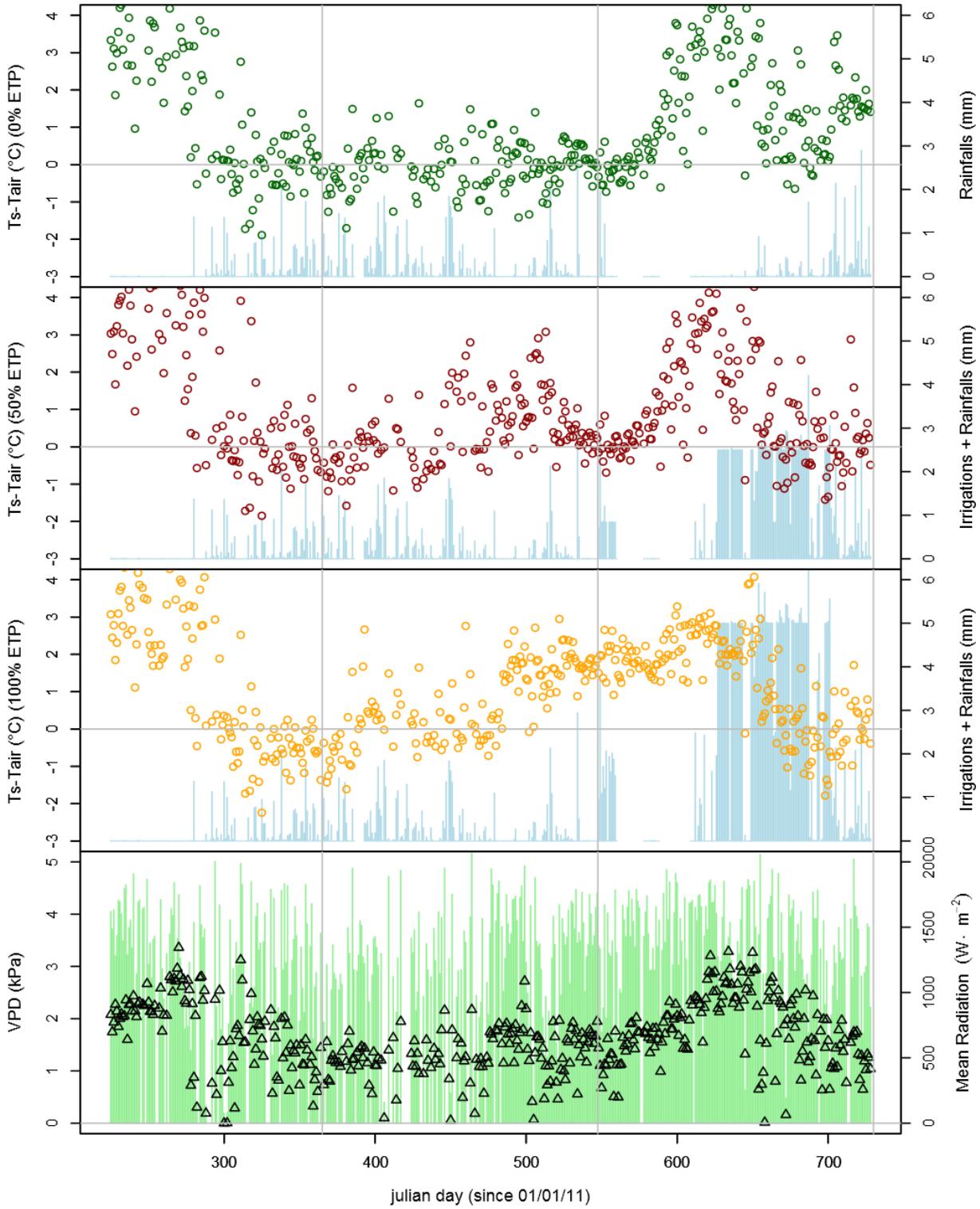
Middle of the palm



Pour le traitement 50% ETP nous avons deux types de nuages de points: rouge clair et rouge foncé car nous avons placé deux capteurs IR120 dans deux directions : est et ouest. Nous constatons que pendant les périodes [400, 500] et [680, 720] les deux capteurs ont tendance à avoir un comportement opposé. Nous tenterons d'expliquer ce phénomène plus tard.

- Capteur visant l'extrémité

Tip of the palm



- Capteur visant le sol

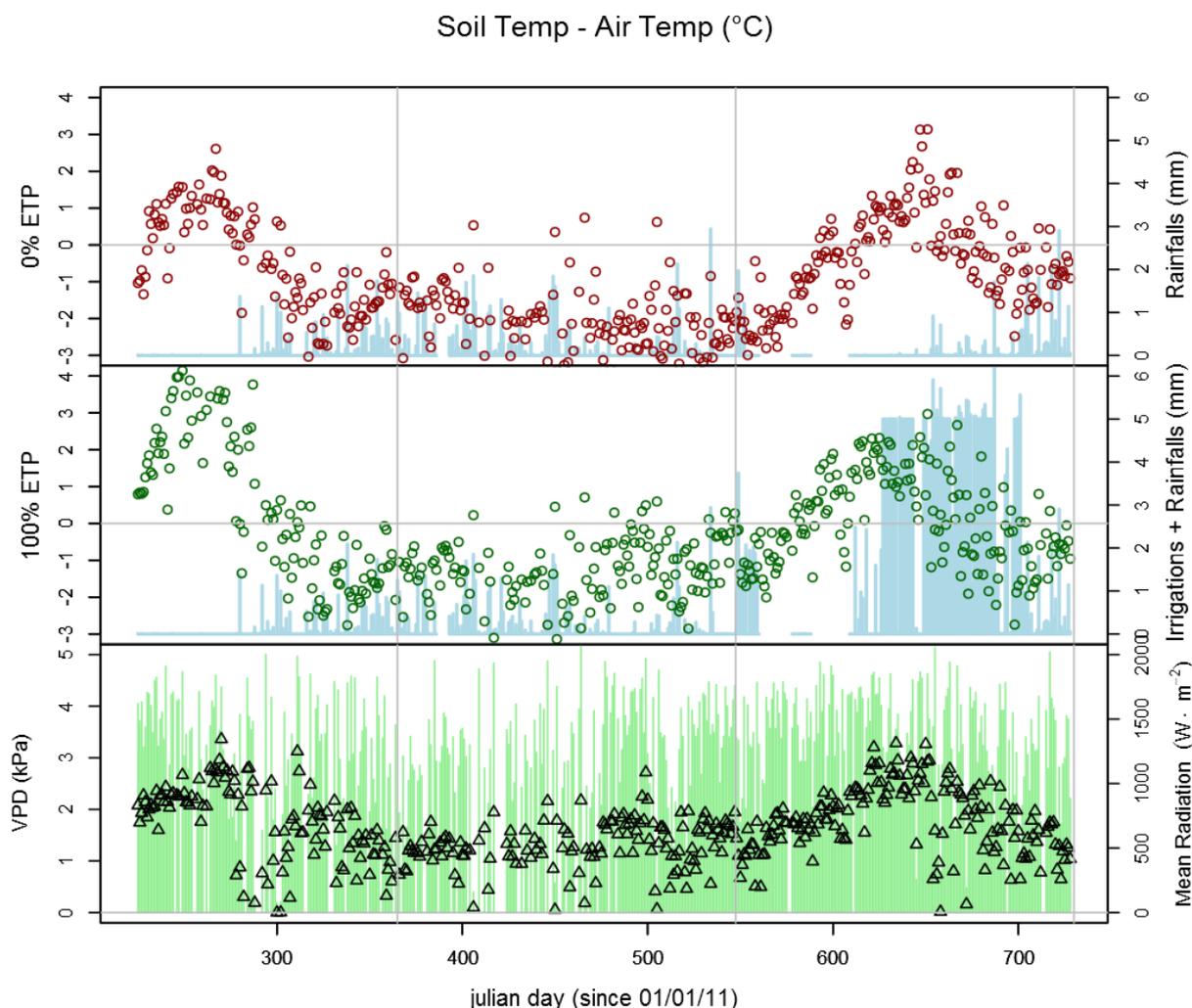


Figure 8: Représentation graphique des différences entre température de surface et température de l'air pour les 3 régimes.

Ces graphiques représentent  $(T_s - T_a)$  pour 0% ETP, 50% ETP et 100% ETP en fonction de la cible visée par le capteur infrarouge thermique: centre du palmier, milieu de palme, extrémité de palme et le sol. Les valeurs de différence de température correspondent à la valeur moyenne observée sur une heure, entre 12 :00 et 13 :00 heure locale. Les précipitations et irrigations correspondent à la somme des quantités d'eau observées sur la journée. Les valeurs de VPD et de rayonnement solaire correspondent à la valeur moyenne observée sur l'heure

A travers ces différents graphiques, il en ressort que le signal reçu par les capteurs restent très bruité. Une étude pertinente et très minutieuse va donc être menée sur ces données de capteurs afin de pouvoir supprimer les passages nuageux, et ainsi atténuer les effets de bruits. Nous allons aussi supprimer les données acquises lorsque les capteurs dérivent.

## **1.2. Prétraitement des données**

Le premier objectif que l'on s'est fixé dans cette partie c'est de pouvoir créer une grande table qui contient les données de capteurs des 3 centrales d'acquisition.

### **a) Fusion de données**

Pour avoir une table bien structurée, nous avons choisi de traiter les données de 2011 et 2012 séparément. Ainsi, nous avons deux tables de données pour chaque centrale CR3000. Nous avons ensuite créé une nouvelle table qui nous servira de référence (*ref.txt*) sur R contenant deux champs :

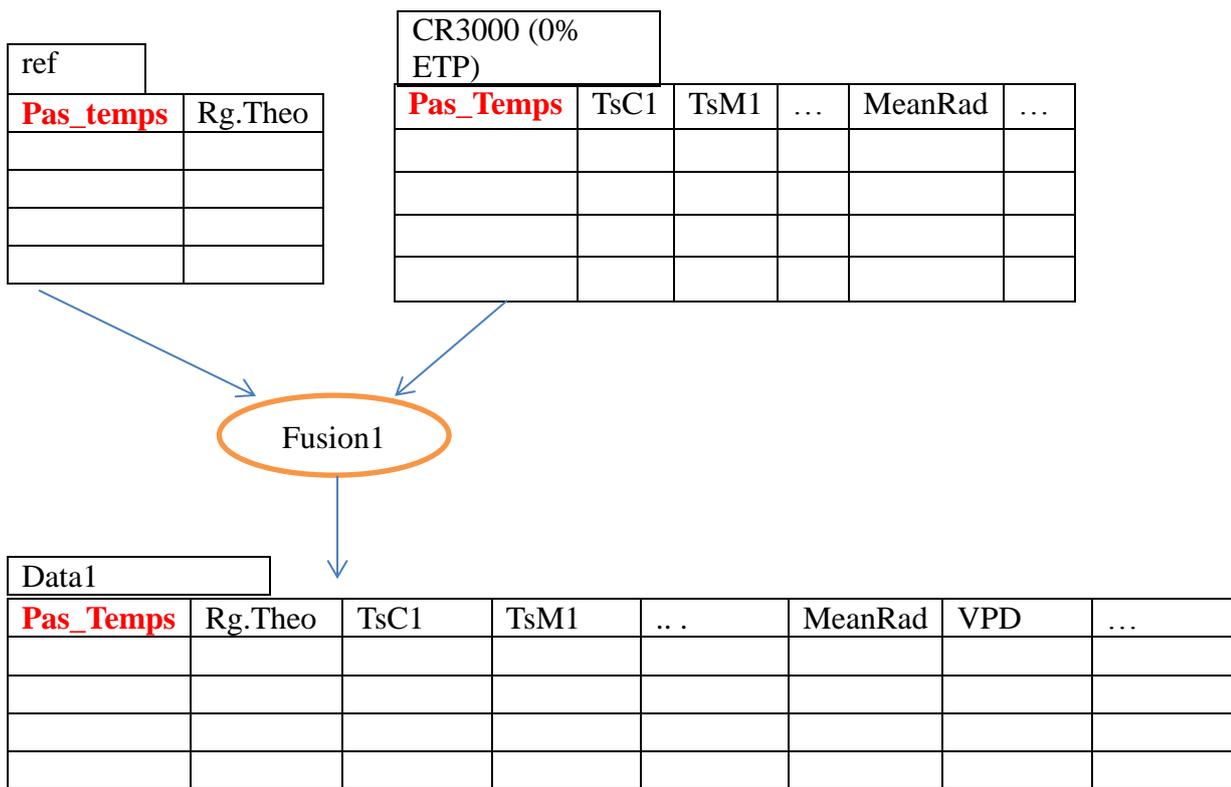
- ✓ une variable *Pas\_Temps* qui calcule le nombre de minutes qui se sont écoulées depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011(ou 2012) jusqu'à la date enregistrée dans la centrale (ce qui correspond à la variable *TIMESTAMP*) et,
- ✓ une variable *Rg.Theo* qui calcule le rayonnement théorique en fonction du jour (*Pas\_Temps*) et de la position du soleil.

Nous avons ensuite vérifié que la différence entre deux pas de temps est égale à cinq minutes; dans le cas contraire cela voudrait dire qu'il y a des données manquantes et il faudrait que cela puisse apparaître dans la table finale (donc remplacer par NA).

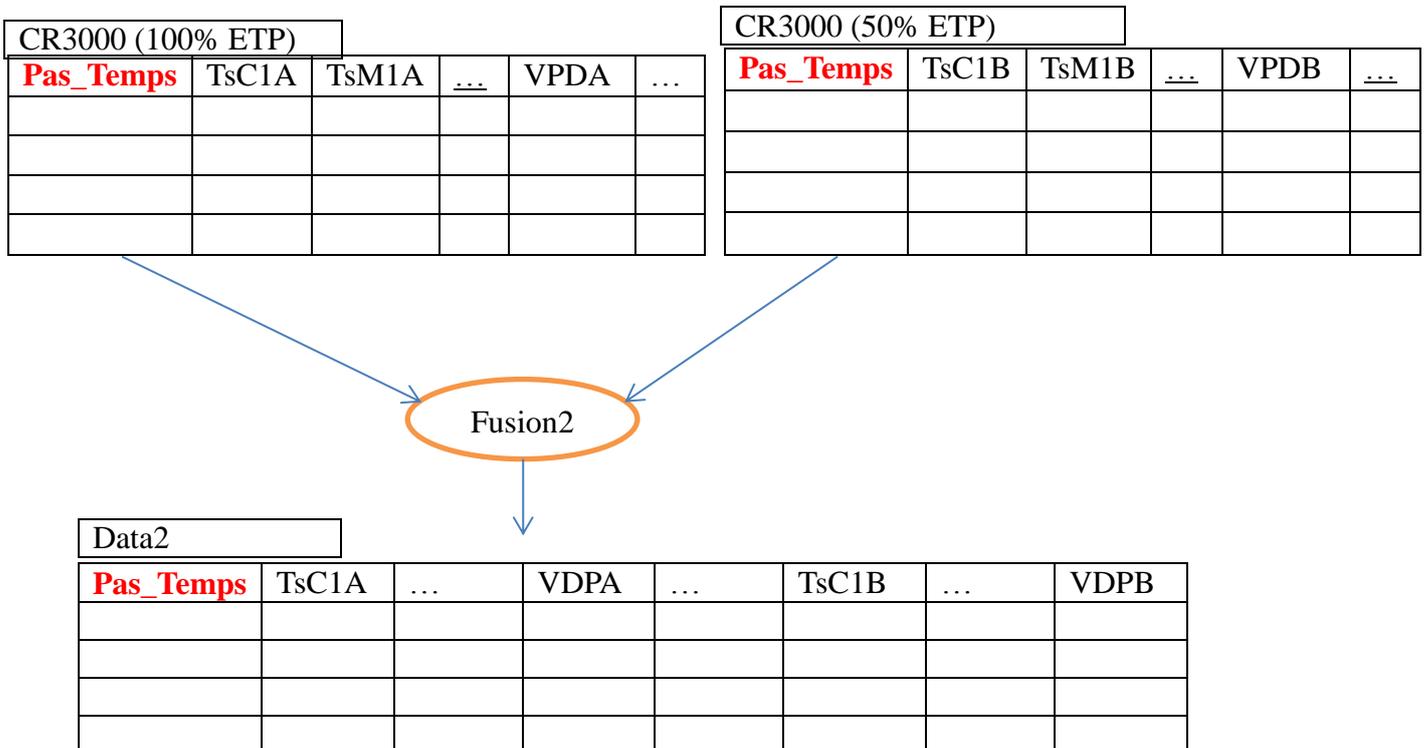
Dans chaque centrale nous avons converti la variable *TIMESTAMP* qui donne la date et l'heure sous le format "13/08/2011 16:35 " en *Pas\_Temps*.

A partir de la table *ref.txt*, nous avons réalisé un script sous R qui fusionne deux à deux (c'est le seul moyen qui existe sur R) les données. Le tableau ci-dessous illustre les principales étapes du script

Etape1



Etape2



Etape3 :

Data2							
Pas_Temps	TsC1A	...	VDPA	...	TsC1B	...	VDPB

Data1							
Pas_Temps	Rg.Theo	TsC1	TsM1	...	MeanRad	VPD	...

Fusion3

Centrale							
Pas_Temps	Rg.Theo	TsC1	...	...	TsC1B	....	VPDB

**b) Calcul d'indices**

Dans cette étape, nous avons calculé :

- ✓ L'irradiation théorique reçue en fonction de la position du soleil et du jour,
- ✓ La différence (Ts-Ta) pour les différentes valeurs de Ts et Ta, et
- ✓ Représenter l'évolution de ces deux paramètres au cours du temps (par tranche horaire).

Les résultats de cette analyse seront présentés dans la partie 4.

## 2. Prétraitement de données de pommiers

Les données de centrales CR100\_4774, CR100\_4775 et météo sont stockées dans plusieurs fichiers (tous les deux ou trois mois) et présente des discontinuités de pas temps. En effet, on des pas de temps de deux minutes et ce pendant des périodes de plus de deux jours à des périodes différentes. Ces variations sont dues au fait que les centrales se déchargent souvent. Il est donc judicieux de construire une base de donnée structure avec des pas de temps constant.

La première étape a consisté à concaténer tous les fichiers en un seul fichier par centrale. Puis, nous avons procédé comme pour les palmiers, aux fusions deux par deux des fichiers concaténés. La table obtenue sera appelée data.

Contrairement aux palmiers, la table data contient toujours les pas de temps de deux. Pour avoir des données toutes les 10 minutes uniquement, sans avoir à supprimer une donnée, nous avons dû faire des interpolations de ces données.

La deuxième étape consiste donc à créer un script qui créé une nouvelle table (newdata) dans laquelle nous allons stocker tous les pas de temps à intervalle de 10 minutes de data, et que nous allons remplir au fur et à mesure. On parcourt, la table data, champ par champ et on vérifie le pas de temps courant est bien un multiple de 10, puis on teste que la différence entre deux temps consécutifs des temps qui sont dans l'intervalle  $[t-30, t+30]$  est égale à 10 dans les cas contraire on fera une interpolation spline cubique ou linéaire.

### 2.1 Interpolation linéaire

Dans le cas d'une interpolation linéaire, on constitue une courbe d'interpolation qui est une succession de segments. Entre deux points  $P_1$  et  $P_2$  de coordonnées respectives  $(x_1, y_1)$  et  $(x_2, y_2)$ , l'interpolation est donnée par la formule suivante

$$y = p \cdot (x - x_1) + y_1$$

Avec la pente  $p$  qui s'exprime comme

$$p = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

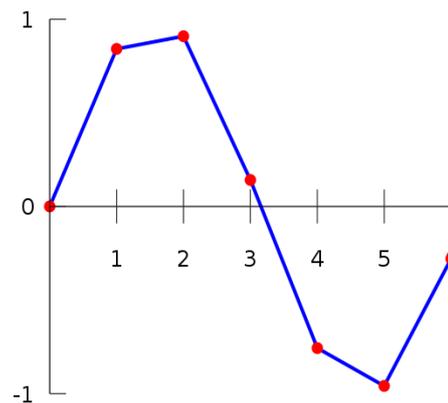


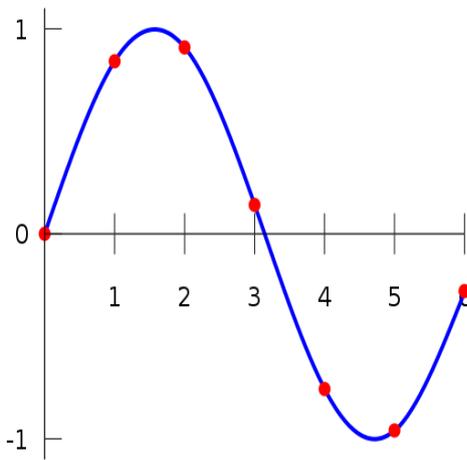
Figure 9: interpolation linéaire

## 2.2 Interpolation spline

Dans le domaine mathématique de l'analyse numérique, une **spline** est une fonction définie par morceaux par des polynômes.

Dans les problèmes d'interpolation, la méthode des splines est souvent préférée à l'interpolation polynomiale, car on obtient des résultats similaires en se servant de polynômes ayant des degrés inférieurs, tout en évitant le phénomène de Runge.

Le phénomène de Runge se manifeste dans le contexte de l'interpolation polynomiale, en particulier l'interpolation de Lagrange. Avec certaines fonctions (même infiniment dérivables), l'augmentation du nombre  $n$  de points d'interpolation ne constitue pas nécessairement une bonne stratégie d'approximation.



Les splines cubiques sont uniformes et définies par des polynômes de degré 3. Le polynôme nécessite 4 contraintes pour être défini. Ces 4 contraintes par intervalle vont nous permettre d'interpoler des courbes splines passant par un ensemble de points donnés.

Figure 10: Interpolation spline cubique

Le choix de l'interpolation repose sur le nombre de valeurs qu'il y a dans cet intervalle.

Après que l'on ait fait l'interpolation la valeur obtenue sera affectée au champ correspondant à l'instant  $t$  égale au pas de temps courant.

Nous avons rajouté une variable supplémentaire qui permet de signaler si la valeur stockée dans `newdata` est exacte ou a été interpolée (important pour l'interprétation de l'analyse de données).

## V. ANALYSE DE RESULTAT ET PERSEPCTIF

### 1. Palmiers

#### a) Rayonnements

Compte tenu des résultats de la figure 7, nous avons choisi de comparer le rayonnement mesuré (la courbe en noir) par nos capteurs et le rayonnement théorique (la courbe en bleu). Les bandes Rouges représentent la plage du midi solaire. Nous avons choisi 4 jours pendant lesquels il y a du soleil Du 18 au 23 août 2011 et 2012 (qui correspondent à 230-235 julian day).

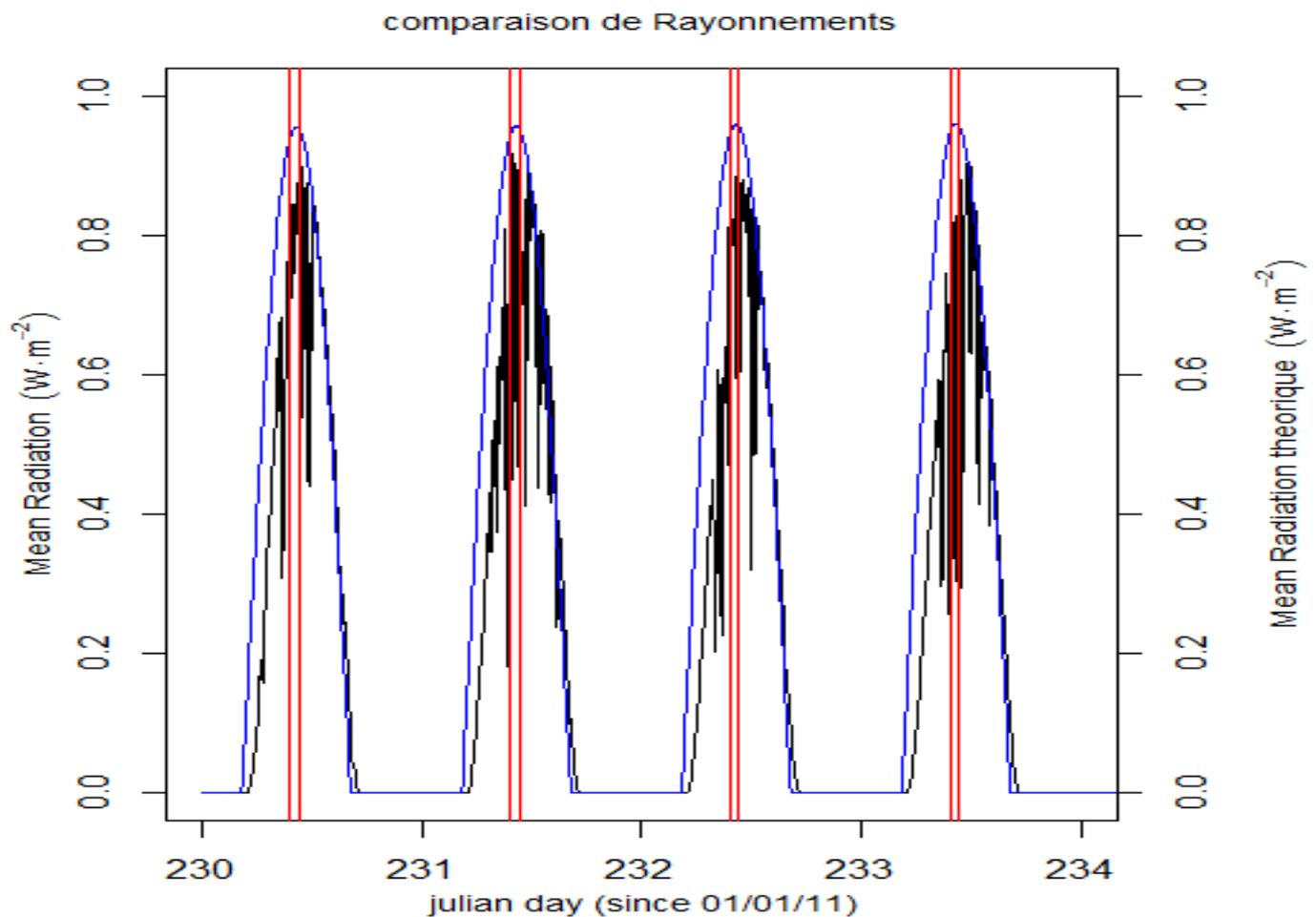


Figure 11: Les Rayonnements en 2011

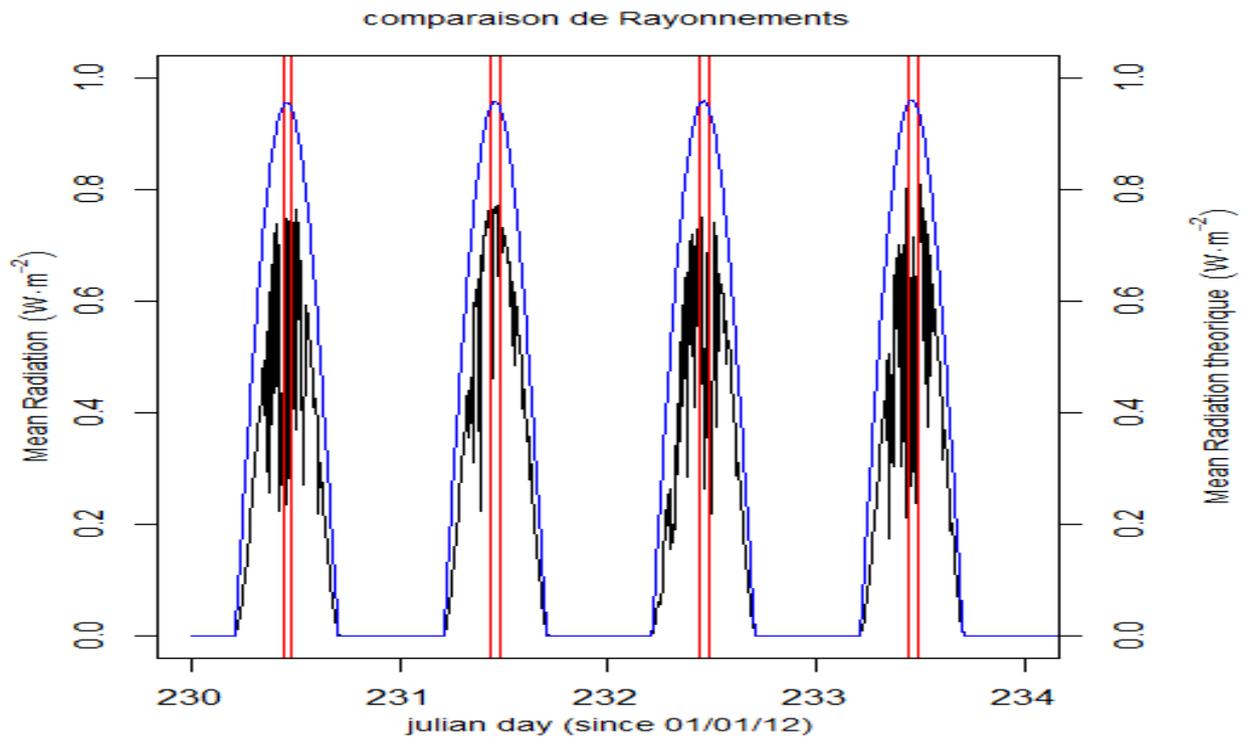


Figure 12: Les Rayonnements émis et reçu en 2012

On constate que le rayonnement net ( $R_{g.net}$ ) en 2011 est très proche du rayonnement théorique, contrairement à 2012, mais il varie beaucoup. Pour supprimer ces variations, nous avons fixé une valeur seuil de  $R_{g.net}$  à partir de l'angle d'incidence ( $\alpha$ ) que fait le soleil avec la normale unité de la cible.

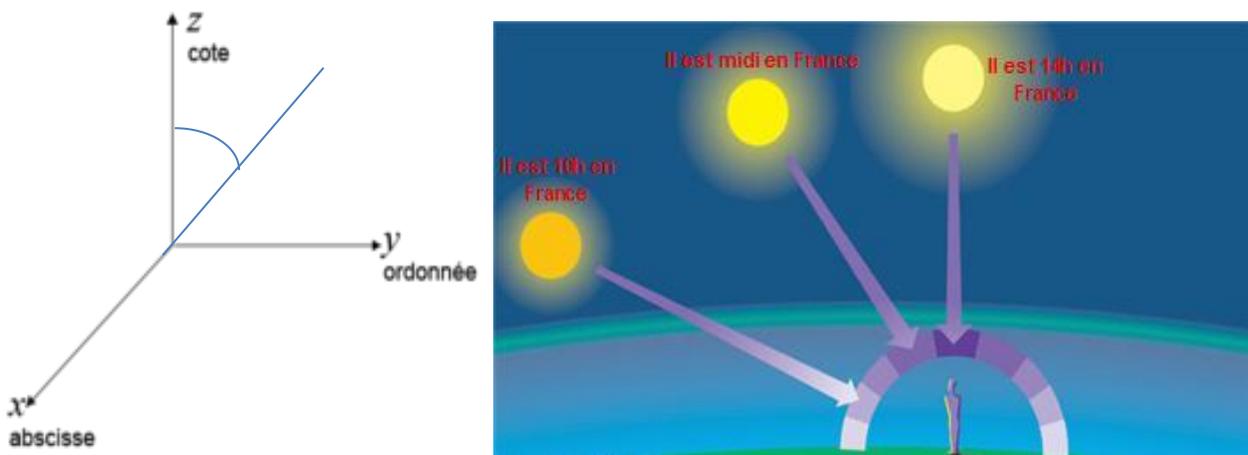


Figure 13: Angle d'incidence du rayonnement solaire

b) Etude du rayonnement lorsque  $\alpha=45^\circ$

❖ Données sur 2011

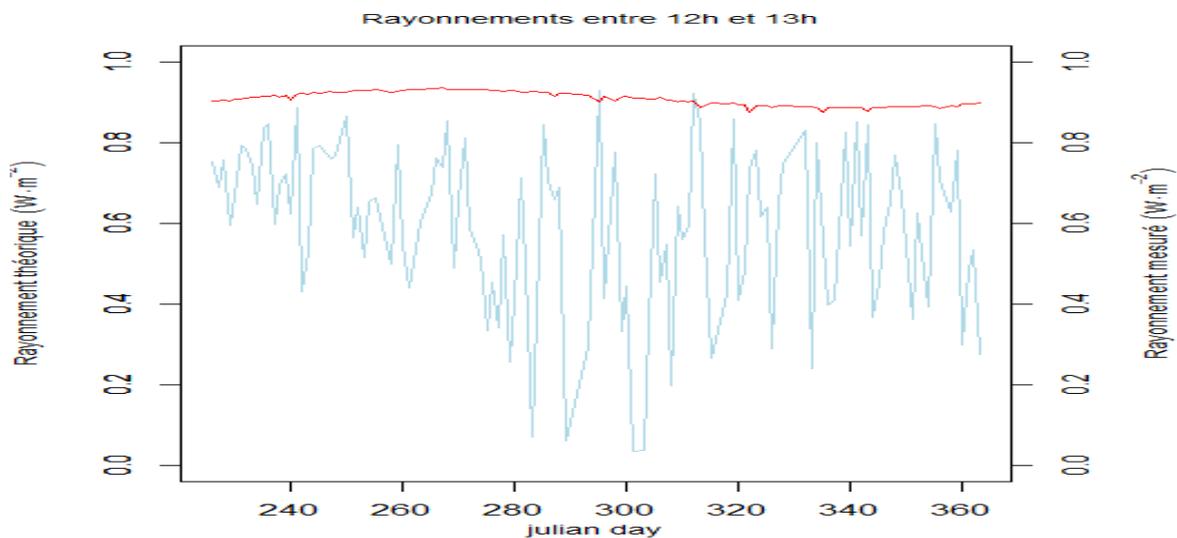


Figure 14: Rayonnement (12-13h) 2011

❖ Données sur 2012

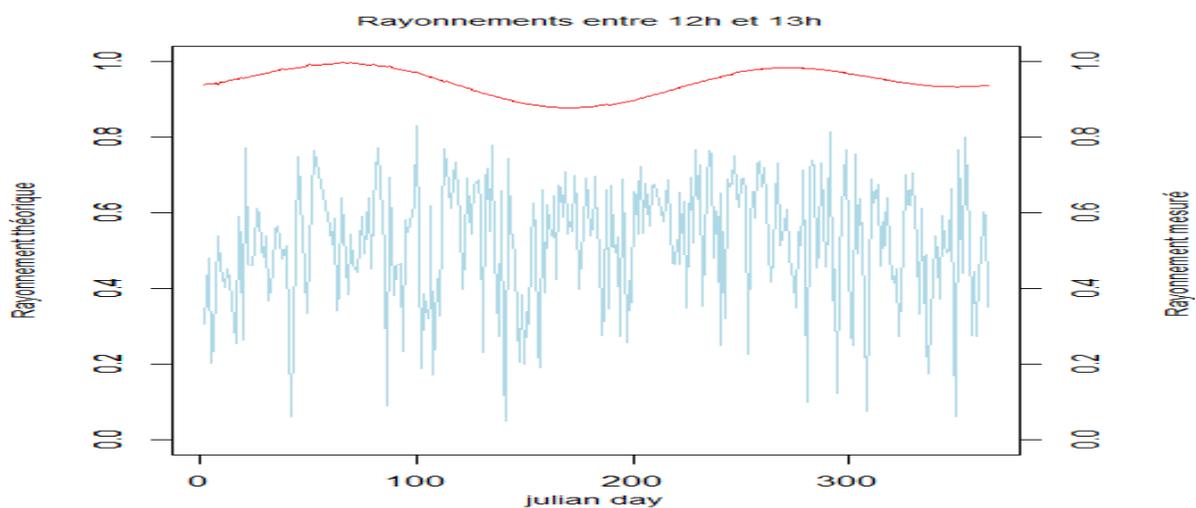


Figure 15: Rayonnement (12-13h) 2012

Bien que les deux rayonnements aient une même allure, certaines valeurs du rayonnement réel sont aberrantes, car on devrait avoir que des valeurs maximales de  $R_g$ . Nous allons étudier les variations de température de surface pendant cette période du midi solaire.

### c) Comportement thermique de chaque arbre (Ts- Ta) avant filtration de données

Dans cette rubrique, nous allons étudier l'évolution ou les variations au cours du temps de la moyenne (Ts- Ta) en fonction du rayonnement réel mesuré. Puisque nous avons 3 traitements différents 0, 50, 100 % ETP et 4 capteurs pour chaque cible (milieu de la palme, centre du palmier, extrémité de la palme et sol) ; Nous allons d'abord analyser les données pour chaque traitement, puis pour chaque cible.

#### ❖ Par traitement

##### ✓ 0% ETP

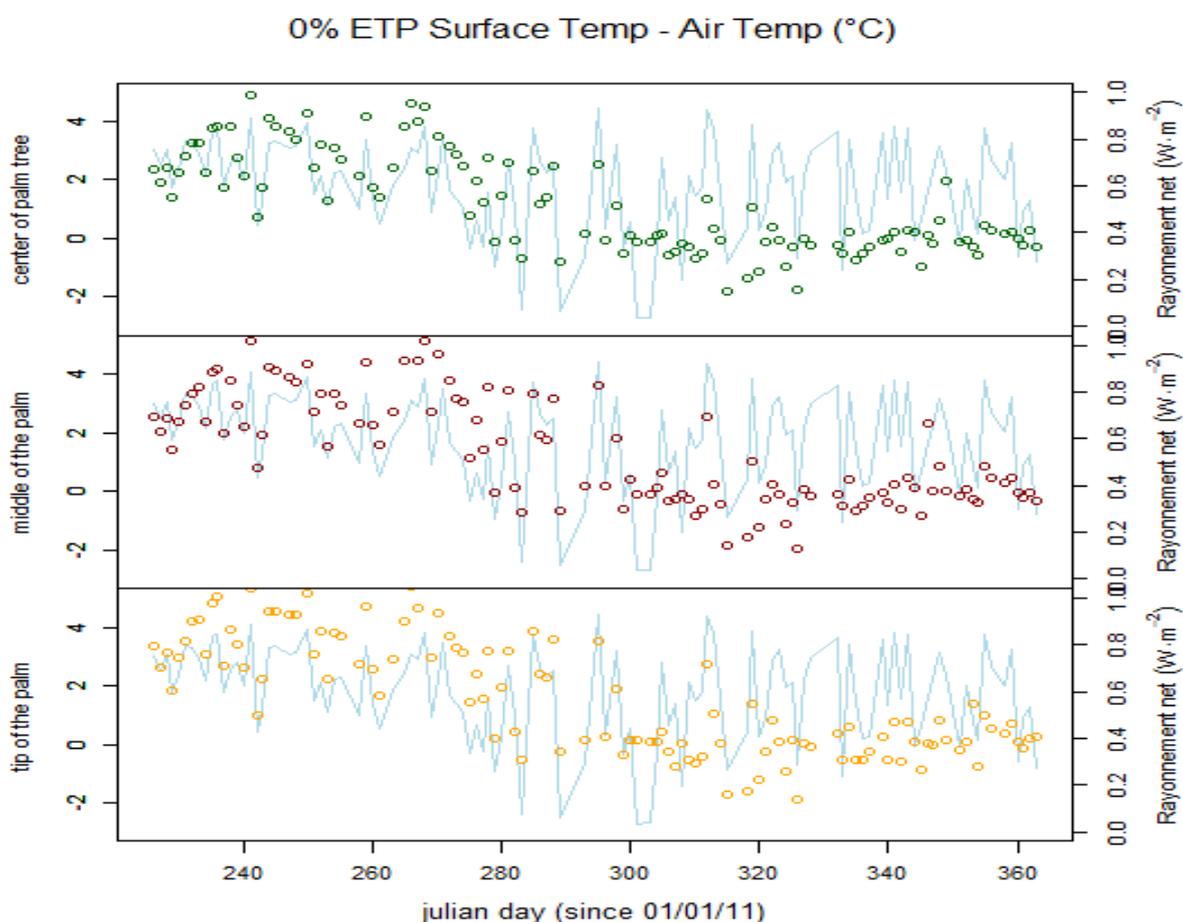


Figure 16: (Ts-Ta) 0% ETP entre 12-13h (2011)

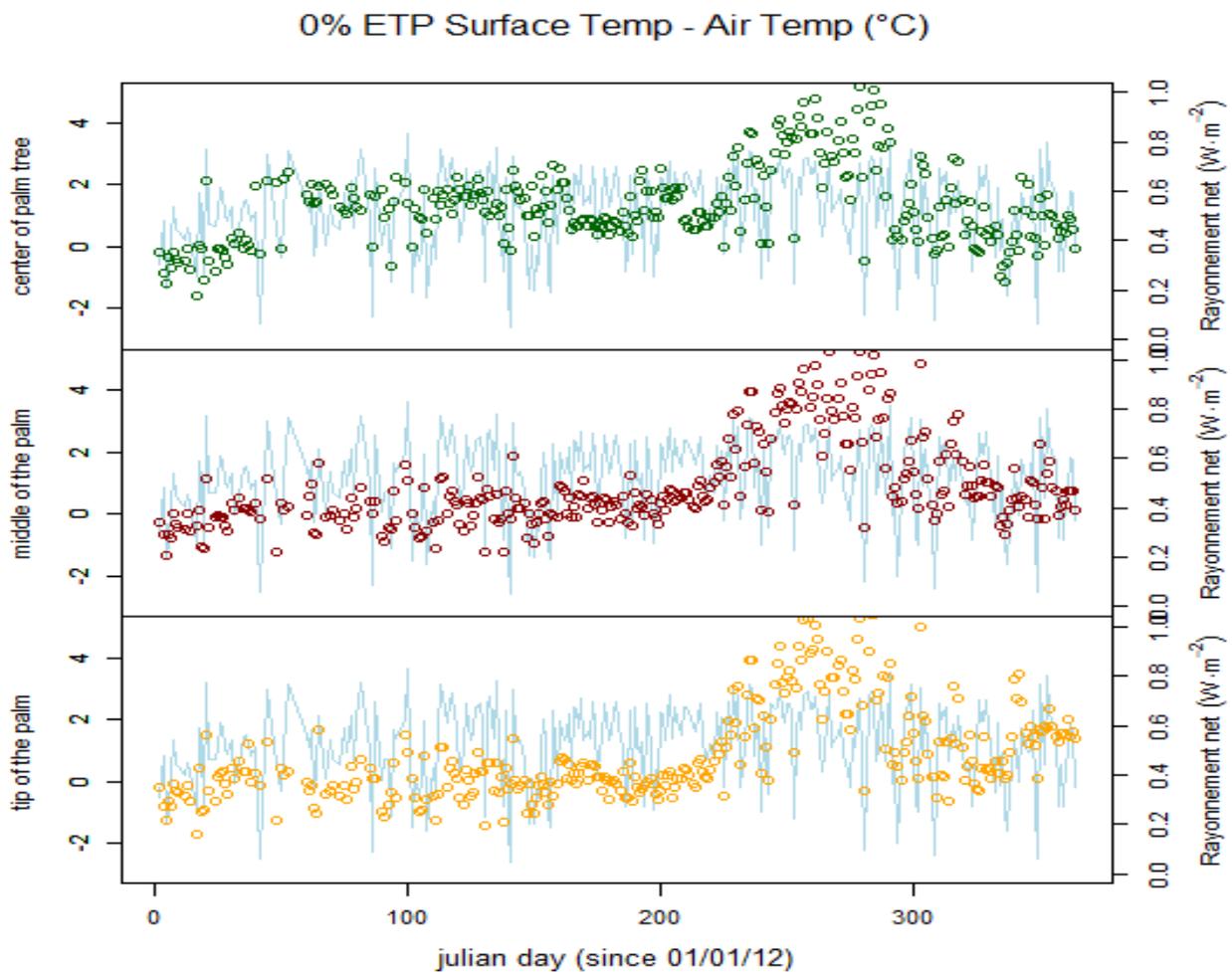


Figure 17:  $(T_s - T_a)$  0% ETP entre 12-13h (2011)

Les données 2012 sont plus volumineuses que 2011 (début de l'expérimentation le 13/08/11) ce qui explique le nuage de point bruité. En outre, quelle que soit la cible visée, la différence de température entre les capteurs est inférieure ou égale à  $2^\circ$  Celsius. Ceci permet de valider l'état de fonctionnement de nos capteurs.

✓ **50 %ETP**

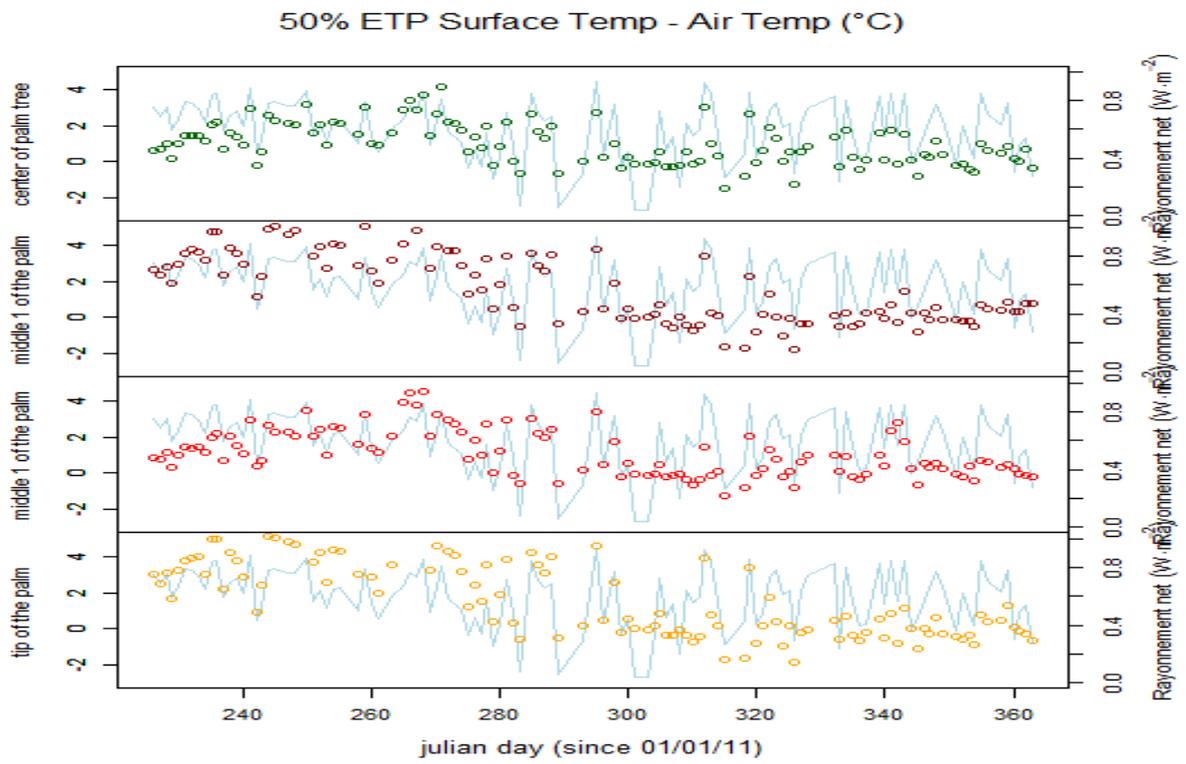


Figure 18: (Ts-Ta) 5% ETP entre 12-13h (2011)

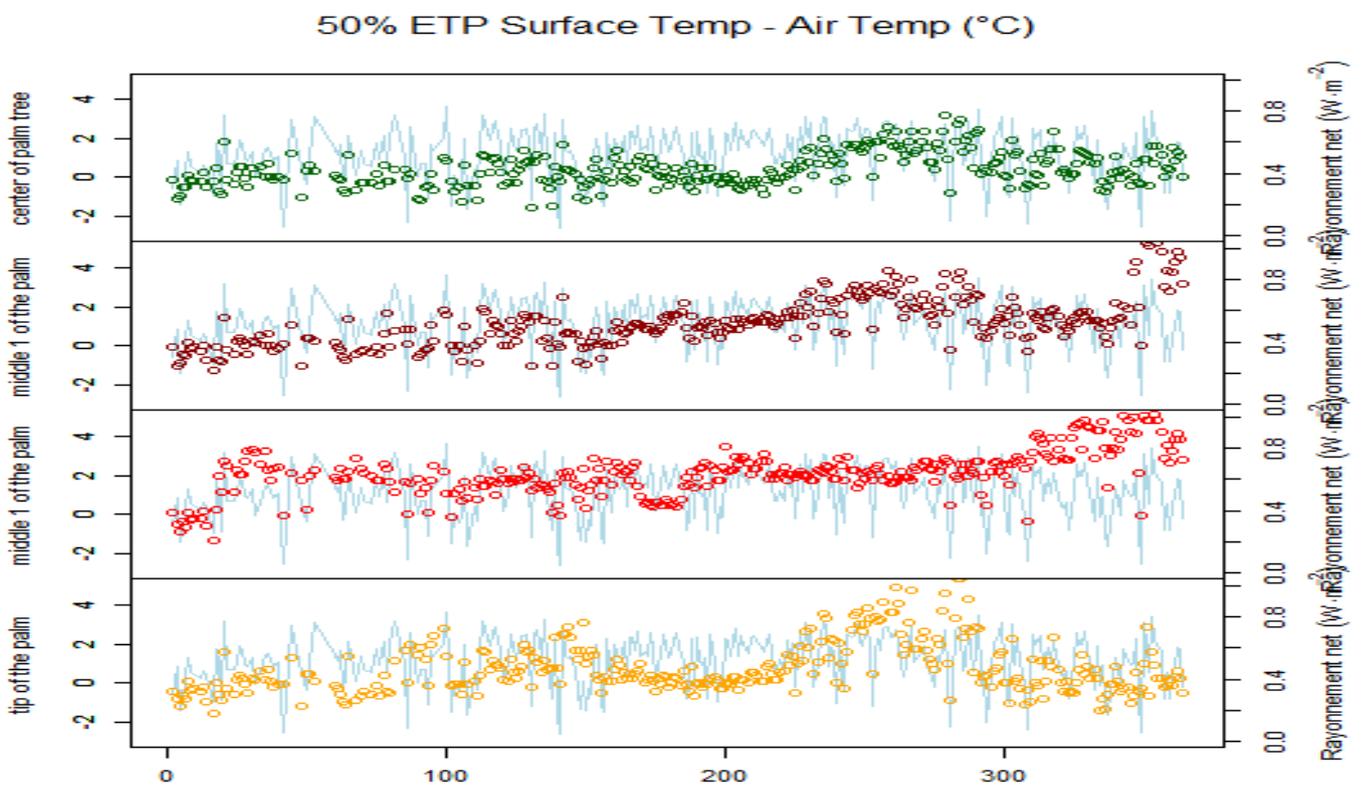


Figure 19: (Ts-Ta) 5% ETP entre 12-13h (2012)

✓ **100% ETP**

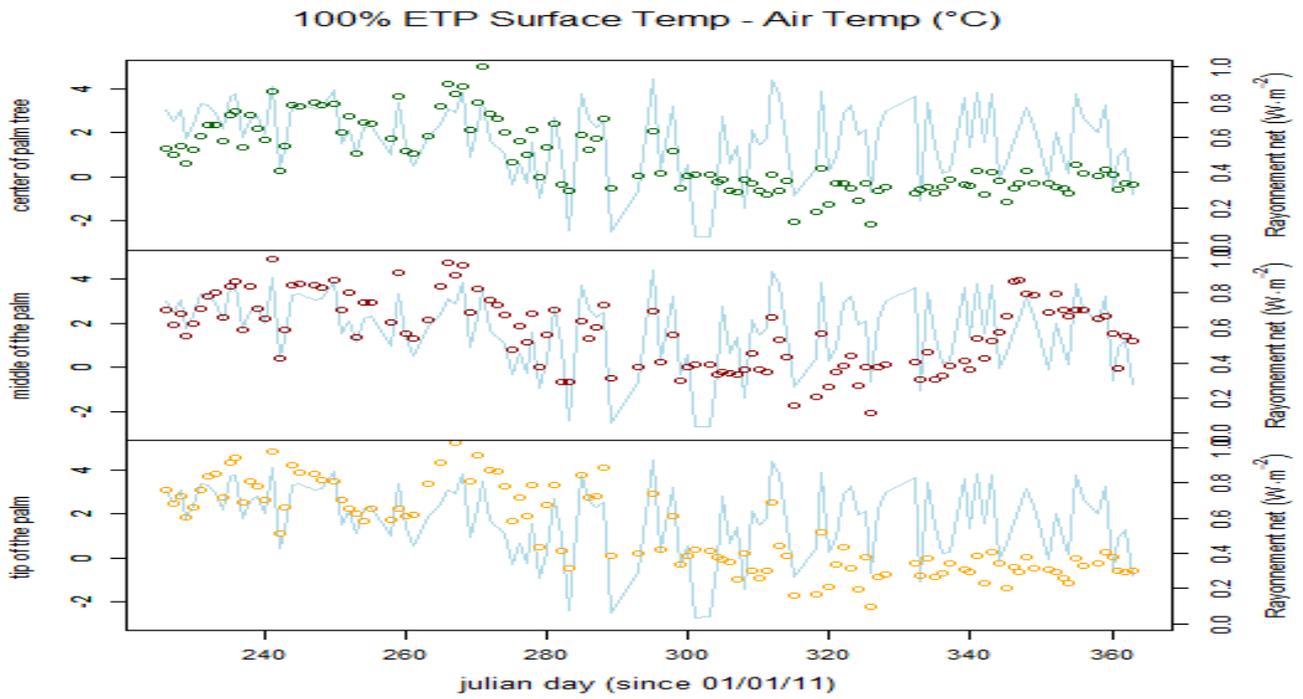


Figure 20:  $(T_s - T_a)$  100% ETP entre 12-13h (2011)

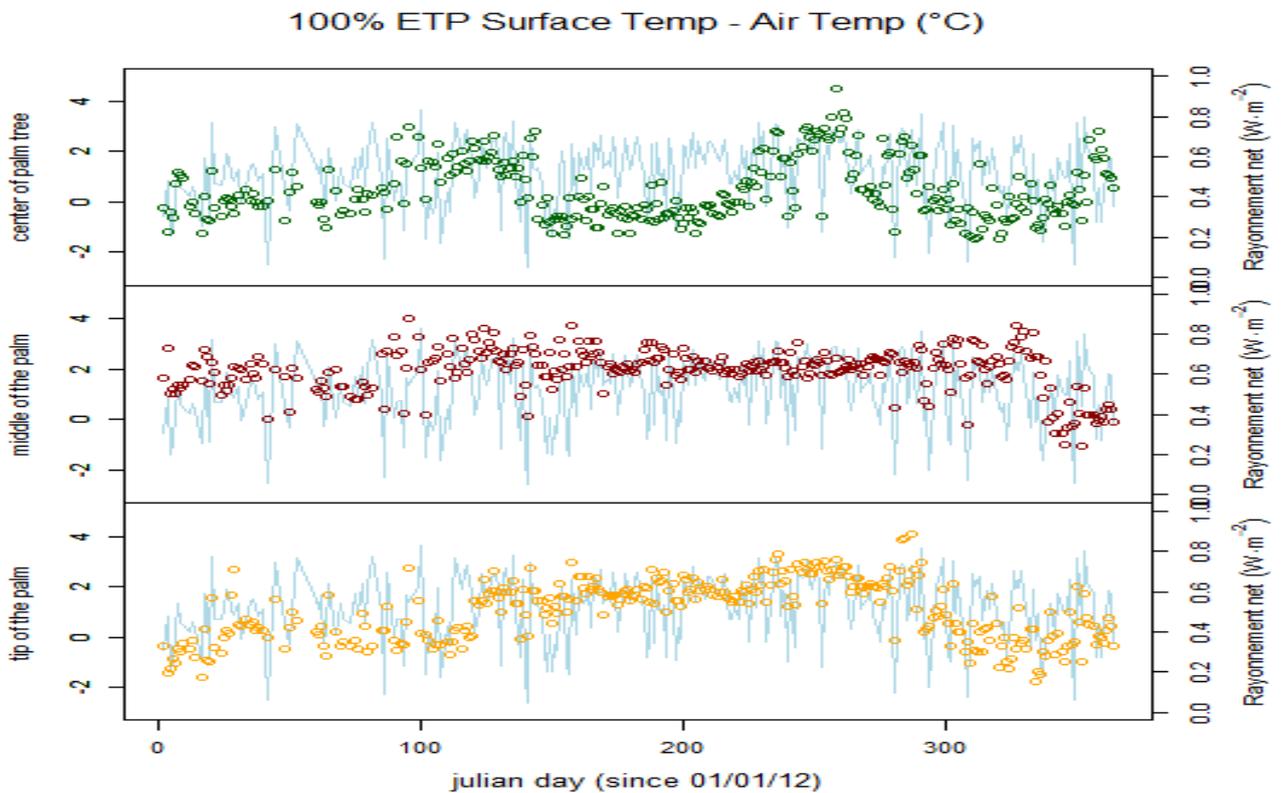


Figure 21:  $(T_s - T_a)$  100% ETP entre 12-13h (2012)

Pour, des raisons jusqu'à lors inconnues, on remarque que pour le traitement 100% ETP, le centre de la palme a un comportement différent de celui du milieu et de l'extrémité de la palme.

Nous allons maintenant nous intéresser à ce qui se passe au niveau des 3traitements pour une position donnée.

❖ Par position du capteur

✓ Le centre

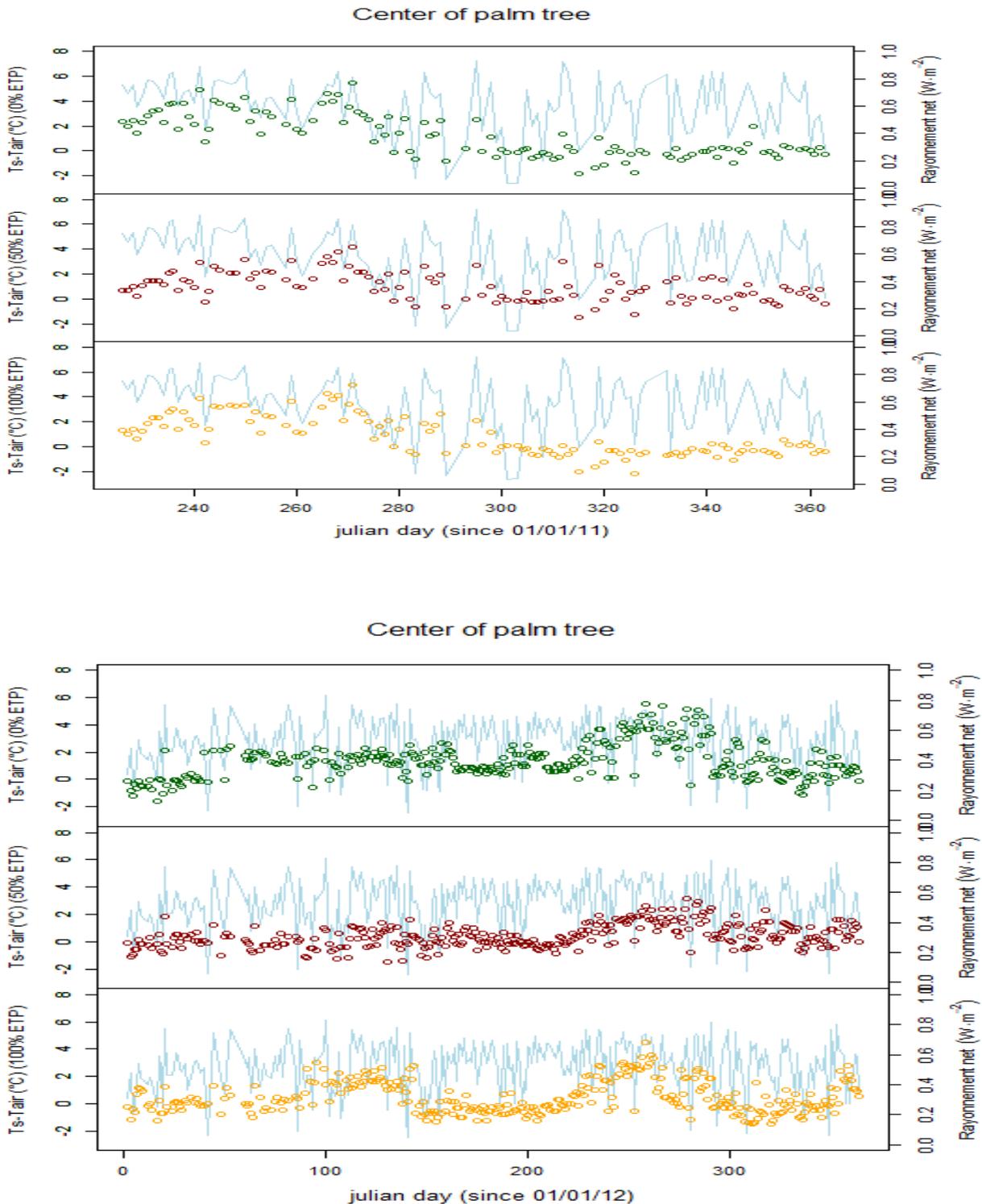


Figure 22: (Ts-Ta) au centre du palmier entre 12-13h (2011 et 2012)

✓ Le milieu

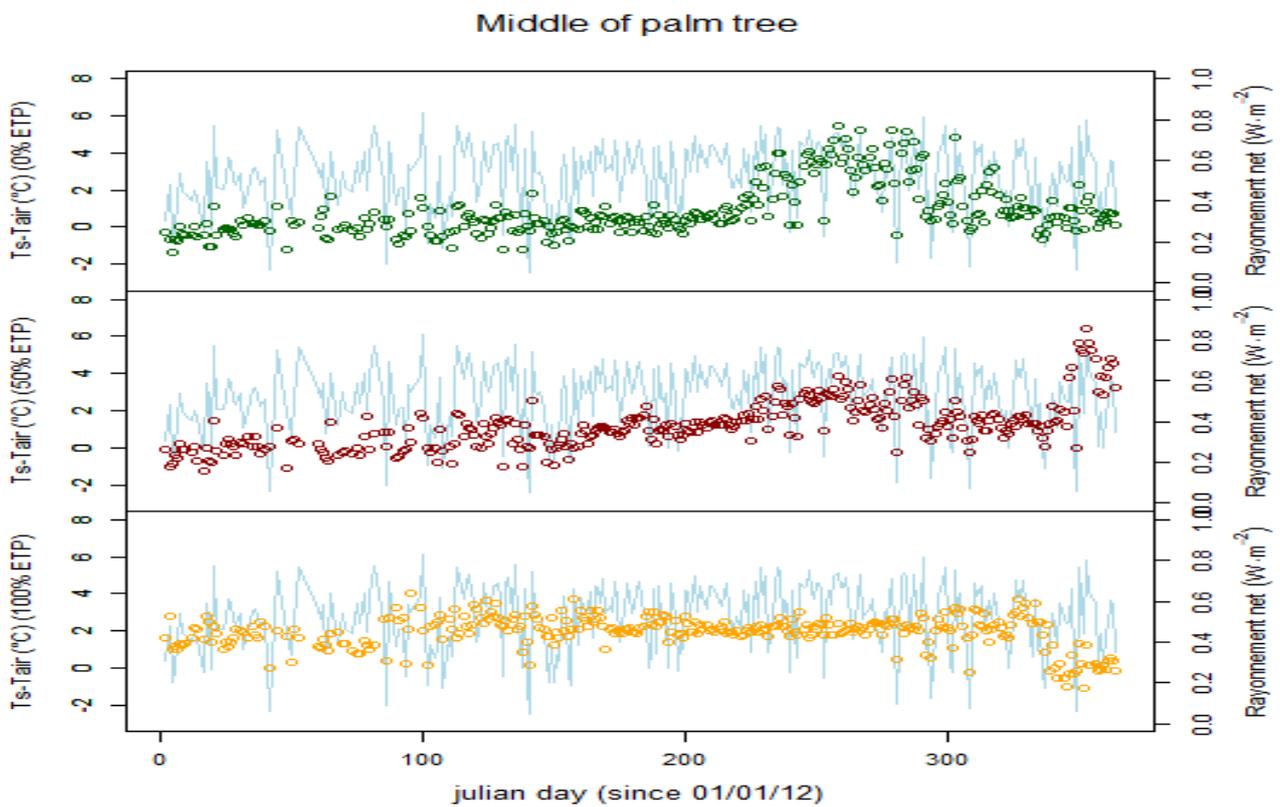
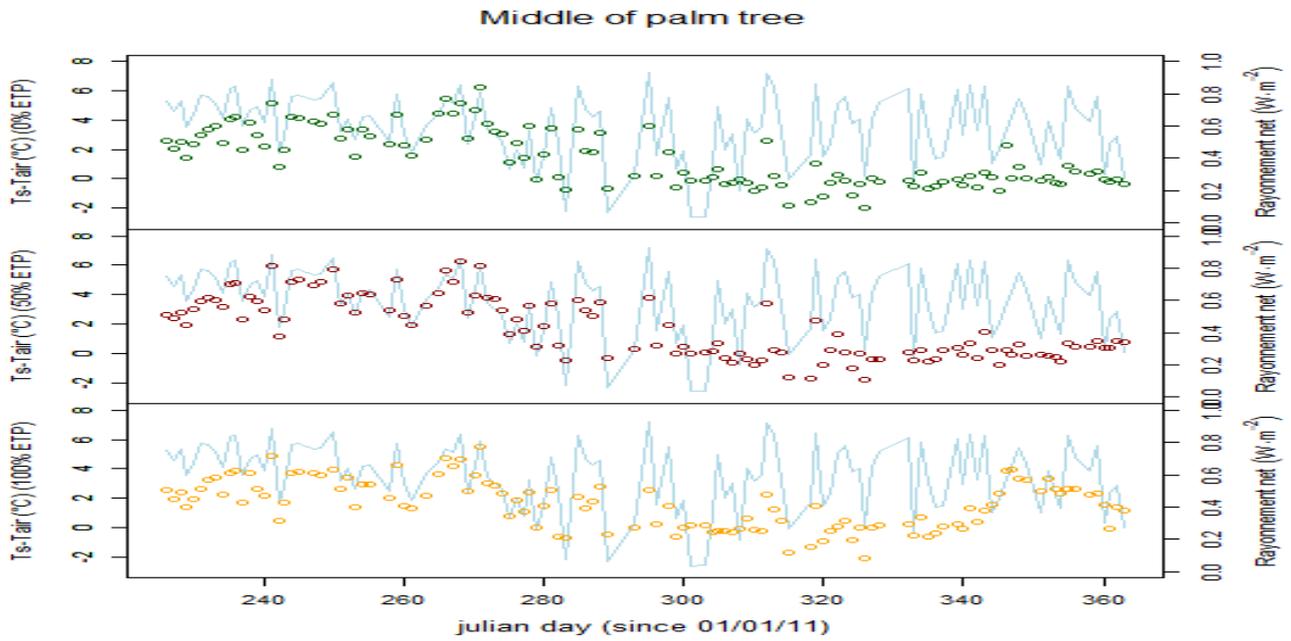


Figure 23: (Ts-Ta) au milieu de la palme, entre 12-13h (2011 et 2012)

✓ L'extrémité

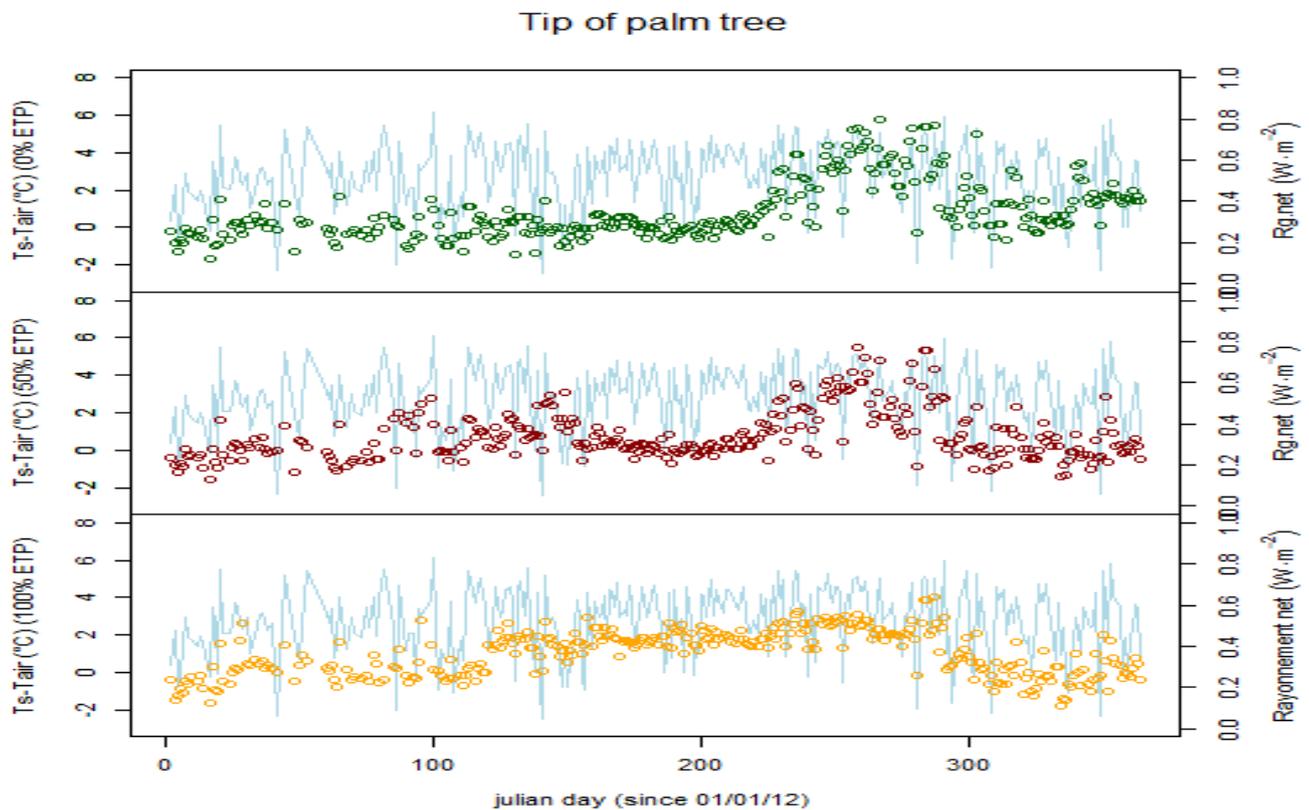
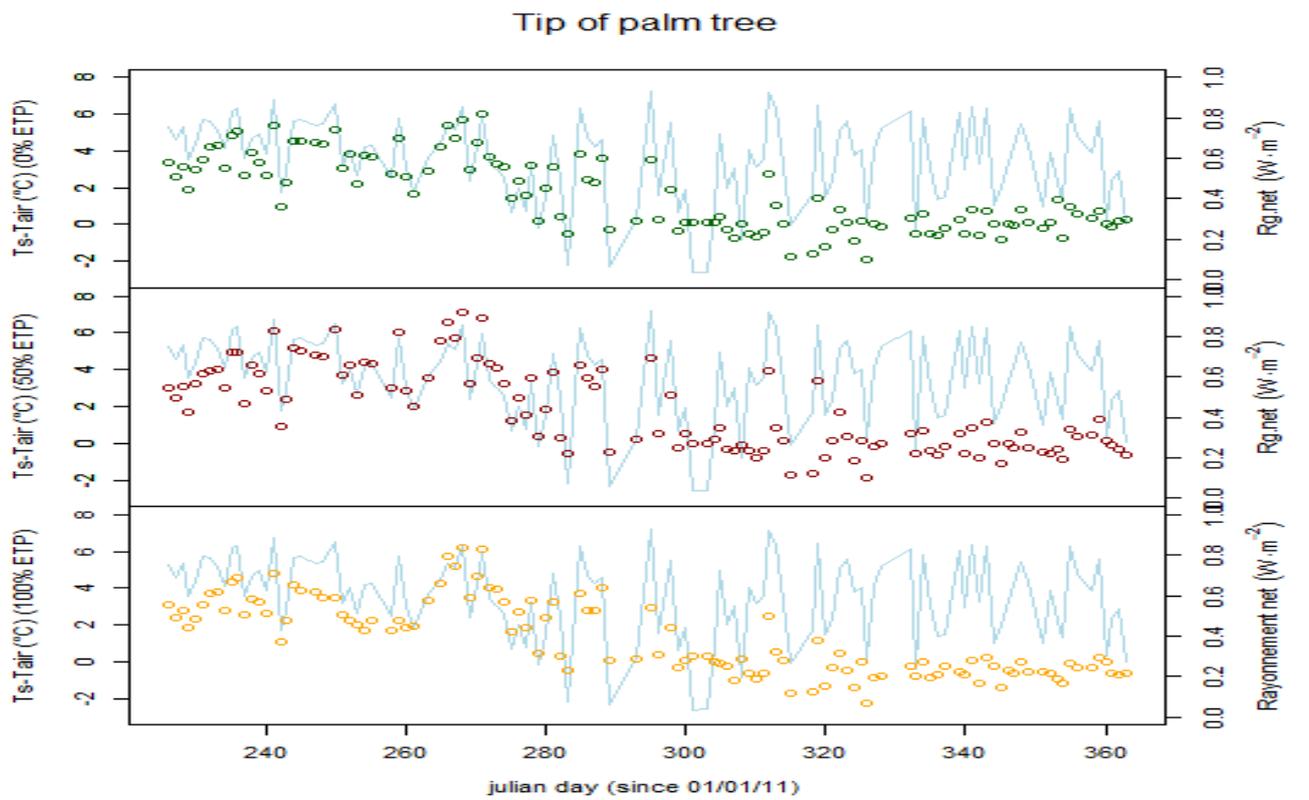


Figure 24: ( $T_s - T_a$ ) à l'extrémité de la palme, entre 12-13h (2011 et 2012)

✓ Le sol

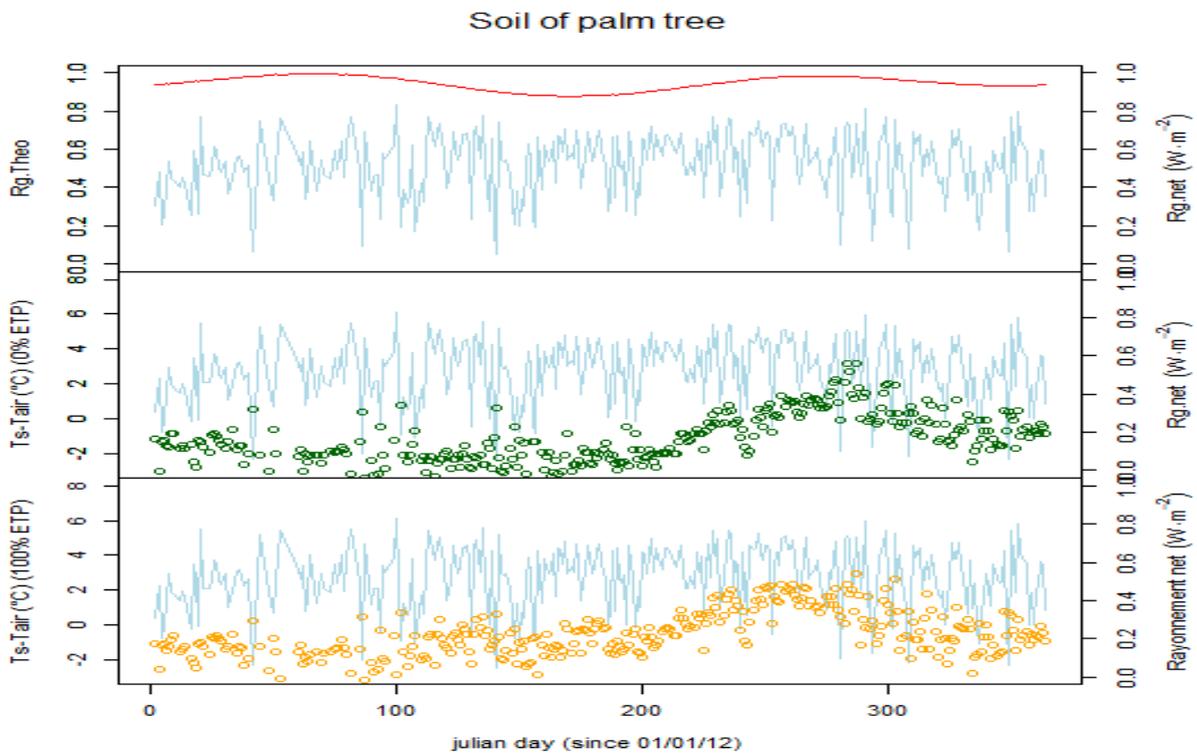
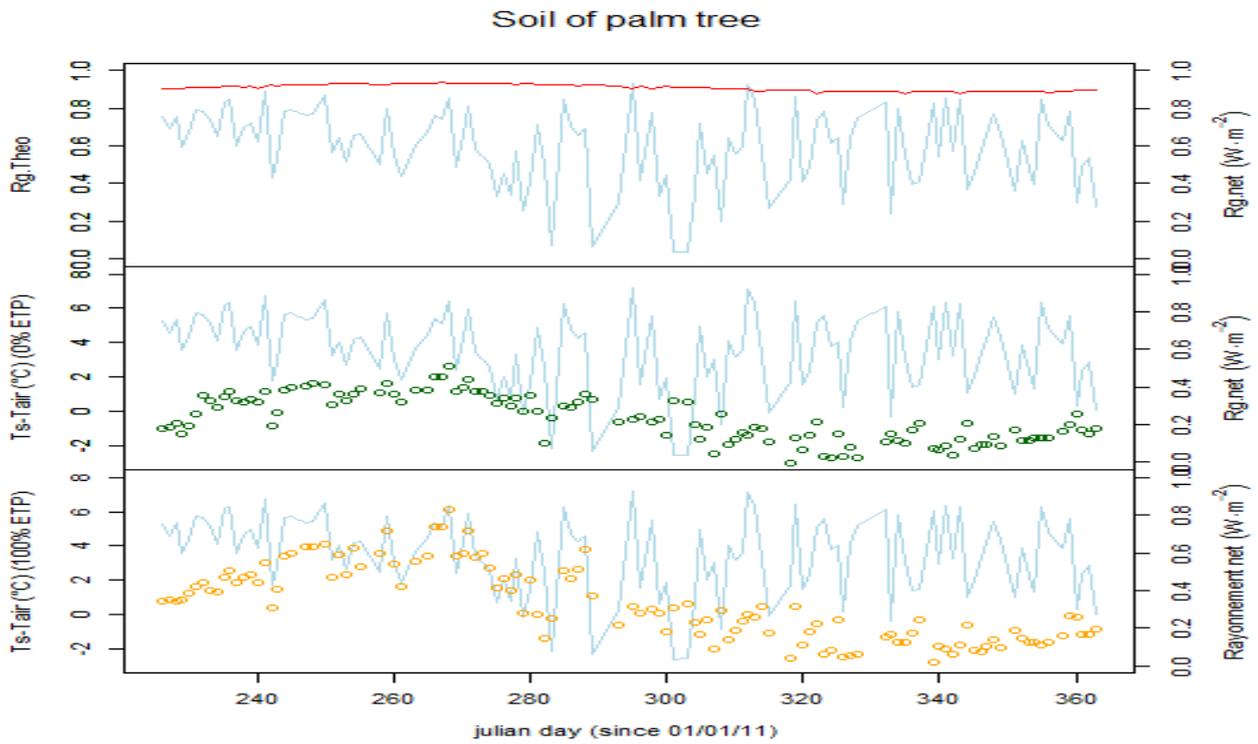


Figure 25:  $(Ts-Ta)$  au sol, entre 12-13h (2011 et 2012)

La moyenne horaire ( $T_s - T_a$ ) varie beaucoup dans les 4 cas de figures, mais, on constate que cette différence de température (de l'ordre de  $3^\circ\text{C}$ ) est bien marquée entre un sujet bien irrigué et celui stressé.

Nous allons Présenter quelques résultats après filtration du bruit observé dans nos données.

**d) Résultats après filtration**

✓ **Centre**

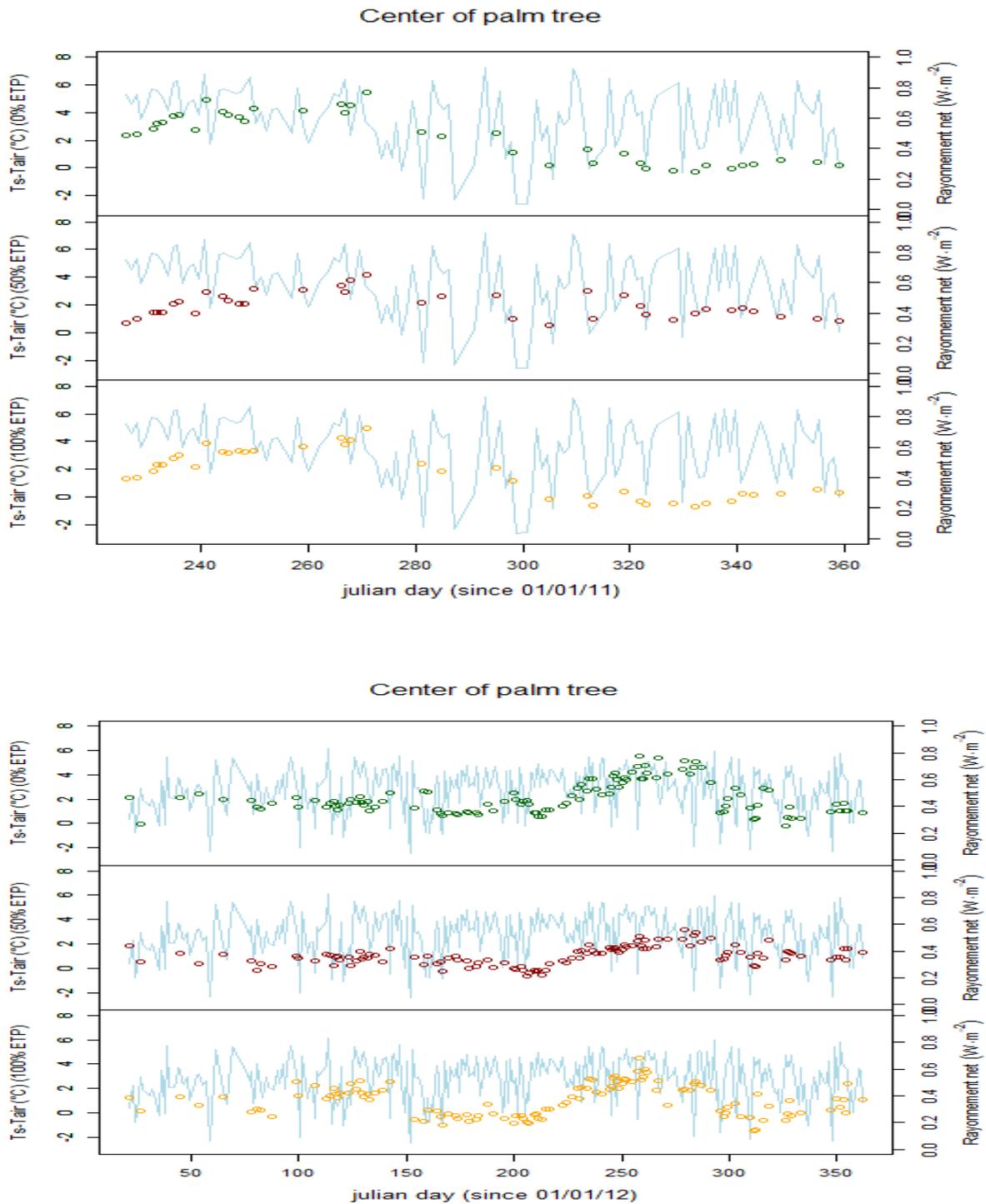


Figure 26: ( $T_s - T_a$ ) filtré au centre, entre 12-13h (2011 et 2012)

✓ Milieu

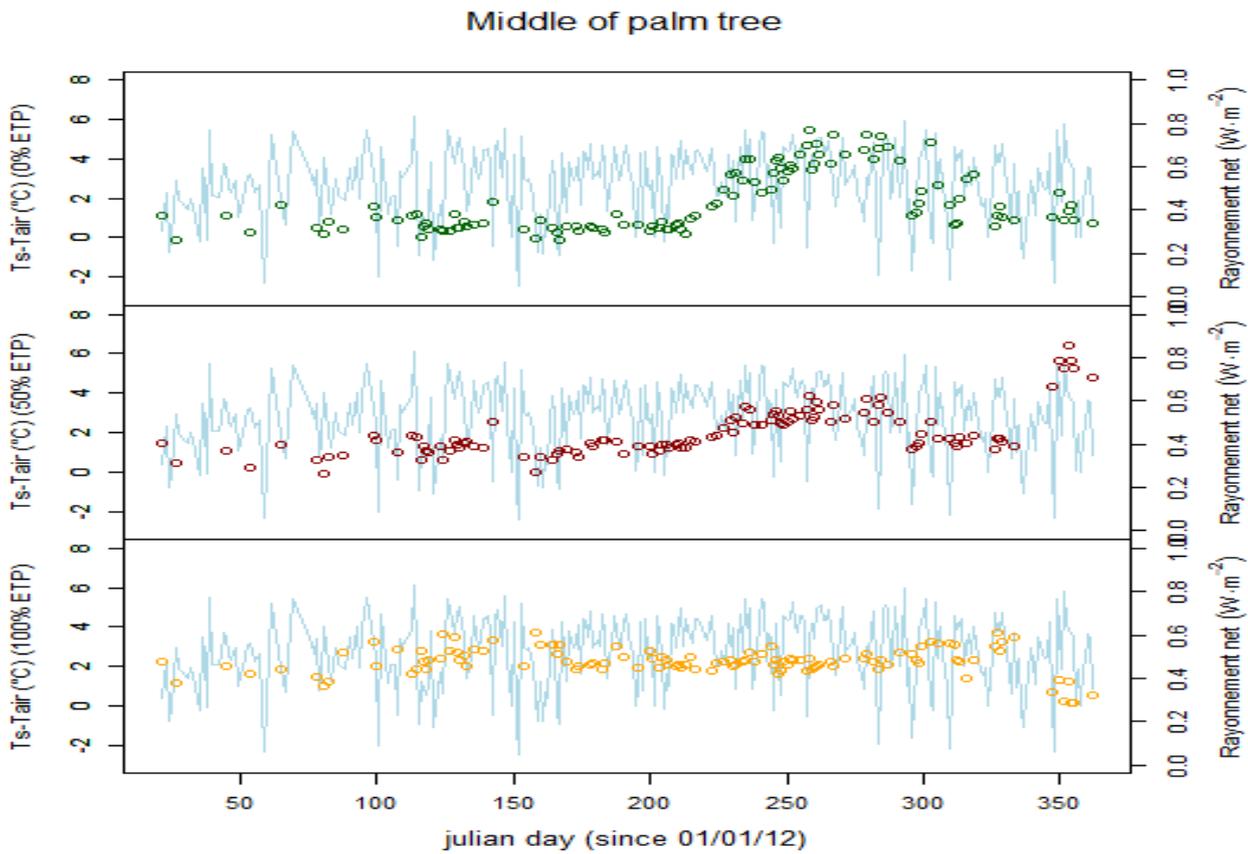
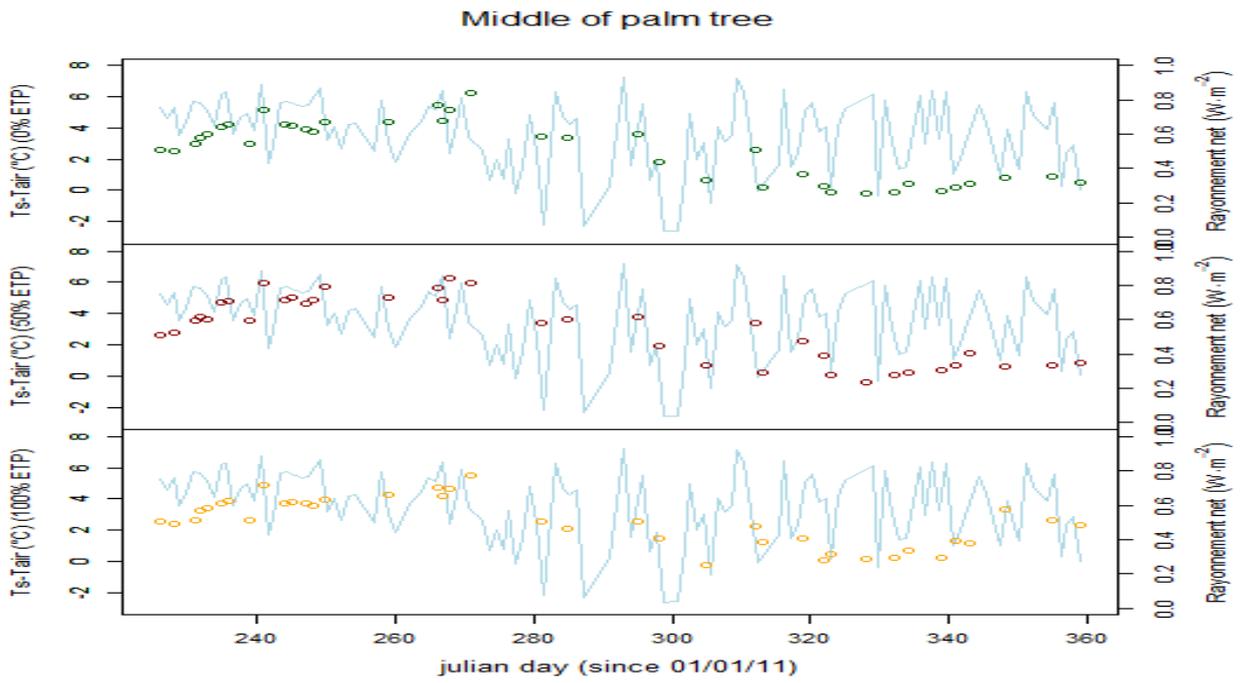


Figure 27:  $(T_s - T_{air})$  filtré au milieu, entre 12-13h (2011 et 2012)

✓ Extrémité

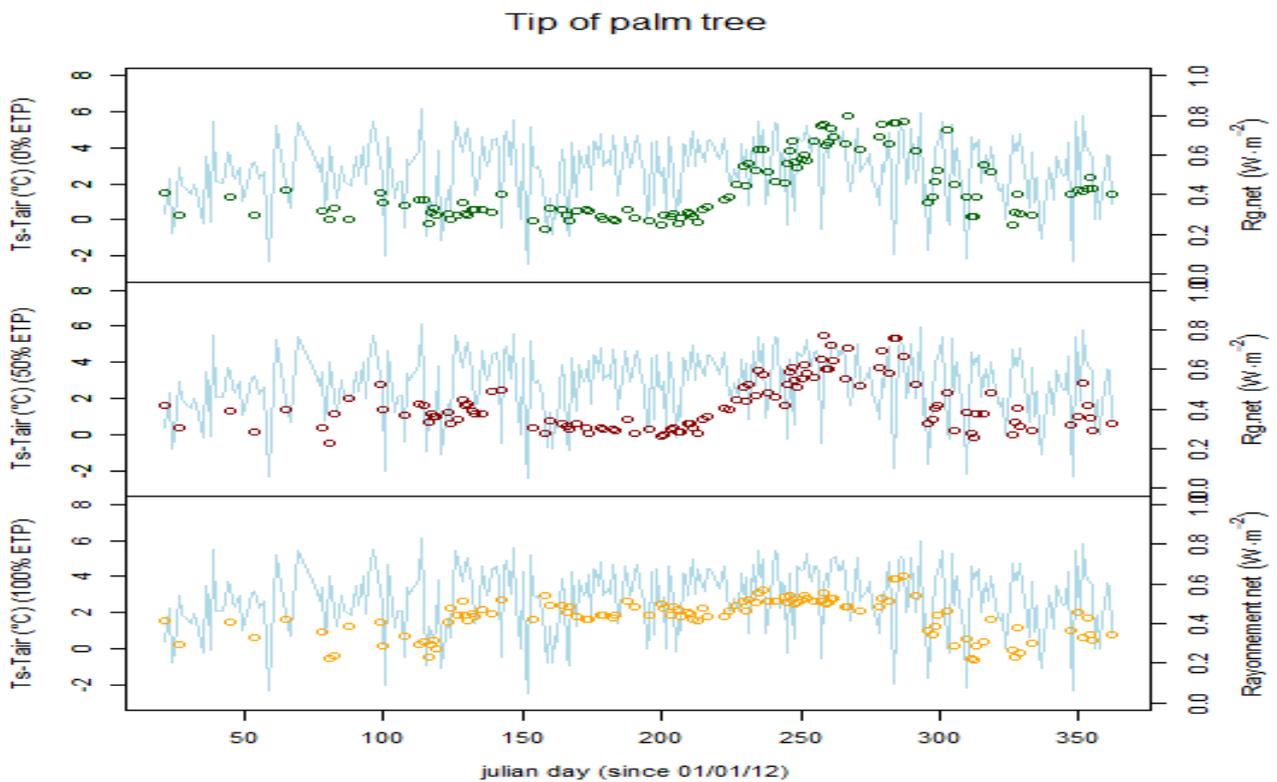
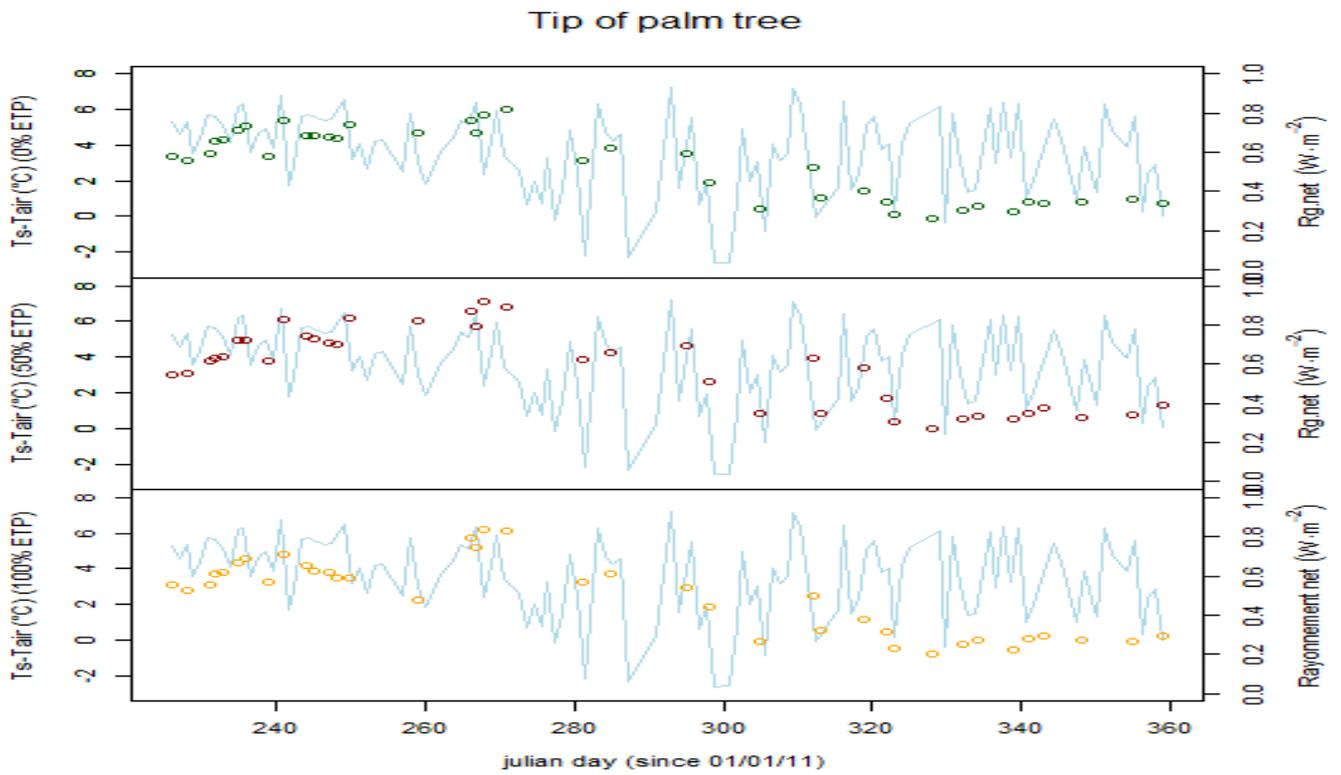


Figure 28: (Ts-Ta) filtré à l'extrémité, entre 12-13h (2011 et 2012)

✓ Sol

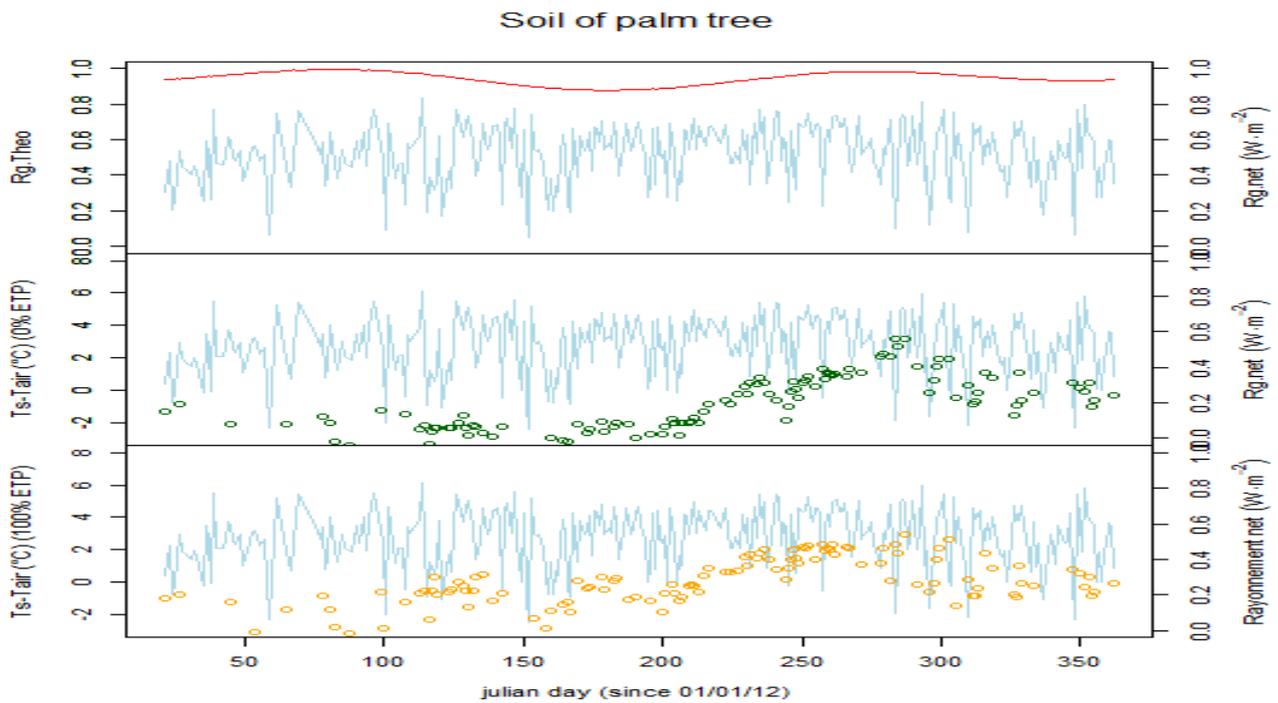
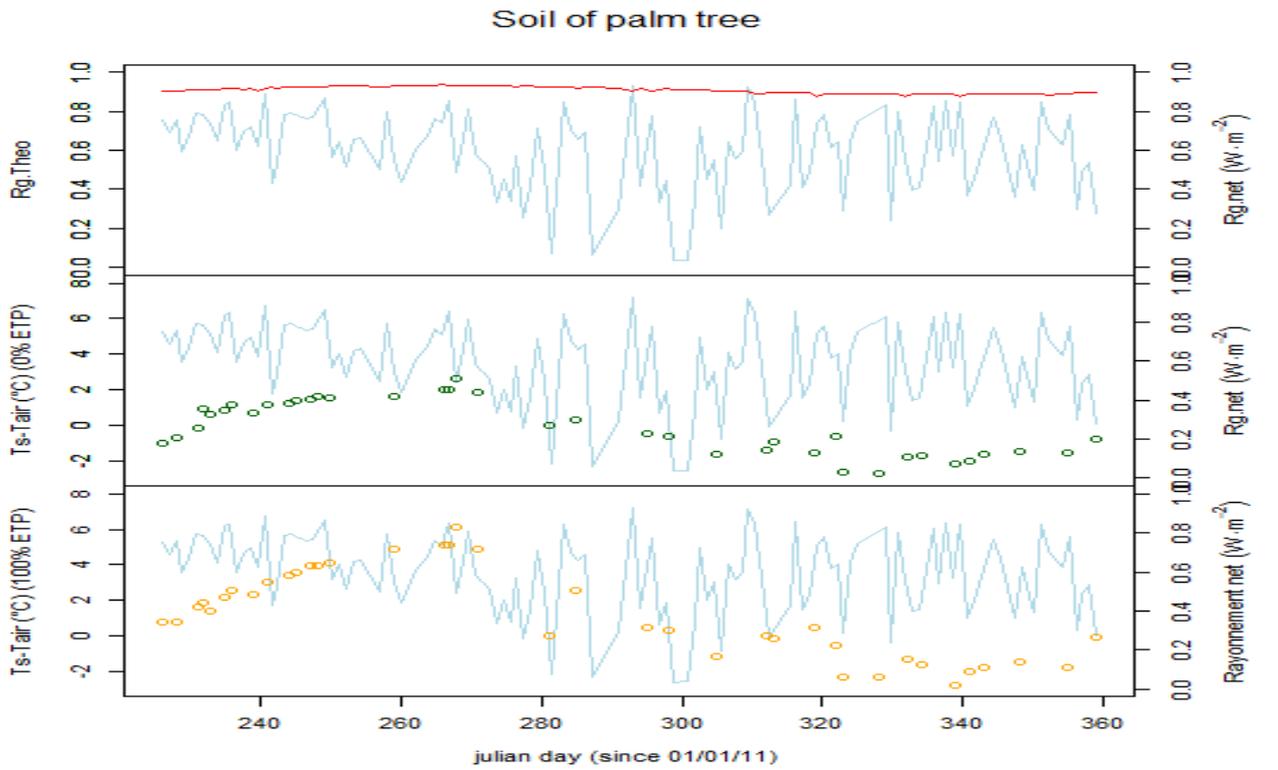


Figure 29:  $(T_s - T_a)$  filtré à l'extrémité, entre 12-13h (2011 et 2012)

## 2. Analyse sur les pommiers

### a) calcul d'indice

Nous avons calculés, comme pour les données de palmiers, le rayonnement solaire théorique,  $(T_s - T_a)$  pour les 16 arbres et le VPD (Vapor Pressure Deficit) qui ne dépend que de la température de l'air et de l'humidité. Nous rappelons la formule qui permet de calculer VPD :

$$\text{VPD} = 0.6108 \cdot \exp\left(\frac{T_a \cdot 17.27}{T_a + 237.2}\right) \cdot (1 - \text{HR}/100)$$

Nous avons comparé les deux rayonnements sur une période de 4 jours (du 20 au 24 juillet 2011) ces dates sont converties en Pas\_Temps. Les bandes rouges représentent le midi solaire (12-13h)

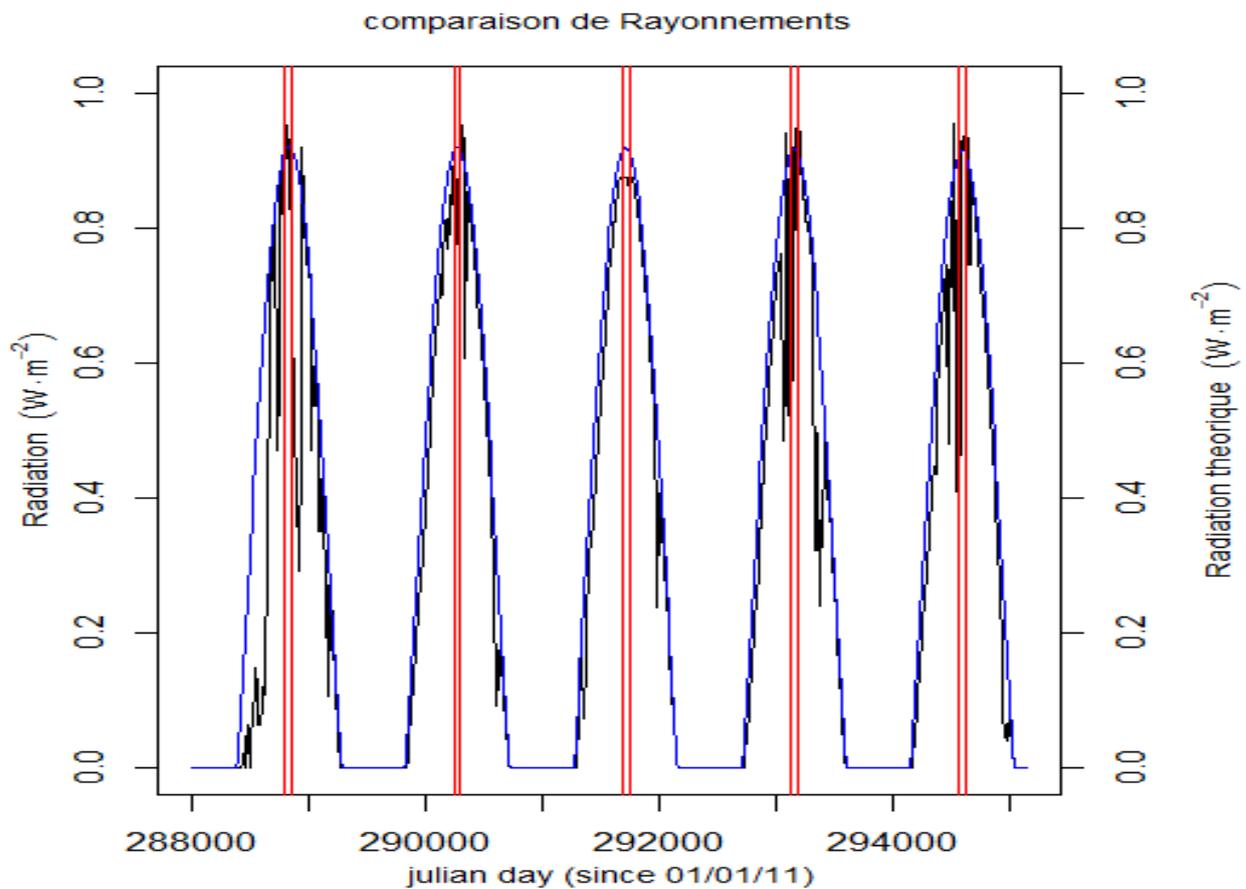


Figure 30: comparaison de rayonnements des données de pommiers(2011)

Nous allons ensuite étudier le comportement thermique de chaque arbre en comparant la différence  $(T_s - T_a)$  pour les 16 variables  $T_s$  enregistrées par les capteurs. Nous ne présentons que les résultats obtenus pour 2 arbres (figure 31).

b) résultats obtenus

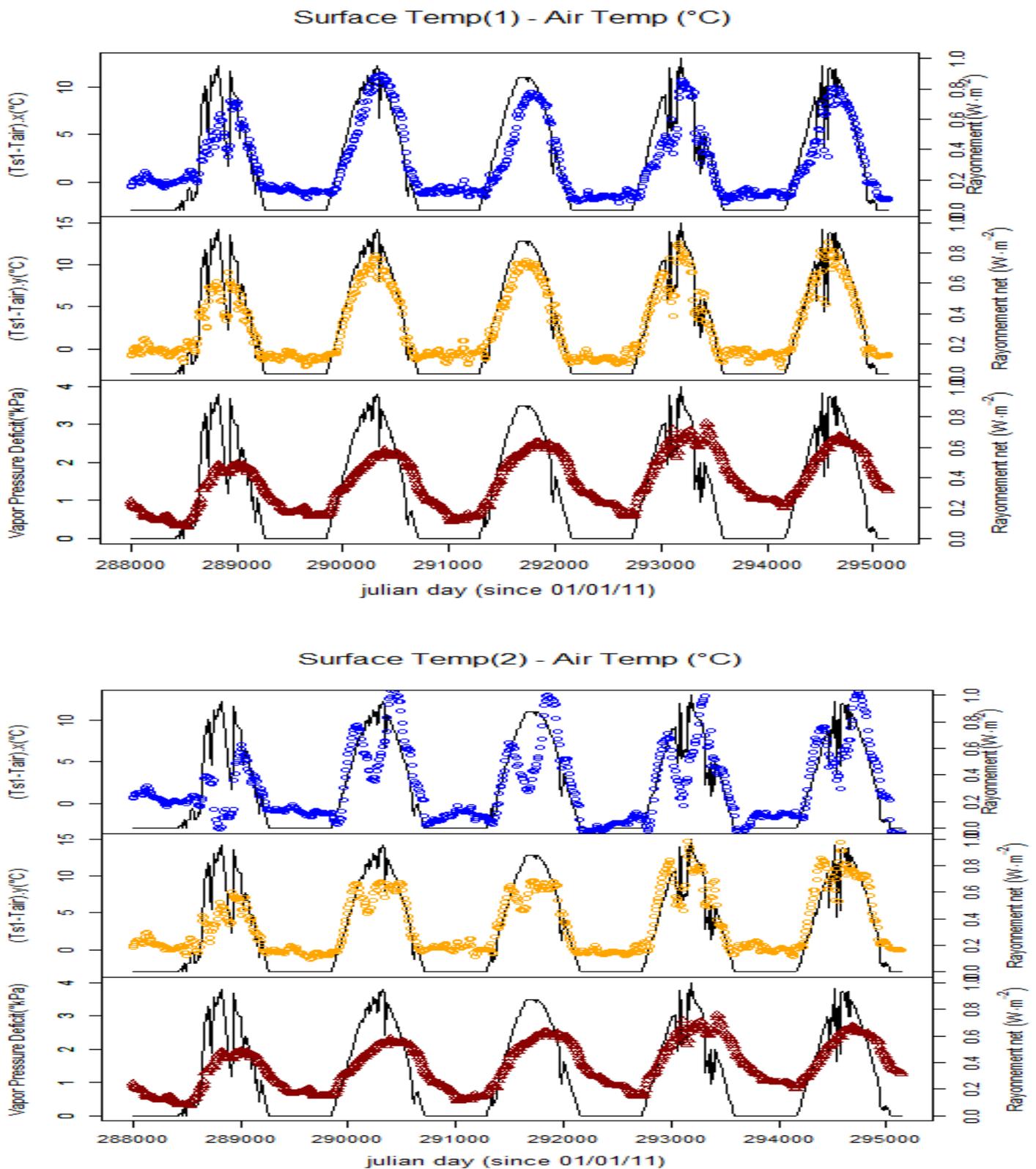


Figure 31: Variations de  $(T_s - T_a)$  de deux pommiers en fonction du rayonnement

On constate que les deux arbres ont un comportement totalement différent compte tenu de la grande marge qu'il y a entre leur différence de température  $(T_s - T_a)$ .

## Conclusion

Le but de mon stage au Cirad de Montpellier au sein de l'unité Tetis de la maison de la télédétection était de filtrer des données afin d'améliorer les résultats obtenus l'an dernier afin de pouvoir comparer les données thermographiques avec les données de terrain sur plusieurs jours différents.

Cela a consisté en une analyse de données enregistrées dans des centrales par intervalle de 10 minutes pour les pommiers et 5 minutes pour les palmiers. En effet, nous devons réévaluer certains paramètres afin de détecter les situations de stress hydrique. Puisque le rayonnement émis par la plante, varie fortement selon l'énergie incidente, celle-ci varie au cours de la journée selon la position du soleil et la météorologie locale, nous devons ainsi filtrer les données. Pour cela, je me suis d'abord familiarisé avec les domaines de la télédétection, la thermographie infrarouge appliquée à la végétation, afin de mieux aborder le calcul de ces propriétés, en tenant compte de la première étude qui a été développée l'an dernier. Nous avons implémenté les scripts sur R, permettant de mettre en œuvre et de visualiser le phénomène de stress. Cette étape a été coûteuse en temps puisqu'on est passé de la partie optimisation des programmes.

Nous avons évalué l'apport du rayonnement réel sur les températures de surface des plantes. Cependant l'analyse de ces images sur des couverts discontinus (cultures non couvrantes, vergers) reste complexe quant à l'interprétation du signal émis par la plante et son environnement. Dans cette optique, on a donc fait une analyse pour supprimer les passages nuageux ; les premiers résultats se sont avérés satisfaisants.

Ce stage aura une continuité puisque les prochains travaux consisteront à étendre l'analyse sur la détermination des variables explicatives de stress en incluant les données météorologiques et en comparant

Par ailleurs, d'un point de vue personnel, ce stage m'a permis de mettre à profit mes connaissances et de les consolider. Il a été pour moi une véritable expérience professionnelle et humaine ainsi qu'une opportunité de travailler sur un sujet concret.

## Références

- [1] Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resource Research* 17, 1133-1138.
- [2] Lebourgeois V. (2009a) - Utilisation d'un système léger d'acquisitions aéroportées dans les domaines optiques réflectif et thermique pour la caractérisation de l'état hydrique et nutritionnel des cultures – Thèse de doctorat – Université de la Réunion le 21/04/2009 – 174p.
- [3] DAUGUET A., La détection des radiations infrarouges - Dunod- Paris (1964)
- [4] Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., & Siebert, S. (2003). Global estimates of water withdrawals and availability under current and future "business-as-usual" conditions. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 339-348. Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- [5] Arnell, N. W. (1999). A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain. *Journal of Hydrology*, 217(3-4), 314-335. Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- [6] Husson F., Lê S. & Pagès J. (2009) *Analyse de données avec R*. Presse universitaire de Rennes, Rennes
- [7] Betts, R. A., Cox, P. M., Lee, S. E., & Woodward, F. I. (1997). Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. *Nature*, 387(6635), 796-799.
- [8] Biemans, H., Haddeland, I., Kabat, P., Ludwig, F., Hutjes, R. W. A., Heinke, J., . . . Gerten, D. (2011). Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century. *Water Resources Research*, 47(3)
- [9] Améglio, T., & Archer, P. (1996). Significance of predawn water potential in heterogeneous soil water content distribution. [Représentativité du potentiel de base sur sols à humidité hétérogène] *Agronomie*, 16(8), 493-503.
- [10] Cabibel, B., & Do, F. (1991). Thermal measurement of sap flow and hydric behavior of trees. II. sap flow evolution and hydric behavior of irrigated and non-irrigated trees under trickle irrigation. [Mesures thermiques des flux de sève et comportement hydrique des arbres. II. Évolution dans le temps des flux de sève et comportement hydrique des arbres en présence ou non d'une irrigation localisée] *Agronomie*, 11(9), 757-766.
- [11] Konzmann, M., Gerten, D., & Heinke, J. (2013). Climate impacts on global irrigation requirements under 19 GCMs, simulated with a vegetation and hydrology model. [Impacts climatiques selon 19 MCG sur les besoins globaux en irrigation simulés par un modèle d'hydrologie et de végétation] *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), 88-105.
- [12] Martine, J. -. (1999). Sugarcane growth and water stress: How plant models can help. [Croissance de la canne et stress hydrique: Les apports d'un modèle plante] *Agriculture Et Développement*, (24), 21-28.
- [13] Moiwo, J. P., Yang, Y., Yan, N., & Wu, B. (2011). Comparison of evapotranspiration estimated by ETWatch with that derived from combined GRACE and measured precipitation data in Hai river basin, north china. [Comparaison des estimations de l'évapotranspiration par ETWatch et par combinaison de GRACE avec des mesures de précipitations dans le bassin de la Rivière Hai, Chine du Nord] *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), 249-267. Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

## Liens internet et packages utilisés

### ❖ Liens

<http://www.youscribe.com/catalogue/livres/savoirs/sciences-formelles/la-thermographie-infrarouge-principes-technologie-applications-4-192102>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Interpolation\\_num%C3%A9rique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Interpolation_num%C3%A9rique)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Spline\\_interpolation](http://en.wikipedia.org/wiki/Spline_interpolation)

<http://cran.r-project.org/web/packages/insol/insol.pdf>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nom%C3%A8ne\\_de\\_Runge](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nom%C3%A8ne_de_Runge)

[http://www.stat.wisc.edu/~xie/smooth\\_spline\\_tutorial.html](http://www.stat.wisc.edu/~xie/smooth_spline_tutorial.html)

<http://asi.insa-rouen.fr/enseignement/siteUV/anatum/11interpol.pdf>

<http://www.scopus.com/citation/output.url?outputType=quikbib&sid=033830DDC37825612ED4B760CCE77458.mw4ft95QGjz1tIFG9A1uw%3a360&sort=plf-f&origin=resultslst&src=s&txGid=033830DDC37825612ED4B760CCE77458.mw4ft95QGjz1tIFG9A1uw%3a77>

<http://www.scopus.com/results/results.url?sort=plf-f&src=s&stl=irrigation&nlo=&nlr=&nls=&sid=033830DDC37825612ED4B760CCE77458.mw4ft95QGjz1tIFG9A1uw%3a360&sot=b&sdt=cl&cluster=scolang%2c%22French%22%2ct%2bscolang%2c%22French%22%2ct&sl=15&s=KEY%28irrigation%29&ref=%28water+stress%29&origin=resultslst&zone=leftSideBar&txGid=033830DDC37825612ED4B760CCE77458.mw4ft95QGjz1tIFG9A1uw%3a36>

### ❖ Packages

*Pspline*: pour l'interpolation spline

*Insol*: pour calculer la position du soleil

## ANNEXES

## **Annexe1** : Scripts qui fusionne les données de centrales de palmiers 2011

```
#SCRIPT 1: fusion des donnees 2011 des centrales
#-----

setwd("C:/Users/georgina/Desktop/palmiers/donnée_pour_script/données2011")
#on charge le package dans lequel se trouve la fonction "sunvector"
library(insol)

#on créé la table pas de temps de 5minutes
#c'est à partir de ces tables que l'on va croiser toutes les données de centrale

ref = data.frame("Pas_Temps" = seq(323510, 525595, 5),"Rg.Theo"=NA)

#on transforme les jours en jours julian du 01/01/2012 au 31/12/2012
juneday=JD(seq(ISOdate(2011,8,13,16,35),ISOdate(2011,12,31,23,55),by='5 min'))
# pour pouvoir afficher la partie décimale de juneday
options(digits=12)

ref$Rg.Theo = sunvector(juneday, -4.1266, 105.4432, +7)[,3][1:nrow(ref)]

#table qui contient le rayonnement toutes les 5min
write.table(ref,file="Pas5etRayonnement.txt")

#on crée une autre table de reference pour pouvoir fusionner les données de centrales
ref1 = data.frame("Pas_Temps" = seq(323510, 525595, 5))

d <- read.table("CR3000_2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

# supprimer les valeurs ou données dupliquées
d <- unique(d)
d$TIMESTAMP <- NULL
#on calcule le VPD
d$VPD <- ((0.61978 * exp (17.27 * d$Tair / (d$Tair + 237.3))) - (0.61978 * exp (17.27 * d$Tair / (d$Tair + 237.3))))*(d$RH/100)

#on fusionne avec la table de reference
d <- merge(ref,d,by="Pas_Temps",all=TRUE)

a <- read.table("CR3000_A_2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

# supprimer les valeurs ou données dupliquées
a <- unique(a)

#on calcule le VPD
a$VPDA <- ((0.61978 * exp (17.27 * a$TairA / (a$TairA + 237.3))) - (0.61978 * exp (17.27 * a$TairA / (a$TairA + 237.3))))*(a$RHA/100)

#on fusionne avec la table de reference
a <- merge(ref1,a,by="Pas_Temps",all=TRUE)

b<-read.table("CR3000_B_2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

# supprimer les valeurs ou données dupliquées
b<-unique(b)
b$TIMESTAMP <- NULL

#calculate VPD
b$VPDB <- ((0.61978 * exp (17.27 * b$TairB / (b$TairB + 237.3))) - (0.61978 * exp (17.27 * b$TairB / (b$TairB + 237.3))))*(b$RHB/100)
#on fusionne avec la table de reference
```

```
b <- merge(ref1,b,by="Pas_Temps",all=TRUE)

#-----
#           donnees fusionées
#-----

data <- merge(a,d,by="Pas_Temps",all=TRUE)
data <- merge(data,b,by="Pas_Temps",all=TRUE)

#on delimite les données
data = data[data$Pas_Temps <= 524765,]

#on sauvegarde les données
write.table(data,file="centrales2011.txt")
```

```

#SCRIPT 1: fusion des donnees 2012 des centrales CR3000, CR3000_A,CR3000_B puis calcul du rayonnement solaire
théorique
#-----

#on charge le package dans lequel se trouve la fonction "sunvector" qui permet de calculer le rayonnement
library(insol)

setwd("C:/Users/georgina/Desktop/palmiers/donnée_pour_script/données2012")

#-----
#           Pas_Temps(données de reference)
#-----

#on créé la table pas de temps de 5minutes
#c'est à partir de ces tables que l'on va croiser toutes les données de centrale

ref = data.frame("Pas_Temps" = seq(0, 525600, 5),"Rg.Theo"=NA)

#on transforme les jours en jours julian du 01/01/2012 au 31/12/2012
juneday=JD(seq(ISOdate(2012,1,1,0),ISOdate(2012,12,31,23,55),by='5 min'))
# pour pouvoir afficher la partie décimale de juneday
options(digits=12)

ref$Rg.Theo = sunvector(juneday, -4.1266, 105.4432, +7)[,3][1:nrow(ref)]

#table qui contient le rayonnement toutes les 5min
write.table(ref,file="Pas5etRayonnement.txt")

#on crée une autre table de reference pour pouvoir fusionner les données de centrales
ref1 = data.frame("Pas_Temps" = seq(0, 525600, 5))
#-----
#           Centrale à 0% ETP
#-----

d <- read.table("CR3000_2012.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

# supprimer les valeurs ou données dupliquées
d <- unique(d)
d$TIMESTAMP=NULL

#on calcule le VPD
d$VPD <- ((0.61978 * exp (17.27 * d$Tair / (d$Tair + 237.3))) - (0.61978 * exp (17.27 * d$Tair / (d$Tair +
237.3)))*(d$RH/100))

#on fusionne avec la table de reference
d <- merge(ref,d,by="Pas_Temps",all=TRUE)

#-----
#           Centrale à 50% ETP
#-----

a <- read.table("CR3000_A_2012.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

# supprimer les valeurs ou données dupliquées
a <- unique(a)
#on calcule le VPD
a$VPDA <- ((0.61978 * exp (17.27 * a$TairA / (a$TairA + 237.3))) - (0.61978 * exp (17.27 * a$TairA / (a$TairA +
237.3)))*(a$RHA/100))

```

```

#on fusionne avec la table de refference
a <- merge(ref1,a,by="Pas_Temps",all=TRUE)

#-----
#           Centrale à 100% ETP
#-----

b<-read.table("CR3000_B_2012.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

# supprimer les valeurs ou données dupliquées
b<-unique(b)
b$TIMESTAMP <- NULL

#calculate VPD
b$VPDB <- ((0.61978 * exp (17.27 * b$TairB / (b$TairB + 237.3))) - (0.61978 * exp (17.27 * b$TairB / (b$TairB +
237.3)))*(b$RHB/100))

#on fusionne avec la table de refference
b <- merge(ref1,b,by="Pas_Temps",all=TRUE)

#-----
#           donnees fusionées
#-----

data <- merge(a,d,by="Pas_Temps",all=TRUE)
data <- merge(data,b,by="Pas_Temps",all=TRUE)

#on delimite les données
data = data[data$Pas_Temps <= 524765,]

#on sauvegarde les données
write.table(data,file="centrales(1)2012.txt")

```

### **Annexe3**: Fusion de données de pommiers de 2011

```
#SCRIPT QUI FUSIONNE TOUTES LES TABLES CR3000_4774_2010,CR3000_4774_2011,
# CR3000_4775_2010 , CR3000_4775_2011 et Pas_Temps

setwd("C:/Users/georgina/Desktop/pommiers/données_pour_script/données2011")
#on créé la table pas de temps de 10minutes
#c'est à partir de ces tables que l'on va croiser toutes les données de centrale

ref= data.frame("Pas_Temps" = seq(1440, 409670, 10))
write.table(ref,file="Pas10.txt")

#-----
# CR3000_4774_2011
#-----

#on traite les données qui correspondent à IR120 4774
tab2<-read.table("CR3000_4774_2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)
tab2<-unique(tab2)

#on fusionne les données
fusion2<- merge(tab2,ref, by="Pas_Temps",all=TRUE) #on fusionne les deux centrales
write.table(fusion2,file="CR3000_4774_2011pas_temps.txt")
#-----
# CR3000_4775_2011
#-----

#on traite les données qui correspondent à IR120 4775
tab4<-read.table("CR3000_4775_2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)
tab4<-unique(tab4)

#on fusionne les données
fusion4<- merge(tab4,ref, by="Pas_Temps",all=TRUE) #on fusionne les deux centrales
write.table(fusion4,file="CR3000_4775_2011pas_temps.txt")
fusion4$TIMESTAMP<-NULL
#-----
# meteo1_2011
#-----

#on traite les données météo
tab5<-read.table("meteo1_2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)
tab5<-unique(tab5)

#on fusionne les données
fusion5<- merge(tab5,ref, by="Pas_Temps",all=TRUE) #on fusionne les deux centrales
write.table(fusion5,file="meteo1_2011pas_temps.txt")

#-----
# données_2011
#-----

a <- merge(fusion2,fusion4,by="Pas_Temps",all=TRUE)
donnees <- merge(a,fusion5,by="Pas_Temps",all=TRUE)

names(donnees)
write.table(donnees,file="donnees_2011.txt")
```

## **Annexe4**: Traitement de données de palmiers de 2011

```
#on se place dans le bon repertoire
setwd("C:/Users/georgina/Desktop/palmiers/donnée_pour_script/données2011")

data <- read.table("centrales2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

data$JTIME=
as.numeric(julian(as.POSIXct(data$TIMESTAMP,format="%d/%m/%Y %H:%M" ),origin=as.POSIXct("2011-01-01
00:00"))+1)
data$DAY<-floor(data$JTIME)

data$MeanRad=(data$MeanRad) / 2155 #(valeur calculée sur excel )

#on extrait une partie des données pour comparer les rayonnements théorique et mesuré
data1=data[230<=data$DAY & data$DAY<=235,]

for(i in 1: nrow(data1))
{
  if(data1$Rg.Theo[i] <0)
  {
    data1$Rg.Theo[i]=0
  }
  if(is.na(data1$MeanRad[i])==TRUE)
  {}
  else
  {
    if(data1$MeanRad[i] <0)
    {
      data1$MeanRad[i]=0
    }
  }
}

data1$name="data1"

png(paste(unique(data1$name),"_Rayonnement.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(1,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))
plot(data1$JTIME, data1$MeanRad, xlim = c(230, 234),ylim=c(0,1),xlab = "", ylab = "", type = "l",yaxt="n")
abline(NULL,NULL,
col="red",v=c(230.5000,230.5416,231.5000,231.5416,232.5000,232.5416,233.5000,233.5416,234.5000,234.5416),lty=
1 )
axis(2)
mtext(expression(plain("Mean Radiation ")(W%.%m^{-2})),sid=2, line=2,cex=0.9,)
par(new=T)
plot(data1$JTIME, data1$Rg.Theo, xlim = c(230, 234),ylim = c(0,1),
xlab="",ylab="",col="Blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Mean Radiation theorique ")(W%.%m^{-2})),side=4,line=3, cex=0.9)

mtext(" comparaison de Rayonnements ", line=1,cex=0.9,outer=TRUE)
mtext(" julian day (since 01/01/11)" , line=-27,cex=0.9,outer=TRUE)

dev.off()
```

```

data$HEURE=as.numeric(data$HEURE)

# on sépare les données par tranche horaire

t1<- data[0.250<=data$HEURE & data$HEURE<0.289,] #t1 entre 6h et 6h55
t1<-t1[complete.cases(t1),]
t2 <- data[0.291<=data$HEURE & data$HEURE<0.323,] #t2 entre 7h et 7h55
t2<-t2[complete.cases(t2),]
t3 <- data[0.333<=data$HEURE & data$HEURE<0.372,] #t3 entre 8h et 8h55
t3<-t3[complete.cases(t3),]
t4 <- data[0.375<=data$HEURE & data$HEURE<0.414,] #t4 entre 9h et 9h55
t4<-t4[complete.cases(t4),]
t5 <- data[0.416<=data$HEURE & data$HEURE<0.455,] #t5 entre 10h et 10h55
t5<-t5[complete.cases(t5),]
t6 <- data[0.458<=data$HEURE & data$HEURE<0.497,] #t6 entre 11h et 11h55
t6<-t6[complete.cases(t6),]
t7 <- data[0.5<=data$HEURE & data$HEURE<0.539,] #t7 entre 12h et 12h55
t7<-t7[complete.cases(t7),]
t8 <- data[0.541<=data$HEURE & data$HEURE<10.580,] #t8 entre 13h et 13h55
t8<-t8[complete.cases(t8),]
t9 <- data[0.583<=data$HEURE & data$HEURE<0.622,] #t9 entre 14h et 14h55
t9<-t9[complete.cases(t9),]
t10 <-data[0.625<=data$HEURE & data$HEURE<0.664,] #t10 entre 15h et 15h55
t10<-t10[complete.cases(t10),]
t11 <-data[0.666<=data$HEURE & data$HEURE<0.705,] #t11 entre 16h et 16h55
t11<-t11[complete.cases(t11),]
t12 <-data[0.708<=data$HEURE & data$HEURE<0.75,] #t12 entre 17h et 18h
t12<-t12[complete.cases(t12),]

# to calculate average (Ts-Ta) for each data logger and each period
myfunction <- function(t1){
  result <- data.frame("JDAY" = unique(t1$DAY),"sum.records" = NA, "mean.MeanRad" = NA,"mean.Rg.Theo" =
  NA,"mean.VPD" = NA, "mean.VPDA" = NA, "mean.VPDB" = NA,
    "mean.TsC1.Tair" = NA, "mean.TsM1.Tair" = NA, "mean.TsT1.Tair" = NA, "mean.TsSoil.Tair" = NA,
    "mean.TsC1A.TairA" = NA, "mean.TsM1A.TairA" = NA, "mean.TsT1A.TairA" = NA,
"mean.TsM2A.Tair" = NA,
    "mean.TsC1B.TairB" = NA, "mean.TsM1B.TairB" = NA, "mean.TsT1B.TairB" = NA,
"mean.TsSoilB.TairB" = NA)
  for (i in min(t1$DAY):max(t1$DAY))
  {
    selection <- t1[(t1$DAY==i) , ]
    result[result$JDAY==i, "sum.records"] <- nrow(selection)
    result[result$JDAY==i, "mean.MeanRad"] <- mean(selection$MeanRad, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.Rg.Theo"] <- mean(selection$Rg.Theo, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.VPD"] <- mean(selection$VPD, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.VPDA"] <- mean(selection$VPDA, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.VPDB"] <- mean(selection$VPDB, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsC1.Tair"] <- mean((selection$TsC1 - selection$Tair), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsM1.Tair"] <- mean((selection$TsM1 - selection$Tair), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsT1.Tair"] <- mean((selection$TsT1 - selection$Tair), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsSoil.Tair"] <- mean((selection$TsSoil - selection$Tair), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsC1A.TairA"] <- mean((selection$TsC1A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsM1A.TairA"] <- mean((selection$TsM1A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsT1A.TairA"] <- mean((selection$TsT1A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsM2A.TairA"] <- mean((selection$TsM2A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsC1B.TairB"] <- mean((selection$TsC1B - selection$TairB), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsM1B.TairB"] <- mean((selection$TsM1B - selection$TairB), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsT1B.TairB"] <- mean((selection$TsT1B - selection$TairB), na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.TsSoilB.TairB"] <- mean((selection$TsSoilB - selection$TairB), na.rm=TRUE)
  }
  return(result)
}

```

```
}
```

```
# Save the results
```

```
result <- myfunction(t1)
write.table(result, file="t1.txt")
result <- myfunction(t2)
write.table(result, file="t2.txt")
result <- myfunction(t3)
write.table(result, file="t3.txt")
result <- myfunction(t4)
write.table(result, file="t4.txt")
result <- myfunction(t5)
write.table(result, file="t5.txt")
result <- myfunction(t6)
write.table(result, file="t6.txt")
result <- myfunction(t7)
write.table(result, file="t7.txt")
result <- myfunction(t8)
write.table(result, file="t8.txt")
result <- myfunction(t9)
write.table(result, file="t9.txt")
result <- myfunction(t10)
write.table(result, file="t10.txt")
result <- myfunction(t11)
write.table(result, file="t11.txt")
result <- myfunction(t12)
write.table(result, file="t12.txt")
```

```
# read the results and use it as objects
```

```
t1 <- read.table("t1.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t2 <- read.table("t2.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t3 <- read.table("t3.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t4 <- read.table("t4.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t5 <- read.table("t5.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t6 <- read.table("t6.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t7 <- read.table("t7.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t8 <- read.table("t8.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t9 <- read.table("t9.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t10 <- read.table("t10.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t11 <- read.table("t11.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t12 <- read.table("t12.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
```

```
# to eliminate mean values records when NA > 50% (at least 6 records)
```

```
t1 <- t1[t1$sum.records>6,]
t2 <- t2[t2$sum.records>6,]
t3 <- t3[t3$sum.records>6,]
t4 <- t4[t4$sum.records>6,]
t5 <- t5[t5$sum.records>6,]
t6 <- t6[t6$sum.records>6,]
t7 <- t7[t7$sum.records>6,]
t8 <- t8[t8$sum.records>6,]
t9 <- t9[t9$sum.records>6,]
t10 <- t10[t10$sum.records>6,]
t11 <- t11[t11$sum.records>6,]
t12 <- t12[t12$sum.records>6,]
```

```
# add 1 column to automatically give name in jpg file
```

```
t1$name="t1"
t2$name="t2"
```

```
t3$name="t3"
t4$name="t4"
t5$name="t5"
t6$name="t6"
t7$name="t7"
t8$name="t8"
t9$name="t9"
t10$name="t10"
t11$name="t11"
t12$name="t12"
```

# on représente les rayonnements entre 12h et 13h

```
byrayonnement <- function(t7)
{
  png(paste(unique(t7$name), "_rayonnement12h.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
  par(mfrow=c(1,1))
  par(omi=c(1,0,1,0))
  par(mar=c(0,4,0,4))

  plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
  axis(4)
  mtext(expression(plain("Rayonnement mesuré ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.9)
  par(new=T)
  plot(t7$JDAY, t7$mean.Rg.Theo,ylim = c(0,1), ylab="",col="red",type="l")
  axis(2)
  #mtext("Rayonnement théorique",side=2 ,line=3, cex=0.9)
  mtext(expression(plain("Rayonnement théorique ")(W%.%m^{-2})),side=2 ,line=3, cex=0.9)

  mtext("julian day", line=-27, cex = 0.9, outer=FALSE)
  mtext("Rayonnements ", line=1,cex=0.9,outer=TRUE)

  #dev.off()
}
byrayonnement(t1)
byrayonnement(t2)
byrayonnement(t3)
byrayonnement(t4)
byrayonnement(t5)
byrayonnement(t6)
byrayonnement(t7)
byrayonnement(t8)
byrayonnement(t9)
byrayonnement(t10)
byrayonnement(t11)
byrayonnement(t12)
```

# Plot Ts-Ta and Daily Sum.Rain

```
bytraitement <- function(t1){

  #0%
  png(paste(unique(t1$name), "_CR3.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
  par(mfrow=c(3,1))
  par(omi=c(1,0,1,0))
  par(mar=c(0,4,0,4))

  plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
  axis(4)
  mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
  par(new=T)
  plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1.Tair, ylim = c(-3,5),xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
```

```

axis(2)
mtext("center of palm tree",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1.Tair, ylim = c(-3,5), xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1.Tair, ylim = c(-3,5),xlab= "julian day (since 01/01/11)",ylab = "", pch=1, col="orange")
axis(2)
mtext("tip of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("0% ETP Surface Temp - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
dev.off()

#50%
png(paste(unique(t1$name), "_CR3A.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(4,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1A.TairA, ylim = c(-3,5),xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("center of palm tree",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1A.TairA, ylim = c(-3,5), xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle 1 of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM2A.TairA, ylim = c(-3,5), xlab = "", ylab = "", pch=1, col=" red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle 1 of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)

```

```

mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1A.TairA, ylim = c(-3,5),xlab= "julian day (since 01/01/11)",ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("tip of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("50% ETP Surface Temp - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-13, cex = 0.8, outer=FALSE)
dev.off()

#100%
png(paste(unique(t1$name),"_CR3B.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1B.TairB, ylim = c(-3,5),xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("center of palm tree",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1B.TairB, ylim = c(-3,5), xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1B.TairB, ylim = c(-3,5),xlab= "julian day (since 01/01/11)",ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("tip of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("100% ETP Surface Temp - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
dev.off()
}

```

```

bytraitement(t7)
#on selection les jours ou le soleil impacte la surface sur un angle <= 45°
t71=t7[t7$mean.MeanRad >0.71,]
bytraitement(t71)

```

```

byposition <- function(t1){

```

```

#Center of palm tree
png(paste(unique(t1$name), "_Center.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue", type="l", xaxt="n", yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4, line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1.Tair, ylim = c(-3,8), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", pch=1, col="dark
green", xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue", type="l", xaxt="n", yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4, line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1A.TairA, ylim = c(-3,8), ylab = "", pch=1, col="dark red", xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (50% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue", type="l", xaxt="n", yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4, line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1B.TairB, ylim = c(-3,8), xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
mtext("Center of palm tree", line=2, outer=TRUE)
dev.off()

#Middle of the palm
png(paste(unique(t1$name), "_Middle.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue", type="l", xaxt="n", yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4, line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1.Tair, ylim = c(-3,8), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", pch=1, col="dark
green", xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue", type="l", xaxt="n", yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4, line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1A.TairA, ylim = c(-3,8), ylab = "", pch=1, col="dark red", xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (50% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1B.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
mtext("Middle of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

#Tip of the palm
png(paste(unique(t1$name),"_Tip.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1.Tair, ylim = c(-3,8), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", pch=1, col="dark
green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1A.TairA, ylim = c(-3,8),ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (50% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1B.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.7, outer=FALSE)
mtext("Tip of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

#Soil of the palm

png(paste(unique(t1$name),"_Soil.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")

```

```

axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t7$JDAY, t7$mean.Rg.Theo, ylim = c(0,1), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", type="l",
col="red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Rg.Theo",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsSoil.Tair, ylim = c(-3,8),ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsSoilB.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.7, outer=FALSE)
mtext("Soil of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

}

byposition(t7)
byposition(t71)

```

## **Annexe5:** Traitement de données de palmiers de 2012

```
#on se place dans le bon repertoire
setwd("C:/Users/georgina/Desktop/palmiers/donnée_pour_script/données2012")

data <- read.table("centrales2012.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

data$JTIME=
as.numeric(julian(as.POSIXct(data$TIMESTAMP,format="%d/%m/%Y %H:%M"),origin=as.POSIXct("2012-01-01
00:00"))+1)
data$DAY<-floor(data$JTIME)

data$MeanRad=(data$MeanRad) / 2529#(valeur calculée sur excel )

#on extrait une partie des données pour comparer les rayonnements théorique et mesuré
data1=data[230<=data$DAY & data$DAY<=235,]

#on fait une boucle sur ces deux table

for(i in 1: nrow(data1))
{

  if(is.na(data1$Rg.Theo[i])==TRUE)
  {}
  else{
  if(data1$Rg.Theo[i] <0)
  {
    data1$Rg.Theo[i]=0
  }
  }
  if(is.na(data1$MeanRad[i])==TRUE)
  {}
  else
  {
    if(data1$MeanRad[i] <0)
    {
      data1$MeanRad[i]=0
    }
  }
}

data1$name="data1"
#png(paste(unique(data1$name), "_Rayonnement.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(1,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))
plot(data1$JTIME, data1$MeanRad, ylim=c(0,1),xlim = c(230, 234),xlab = "", ylab = "", type = "l",yaxt="n")
abline(NULL,NULL,
col="red",v=c(230.5000,230.5416,231.5000,231.5416,232.5000,232.5416,233.5000,233.5416,234.5000,234.5416),lty=
1 )
axis(2)
mtext(expression(plain("Mean Radiation ")(W%.%m^{-2})),sid=2, line=2,cex=0.9,)
par(new=T)
plot(data1$JTIME, data1$Rg.Theo, xlim = c(230, 234),ylim = c(0,1),
xlab="",ylab="",col="Blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
```

```

axis(4)
mtext(expression(plain("Mean Radiation theorique ")(W%.%m^{-2})),side=4,line=3, cex=0.9)

mtext(" comparaison de Rayonnements ", line=1,cex=0.9,outer=TRUE)
mtext(" julian day (since 01/01/12)" , line=-27,cex=0.9,outer=TRUE)

#dev.off()

data$HEURE=as.numeric(data$HEURE)

# on sépare les données par tranche horaire

t1<- data[0.250<=data$HEURE & data$HEURE<0.289,] #t1 entre 6h et 6h55
t1<-t1[complete.cases(t1),]
t2 <- data[0.291<=data$HEURE & data$HEURE<0.323,] #t2 entre 7h et 7h55
t2<-t2[complete.cases(t2),]
t3 <- data[0.333<=data$HEURE & data$HEURE<0.372,] #t3 entre 8h et 8h55
t3<-t3[complete.cases(t3),]
t4 <- data[0.375<=data$HEURE & data$HEURE<0.414,] #t4 entre 9h et 9h55
t4<-t4[complete.cases(t4),]
t5 <- data[0.416<=data$HEURE & data$HEURE<0.455,] #t5 entre 10h et 10h55
t5<-t5[complete.cases(t5),]
t6 <- data[0.458<=data$HEURE & data$HEURE<0.497,] #t6 entre 11h et 11h55
t6<-t6[complete.cases(t6),]
t7 <- data[0.5<=data$HEURE & data$HEURE<0.539,] #t7 entre 12h et 12h55
t7<-t7[complete.cases(t7),]
t8 <- data[0.541<=data$HEURE & data$HEURE<0.580,] #t8 entre 13h et 13h55
t8<-t8[complete.cases(t8),]
t9 <- data[0.583<=data$HEURE & data$HEURE<0.622,] #t9 entre 14h et 14h55
t9<-t9[complete.cases(t9),]
t10 <-data[0.625<=data$HEURE & data$HEURE<0.664,] #t10 entre 15h et 15h55
t10<-t10[complete.cases(t10),]
t11 <-data[0.666<=data$HEURE & data$HEURE<0.705,] #t11 entre 16h et 16h55
t11<-t11[complete.cases(t11),]
t12 <-data[0.708<=data$HEURE & data$HEURE<0.75,] #t12 entre 17h et 18h
t12<-t12[complete.cases(t12),]

# to calculate average (Ts-Ta) for each data logger and each period
myfunction <- function(t1){
  result <- data.frame("JDAY" = unique(t1$DAY),"sum.records" = NA, "mean.MeanRad" = NA,"mean.Rg.Theo" =
  NA,"mean.VPD" = NA, "mean.VPDA" = NA, "mean.VPDB" = NA,
    "mean.TsC1.Tair" = NA, "mean.TsM1.Tair" = NA, "mean.TsT1.Tair" = NA, "mean.TsSoil.Tair" = NA,
    "mean.TsC1A.TairA" = NA, "mean.TsM1A.TairA" = NA, "mean.TsT1A.TairA" = NA,
    "mean.TsM2A.Tair" = NA,
    "mean.TsC1B.TairB" = NA, "mean.TsM1B.TairB" = NA, "mean.TsT1B.TairB" = NA,
    "mean.TsSoilB.TairB" = NA)
  for (i in min(t1$DAY):max(t1$DAY))
  {
    selection <- t1[(t1$DAY==i) , ]
    result[result$JDAY==i, "sum.records"] <- nrow(selection)
    result[result$JDAY==i, "mean.MeanRad"] <- mean(selection$MeanRad, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.Rg.Theo"] <- mean(selection$Rg.Theo, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.VPD"] <- mean(selection$VPD, na.rm=TRUE)
    result[result$JDAY==i, "mean.VPDA"] <- mean(selection$VPDA, na.rm=TRUE)
  }
}

```

```

result[result$JDAY==i, "mean.VPDB"] <- mean(selection$VPDB, na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsC1.Tair"] <- mean((selection$TsC1 - selection$Tair), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsM1.Tair"] <- mean((selection$TsM1 - selection$Tair), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsT1.Tair"] <- mean((selection$TsT1 - selection$Tair), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsSoil.Tair"] <- mean((selection$TsSoil - selection$Tair), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsC1A.TairA"] <- mean((selection$TsC1A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsM1A.TairA"] <- mean((selection$TsM1A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsT1A.TairA"] <- mean((selection$TsT1A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsM2A.TairA"] <- mean((selection$TsM2A - selection$TairA), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsC1B.TairB"] <- mean((selection$TsC1B - selection$TairB), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsM1B.TairB"] <- mean((selection$TsM1B - selection$TairB), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsT1B.TairB"] <- mean((selection$TsT1B - selection$TairB), na.rm=TRUE)
result[result$JDAY==i, "mean.TsSoilB.TairB"] <- mean((selection$TsSoilB - selection$TairB), na.rm=TRUE)
}
return(result)
}

```

# Save the results

```

result <- myfunction(t1)
write.table(result, file="t1.txt")
result <- myfunction(t2)
write.table(result, file="t2.txt")
result <- myfunction(t3)
write.table(result, file="t3.txt")
result <- myfunction(t4)
write.table(result, file="t4.txt")
result <- myfunction(t5)
write.table(result, file="t5.txt")
result <- myfunction(t6)
write.table(result, file="t6.txt")
result <- myfunction(t7)
write.table(result, file="t7.txt")
result <- myfunction(t8)
write.table(result, file="t8.txt")
result <- myfunction(t9)
write.table(result, file="t9.txt")
result <- myfunction(t10)
write.table(result, file="t10.txt")
result <- myfunction(t11)
write.table(result, file="t11.txt")
result <- myfunction(t12)
write.table(result, file="t12.txt")

```

# read the results and use it as objects

```

t1 <- read.table("t1.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t2 <- read.table("t2.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t3 <- read.table("t3.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t4 <- read.table("t4.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t5 <- read.table("t5.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t6 <- read.table("t6.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t7 <- read.table("t7.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t8 <- read.table("t8.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t9 <- read.table("t9.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t10 <- read.table("t10.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t11 <- read.table("t11.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)
t12 <- read.table("t12.txt", head=T,sep=" ", as.is = TRUE)

```

# to eliminate mean values records when NA > 50% (at least 6 records)

```

t1 <- t1[t1$sum.records>6,]
t2 <- t2[t2$sum.records>6,]

```

```

t3 <- t3[t3$sum.records>6,]
t4 <- t4[t4$sum.records>6,]
t5 <- t5[t5$sum.records>6,]
t6 <- t6[t6$sum.records>6,]
t7 <- t7[t7$sum.records>6,]
t8 <- t8[t8$sum.records>6,]
t9 <- t9[t9$sum.records>6,]
t10 <- t10[t10$sum.records>6,]
t11 <- t11[t11$sum.records>6,]
t12 <- t12[t12$sum.records>6,]

# add 1 column to automatically give name in jpg file
t1$name="t1"
t2$name="t2"
t3$name="t3"
t4$name="t4"
t5$name="t5"
t6$name="t6"
t7$name="t7"
t8$name="t8"
t9$name="t9"
t10$name="t10"
t11$name="t11"
t12$name="t12"

# on représente les rayonnements entre 12h et 13h
#png(paste(unique(t7$name), "_rayonnement12h.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(1,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext("Rayonnement mesuré ",side=4 ,line=3, cex=0.9)
par(new=T)
plot(t7$JDAY, t7$mean.Rg.Theo,ylim = c(0,1), ylab="",col="red",type="l")
axis(2)
mtext("Rayonnement théorique",side=2 ,line=3, cex=0.9)
# mtext(expression(plain("Rayonnement théorique ")(W%.%m^{-2})),side=2 ,line=3, cex=0.9)

mtext("julian day", line=-27, cex = 0.9, outer=FALSE)
mtext("Rayonnements entre 12h et 13h ", line=1,cex=0.9,outer=TRUE)

dev.off()

# Plot Ts-Ta and Daily Sum.Rain
bytraitement <- fonction(t1){

#0%
png(paste(unique(t1$name), "_CR3.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1.Tair, ylim = c(-3,5),xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")

```

```

axis(2)
mtext("center of palm tree",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1.Tair, ylim = c(-3,5), xlab = "",ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1.Tair, ylim = c(-3,5),xlab= "julian day (since 01/01/11)",ylab = "", pch=1, col="orange")
axis(2)
mtext("tip of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("0% ETP Surface Temp - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
dev.off()

#50%
png(paste(unique(t1$name), "_CR3A.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(4,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1A.TairA, ylim = c(-3,5),xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("center of palm tree",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1A.TairA, ylim = c(-3,5), xlab = "",ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle 1 of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM2A.TairA, ylim = c(-3,5), xlab = "",ylab = "", pch=1, col=" red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle 1 of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)

```

```

mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1A.TairA, ylim = c(-3,5),xlab= "julian day (since 01/01/11)",ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("tip of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("50% ETP Surface Temp - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-22, cex = 0.8, outer=FALSE)
dev.off()

#100%
png(paste(unique(t1$name), "_CR3B.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1B.TairB, ylim = c(-3,5),xlab = "", ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("center of palm tree",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1B.TairB, ylim = c(-3,5), xlab = "",ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("middle of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1B.TairB, ylim = c(-3,5),xlab= "julian day (since 01/01/11)",ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("tip of the palm",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("100% ETP Surface Temp - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
dev.off()
}

bytraitement(t1)
bytraitement(t2)
bytraitement(t3)
bytraitement(t4)
bytraitement(t5)
bytraitement(t6)
bytraitement(t7)
bytraitement(t8)
bytraitement(t9)
bytraitement(t10)
bytraitement(t11)
bytraitement(t12)

```

```

# on selectionne les jours ou l'angle d'incidence entre le soleil et la cible > 40° entre 12-13h
t71=t7[t7$mean.MeanRad >0.6,]
bytraitement(t71)

# on analyse chaque endroit visé par le capteur
byposition <- fonction(t1){

#Center of palm tree
png(paste(unique(t1$name), "_Center.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1.Tair, ylim = c(-3,8), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", pch=1, col="dark
green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1A.TairA, ylim = c(-3,8),ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (50% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsC1B.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
mtext("Center of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

#Middle of the palm
png(paste(unique(t1$name), "_Middle.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="", col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1.Tair, ylim = c(-3,8), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", pch=1, col="dark
green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1A.TairA, ylim = c(-3,8),ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (50% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsM1B.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)
mtext("Middle of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

```

```

#Tip of the palm
png(paste(unique(t1$name), "_Tip.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

```

```

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1.Tair, ylim = c(-3,8), ylab = "", xlab = "julian day (since 01/01/11)", pch=1, col="dark
green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1A.TairA, ylim = c(-3,8),ylab = "", pch=1, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (50% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsT1B.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-16, cex = 0.7, outer=FALSE)
mtext("Tip of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

```

```

#Soil of the palm

png(paste(unique(t1$name), "_Soil.png"),width=1024, height=1500, res=150, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t7$JDAY, t7$mean.Rg.Theo, ylim = c(0,1), ylab = "", xlab= "julian day (since 01/01/11)", type="l",
col="red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Rg.Theo",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rg.net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsSoil.Tair, ylim = c(-3,8),ylab = "", pch=1, col="dark green",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Ts-Tair (°C) (0% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

plot(t7$JDAY, t7$mean.MeanRad,ylim = c(0,1), xlab="", ylab="",col="light blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(t1$JDAY, t1$mean.TsSoilB.TairB, ylim = c(-3,8),xlab = "julian day (since 01/01/11)", ylab = "", pch=1,
col="orange")
mtext("Ts-Tair (°C) (100% ETP)",side=2,line=3, cex=0.7)

mtext("julian day (since 01/01/12)", line=-16, cex = 0.7, outer=FALSE)
mtext("Soil of palm tree", line=2,outer=TRUE)
dev.off()

}

byposition(t1)
byposition(t2)
byposition(t3)
byposition(t4)
byposition(t5)
byposition(t6)
byposition(t7)
byposition(t8)
byposition(t9)
byposition(t10)
byposition(t11)
byposition(t12)

# on regarde ce qui se passe lorsqu'on filtre certaines données
byposition(t71)

```

## **Annexe6**: Traitement de données de pommiers de 2011

#SCRIPT 2: qui permet de créer le table de données finale

#-----

library(pspline)

setwd("C:/Users/georgina/Desktop/pommiers/données\_pour\_script/données2011")

# Chargement des données

data = read.table("donnees\_2011.txt")

# On supprime les variables qui ne sont pas utiles pour l'analyse

data\$JUL <- NULL

data\$HEURE <- NULL

#on regarde les formats de chaque variables

str(data)

# Conversion de champs au mauvais format (Factor)

data\$T\_Surface\_Avg.1..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Avg.1..y) )

data\$T\_Surface\_Avg.2..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Avg.2..y) )

data\$T\_Surface\_Avg.3..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Avg.3..y) )

data\$T\_Surface\_Avg.6..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Avg.6..y) )

data\$T\_Surface\_Std.1..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Std.1..y) )

data\$T\_Surface\_Std.2..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Std.2..y) )

data\$T\_Surface\_Std.3..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Std.3..y) )

data\$T\_Surface\_Std.6..y = as.numeric (as.character (data\$T\_Surface\_Std.6..y) )

# on delimité les données de la table pas de temps on ne prend que l'intervalle de temps

# dans lequel on fait les enregistrements.

data = data[data\$Pas\_Temps >= 71380,]

data = data[data\$Pas\_Temps <= 409670,]

# data = data[1:100,]

# data = data[data\$Pas\_Temps >= 259810,]

# data = data[1:100,]

# Creation d une nouvelle table vide en supprimant les 2 premières et dernières valeurs de pas de temps de la table data

newdata = data.frame("Pas\_Temps" = seq(min(data\$Pas\_Temps)+30, max(data\$Pas\_Temps)-30, 10),"Indice"=NA)

## On sélectionne les variables que l'on va interpoler

# VariablesAinterpoler=c(names(data)[3:10],names(data)[19:26],names(data)[35:41])

# On sélectionne les variables que l'on va interpoler

VariablesAinterpoler=c(names(data)[3:47])

# Boucle sur les champs sélectionnés précédemment

for( champ in VariablesAinterpoler[1:length(VariablesAinterpoler)] )

{

# Creation d un nouveau champ vide

newchamp = c()

Indice = c()

```

# Boucle sur les lignes de la table data
for( i in 4:(nrow(data)-3))
{

  PasTemps = data$Pas_Temp[i]

  # Test1: est-ce qu'on est sur un pas de temps multiple de 10
  if (floor(PasTemps/10) * 10 == PasTemps)
  {

    # Test 2: est-ce que les 2 pas de temps avant et après sont des multiples de 10 ?
    if ( (data$Pas_Temps[i-3] == PasTemps - 30) & (data$Pas_Temps[i-2] == PasTemps - 20) & (data$Pas_Temps[i-1]
    == PasTemps - 10) & (data$Pas_Temps[i+1] == PasTemps + 10) & (data$Pas_Temps[i+2] == PasTemps + 20) &
    (data$Pas_Temps[i+3] == PasTemps + 30) )
    {

      # Si oui, on recopie la donnée initiale
      newchamp = c(newchamp, data[i,champ])
      Indice = c(Indice, 0)

    }
    # Si non, on interpole
    else
    {

      # Selection des lignes comprises entre PasTemp - 30 et PasTemps + 30
      selection = data[ (PasTemps-30)<=data$Pas_Temps & data$Pas_Temps<=(PasTemps+30), c("Pas_Temps",
champ) ]
      names(selection) = c("X", "Y")

      # Nombre de valeurs non nulles dans l'intervalle [PasTemp - 30, PasTemps + 30]
      nombreValeurs = sum(!(is.na(selection$Y)))
      selectionSansNA = selection[!(is.na(selection$Y)) ,]

      # Si au moins 5 valeurs non nulles, interpolation par spline cubique
      if (nombreValeurs>5)
      {
        interpolationSpline = smooth.Pspline(selectionSansNA$X, selectionSansNA$Y, norder=2)
        valeurInterpolee = predict(interpolationSpline, x = PasTemps)
        Indice = c(Indice, 1)
      }

      if ( (nombreValeurs<=5)&(nombreValeurs>=2) )
      # Si 5 valeurs non nulles seulement, interpolation linéaire (???)
      {
        interpolationLineaire = lm(formula = Y ~ X, data=selectionSansNA)
        valeurInterpolee = predict(interpolationLineaire, newdata = data.frame("X"=PasTemps))
        Indice = c(Indice, 2)
      }

      # On ajoute la valeur interpolée à la nouvelle table
      newchamp = c(newchamp, valeurInterpolee)

    }
  }
}

for(j in 1:nrow(newdata))
{

```

```

# On copie le nouveau champ (sous forme de vecteur) dans le nouveau data.frame
newdata[j,champ] = newchamp[j]
newdata[j,"Indice"] = Indice[j]

}

}

write.table(newdata,file="newdata2011.txt")
write.table(data,file="data2011.txt")
#|||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||

#
#
#
# data = read.table("data2011.txt")
# newdata=read.table("newdata2011.txt")
#
# #-----
#
# #test1
# data = data[data$Pas_Temps >= 72850,]
# data = data[1:100,]
#
# # Affichage des resultats(quelques plots)
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Avg.1..x)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Avg.1..x, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Std.2..y)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Std.2..y, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Avg)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Avg, col="red")
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Std)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Std, col="red")
#
# #-----
#
# #test2:
# data = read.table("data2011.txt")
# data = data[data$Pas_Temps >= 259840,]
# data = data[1:100,]
#
# # Affichage des resultats(quelques plots)
#
# #penser a faire les graphique selon plusieurs cas et en un seul
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Avg.1..x)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Avg.1..x, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Std.2..y)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Std.2..y, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Avg)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Avg, col="red")
#

```

```

# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Std)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Std, col="red")
#
# #test3:
# data = read.table("data2011.txt")
# data = data[data$Pas_Temps >= 375410,]
# data = data[1:100,]
#
# # Affichage des resultats(quelques plots)
#
# #penser a faire les graphique selon plusieurs cas et en un seul
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Avg.1..x)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Avg.1..x, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Std.2..y)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Std.2..y, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Avg)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Avg, col="red")
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Std)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Std, col="red")
#
#
# #test4:
# data = read.table("data2011.txt")
# data = data[data$Pas_Temps >= 239810,]
# data = data[1:100,]
#
# # Affichage des resultats(quelques plots)
#
# #penser a faire les graphique selon plusieurs cas et en un seul
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Avg.1..x)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Avg.1..x, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$T_Surface_Std.2..y)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$T_Surface_Std.2..y, col="red")
#
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Avg)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Avg, col="red")
#
# plot(data$Pas_Temps, data$Rg_Std)
# lines(newdata$Pas_Temps, newdata$Rg_Std, col="red")
#

####SCRIPT 2

#-----
#           Pas_Temps(données de reference)
#-----

#on créé la table pas de temps de 60minutes
#c'est à partir de cette table que l'on va croiser les données de météo France

ref= data.frame("Pas_Temps" = seq(1500, 525600, 60))
write.table(ref,file="Pas1h.txt")

```

```

#-----
#           meteo Mauguio_2011
#-----

#on traite les données météo
tab<-read.table("meteoMauguio.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)
tab<-unique(tab)
#on supprime les variables qui ne servent a rien!!
tab$AN  <- NULL
tab$MOIS <- NULL
tab$JOUR <- NULL
tab$VT  <- NULL

#on fusionne les données
tab<- merge(tab,ref, by="Pas_Temps",all=TRUE) #on fusionne les deux centrales

#-----
#           newdata2011
#-----

#on traite les données météo
newdata<-read.table("newdata2011.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)
newdata<-unique(newdata)

#on fusionne les 2 jeux de donnees
fusion_2011<- merge(tab,newdata, by="Pas_Temps",all=TRUE)

#on fusionne les deux centrales
write.table(fusion_2011,file="Pommiers.txt")

####SCRIPT 3

data<-read.table("Pommiers.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

#on calcule le VPD
data$VPD_Avg <- 0.6109 * exp( 17.27 * data$T.AIR_Avg/ (data$T.AIR_Avg + 237.3))*(1-(data$RH_Avg/100))
data$VPD_Std <- 0.6109 * exp( 17.27 * data$T.AIR_Std/ (data$T.AIR_Std + 237.3))*(1-(data$RH_Std/100))

#on subdivise la table de données par tranches d'horaires

t1<- data[6<=data$HEURE & data$HEURE<8,] #t1 entre 6h et 7h
t1<-t1[complete.cases(t1),]
t2 <- data[7<=data$HEURE & data$HEURE<9,] #t2 entre 7h et 8h
t2<-t2[complete.cases(t2),]
t3 <- data[8<=data$HEURE & data$HEURE<10,] #t3 entre 8h et 9h
t3<-t3[complete.cases(t3),]
t4 <- data[9<=data$HEURE & data$HEURE<11,] #t4 entre 9h et 10h
t4<-t4[complete.cases(t4),]
t5 <- data[10<=data$HEURE & data$HEURE<12,] #t5 entre 10h et 11h
t5<-t5[complete.cases(t5),]
t6 <- data[11<=data$HEURE & data$HEURE<13,] #t6 entre 11h et 12h
t6<-t6[complete.cases(t6),]
t7 <- data[12<=data$HEURE & data$HEURE<14,] #t7 entre 12h et 13h
t7<-t7[complete.cases(t7),]
t8 <- data[13<=data$HEURE & data$HEURE<15,] #t8 entre 13h et 14h
t8<-t8[complete.cases(t8),]
t9 <- data[14<=data$HEURE & data$HEURE<16,] #t9 entre 14h et 15h
t9<-t9[complete.cases(t9),]
t10 <-data[15<=data$HEURE & data$HEURE<17,] #t10 entre 15h et 16h
t10<-t10[complete.cases(t10),]

```

```

t11 <-data[16<=data$HEURE & data$HEURE<18,] #t11 entre 16h et 17h
t11<-t11[complete.cases(t11),]

# on crée des fonctions pour calculer (Ts-Ta)
#la table result1 correspond aux valeurs moyennes
#la table result2 correspond aux valeurs d'ecart-type

#CAS 1 : On ne prend que des valeurs moyennes
#-----

myfunction_Avg <- function(t1){
  result1 <- data.frame("Pas_Temps" = unique(t1$Pas_Temps),"TsTa1.x"=NA, "TsTa2.x"=NA, "TsTa3.x"=NA,
"TsTa4.x"=NA,"TsTa5.x"=NA,"TsTa6.x"=NA,"TsTa7.x"=NA,"TsTa8.x"=NA,
      "TsTa1.y"=NA, "TsTa2.y"=NA, "TsTa3.y"=NA,
"TsTa4.y"=NA,"TsTa5.y"=NA,"TsTa6.y"=NA,"TsTa7.y"=NA,"TsTa8.y"=NA)
  for (i in min(data$Pas_Temps):max(data$Pas_Temps))
  {
    selection <- t1[(t1$Pas_Temps==i) , ]

    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa1.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.1..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa2.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.2..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa3.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.3..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa4.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.4..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa5.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.5..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa6.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.6..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa7.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.7..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa8.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.8..x - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa1.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.1..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa2.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.2..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa3.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.3..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa4.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.4..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa5.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.5..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa6.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.6..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa7.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.7..y - selection$Tair_Avg)
    result1[result1$Pas_Temps==i, "TsTa8.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.8..y - selection$Tair_Avg)

  }
  return(result1)
}
# Save the results
result1 <- myfunction_Avg(t1)
write.table(result, file="t1.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t2)
write.table(result, file="t2.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t3)
write.table(result, file="t3.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t4)
write.table(result, file="t4.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t5)
write.table(result, file="t5.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t6)
write.table(result, file="t6.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t7)
write.table(result, file="t7.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t8)
write.table(result, file="t8.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t9)
write.table(result, file="t9.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t10)
write.table(result, file="t10.txt")
result1 <- myfunction_Avg(t11)
write.table(result, file="t11.txt")

```

```

#CAS 2 : Onne prend que des valeurs d'ecart type
#-----
myfunction_Std <- function(t1){
  result2 <- data.frame("Pas_Temps" = unique(t1$Pas_Temps), "TsTa1.x"=NA, "TsTa2.x"=NA, "TsTa3.x"=NA,
"TsTa4.x"=NA, "TsTa5.x"=NA, "TsTa6.x"=NA, "TsTa7.x"=NA, "TsTa8.x"=NA,
      "TsTa1.y"=NA, "TsTa2.y"=NA, "TsTa3.y"=NA,
"TsTa4.y"=NA, "TsTa5.y"=NA, "TsTa6.y"=NA, "TsTa7.y"=NA, "TsTa8.y"=NA)
  for (i in min(data$Pas_Temps):max(data$Pas_Temps))
  {
    selection <- t1[(t1$Pas_Temps==i) , ]

    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa1.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.1..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa2.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.2..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa3.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.3..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa4.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.4..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa5.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.5..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa6.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.6..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa7.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.7..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa8.x"] <- (selection$T_Surface_Avg.8..x - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa1.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.1..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa2.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.2..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa3.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.3..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa4.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.4..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa5.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.5..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa6.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.6..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa7.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.7..y - selection$Tair_Avg)
    result2[result2$Pas_Temps==i, "TsTa8.y"] <- (selection$T_Surface_Avg.8..y - selection$Tair_Avg)

  }
  return(result2)
}
# Save the results je double les indices pour differencier des tables précédentes
result2 <- myfunction_Std(t1)
write.table(result, file="t11.txt")
result2 <- myfunction_Std(t2)
write.table(result, file="t22.txt")
result2 <- myfunction_Std(t3)
write.table(result, file="t33.txt")
result2 <- myfunction_Std(t4)
write.table(result, file="t44.txt")
result2 <- myfunction_Std(t5)
write.table(result, file="t55.txt")
result2 <- myfunction_Std(t6)
write.table(result, file="t6.txt")
result2 <- myfunction_Std(t77)
write.table(result, file="t7.txt")
result2 <- myfunction_Std(t88)
write.table(result, file="t8.txt")
result2 <- myfunction_Std(t99)
write.table(result, file="t9.txt")
result2 <- myfunction_Std(t10)
write.table(result, file="t1010.txt")
result2 <- myfunction_Std(t11)
write.table(result, file="t1111.txt")

```

## Annexe7: Comparaison entre deux arbres

```
#on charge le package dans lequel se trouve la fonction "sunvector"
library(insol)
setwd("C:/Users/georgina/Desktop/pommiers/données_pour_script/données2011")
#-----
#           Pas_Temps(données de reference)
#-----

#on créé la table pas de temps de 5minutes
#c'est à partir de ces tables que l'on va croiser toutes les données de centrale

newdata = data.frame("Pas_Temps" = seq(288000, 295140, 10),"Rg.Theo"=NA)
#on transforme les jours en jours julian du 01/01/2012 au 31/12/2012
juneday=JD(seq(ISOdate(2011,7,20,0,0),ISOdate(2011,7,24,23,00),by='10 min'))
# pour pouvoir afficher la partie décimale de juneday
options(digits=12)
newdata$Rg.Theo = sunvector(juneday, 43.60934,3.98118, +2)[,3]

for(i in 1: nrow(newdata))
{
  if(newdata$Rg.Theo[i] < 0)

  {newdata$Rg.Theo[i] = 0
  }
}

write.table(newdata,file="test.txt")

data=read.table("test.txt",head=T,sep="\t", as.is = TRUE)

data$Rg = data$Rg / 1036

for(i in 1: nrow(data))
{
  if(data$Rg[i] < 0)

  { data$Rg[i] = 0
  }
}
write.table(data,"datatraitement.txt")

par(mfrow=c(1,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))
plot(data$Pas_Temps, data$Rg,ylim=c(0,1),xlab = "", ylab = "", type = "l",yaxt="n")
axis(2)
mtext(expression(plain("Radiation  ")(W%.%m^{-2})),sid=2, line=2,cex=0.9,)
par(new=T)
plot(data$Pas_Temps, data$Rg.Theo,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",col="Blue",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Radiation theorique  ")(W%.%m^{-2})),side=4,line=3, cex=0.9)

mtext(" comparaison de Rayonnements ", line=1,cex=0.9,outer=TRUE)
```

```

mtext(" julian day (since 01/01/11)" , line=-27,cex=0.9,outer=TRUE)
abline(NULL,NULL,
col="red",v=c(288800,288860,290240,290300,291680,291740,293120,293180,294560,294620),lty=1 )

```

```

data1=data

```

```

par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

```

```

plot(data1$Pas_Temps, data1$Rg,ylim=c(0,1),xlab = "", ylab = "",type="l",yaxt="n",xaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement ")(W%.%m^{-2})),sid=4, line=2,cex=0.7,)
par(new=T)
plot(data1$Pas_Temps, data1$TsTa1.y,ylim = c(-3,13), xlab="",ylab="",col="Blue",xaxt="n",yaxt="n")
axis(2)
mtext("(Ts1-Tair).x(°C)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(data1$Pas_Temps, data1$Rg,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(data1$Pas_Temps, data1$TsTa1.x, ylim = c(-3,15),xlab= "",ylab = "", col="orange",xaxt="n",yaxt="n")
axis(2)
mtext("(Ts1-Tair).y(°C)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(data1$Pas_Temps, data1$Rg,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",type="l",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(data1$Pas_Temps, data1$VPD, ylim = c(-0,4), xlab = "",ylab = "", pch=2, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Vapor Pressure Deficit(kPa)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

mtext(" Surface Temp(1) - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)

```

```

#-----

```

```

par(mfrow=c(3,1))
par(omi=c(1,0,1,0))
par(mar=c(0,4,0,4))

```

```

plot(data1$Pas_Temps, data1$Rg,ylim=c(0,1),xlab = "", ylab = "",type="l",yaxt="n",xaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement ")(W%.%m^{-2})),sid=4, line=2,cex=0.7,)
par(new=T)
plot(data1$Pas_Temps, data1$TsTa2.y,ylim = c(-3,13), xlab="",ylab="",col="Blue",xaxt="n",yaxt="n")
axis(2)
mtext("(Ts1-Tair).x(°C)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(data1$Pas_Temps, data1$Rg,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",type="l",xaxt="n",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(data1$Pas_Temps, data1$TsTa2.x, ylim = c(-3,15),xlab= "",ylab = "", col="orange",xaxt="n",yaxt="n")
axis(2)
mtext("(Ts1-Tair).y(°C)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

plot(data1$Pas_Temps, data1$Rg,ylim = c(0,1), xlab="",ylab="",type="l",yaxt="n")
axis(4)
mtext(expression(plain("Rayonnement net ")(W%.%m^{-2})),side=4 ,line=3, cex=0.7)
par(new=T)
plot(data1$Pas_Temps, data1$VPD, ylim = c(-0,4), xlab = "",ylab = "", pch=2, col="dark red",xaxt="n")
axis(2)
mtext("Vapor Pressure Deficit(kPa)",side=2,line=3, cex=0.7)

```

```

mtext(" Surface Temp(2) - Air Temp (°C)", line=2,outer=TRUE)
mtext("julian day (since 01/01/11)", line=-16, cex = 0.8, outer=FALSE)

```

