



Master  
**Biologie Géosciences Agroressources & Environnement**

Parcours



**FACTEURS INFLUENÇANT LA TRANSPIRATION  
LIGNEUSE EN BIOCLIMAT SOUDANIEN (NORD-BENIN)**

Rapport de stage de Master 1

Présenté et soutenu le 17 juin 2011 par :

**Kohomlan Gbenakpon Beranger AWESSOU**

Directeurs de stage

**Josiane SEGHIERI & Christophe PEUGEOT**  
Chargés de recherche IRD, MSE Montpellier

1<sup>ère</sup> Promotion 2010-2011

## REMERCIEMENTS

Je remercie infiniment mes maîtres de stage Josiane SEGHIERI et Christophe PEUGEOT du Programme international de recherche Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA), chargés de recherche au Laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), pour m'avoir proposé ce stage de Master 1 à la Maison des Sciences de l'Eau (MSE) Montpellier et pour leur grande disponibilité leurs conseils ainsi que leurs soutiens financiers et moraux tout au long du stage, malgré leurs multiples préoccupations.

Je remercie aussi les responsables du master Biodiversité Végétale Tropicale (BVT) en particulier Claude EDELIN et surtout François MUNOZ pour son dynamisme et son sens de responsabilités.

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont aidé lors de ce stage :

- Luc SEGUIIS du Programme AMMA-Bénin, chargé de recherche à l'IRD, HSM pour la mise à disposition des données de piézométrie et de stock d'eau du sol et pour ses conseils et son soutien moral.
- Alain ROCHETEAU, Ingénieur d'étude au Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE ; Montpellier) pour l'aide technique apportée à l'étude des données de flux de sève.
- Sylvie GALLE du Programme AMMA-Bénin, chargée de recherche à l'IRD du Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) (Grenoble) pour la mise à disposition des données météorologiques.
- Pierre AGBANI, du laboratoire d'Écologie Appliquée, Université d'Abomey-Calavi (Bénin) pour la mise à disposition des données de phénologie et de potentiel hydrique foliaire.

Je remercie aussi toutes les personnes qui sont passées par le bureau n°130 du laboratoire HSM et particulièrement les stagiaires NICOLAS Florian, AMARSID Lhassan et le thésard Bill ISSOUFOU pour ses conseils.

Je remercie finalement ma famille et mes amis pour leurs soutiens et leurs conseils.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine

DBH : Diamètre extérieur d'un arbre à 1,3m du sol (Diameter at Breast Height)

DFS : Densité de Flux de Sève

DSA : Déficit de Saturation de l'Air

Eto : Évapotranspiration de référence

ETP : Évapotranspiration Potentielle

FAO: Food and Agriculture Organization

HSM: HydroSciences Montpellier

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

LTHE : Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement

MSE : Maison des Sciences de l'Eau

Rnet : Rayonnement net

TDR : Time Domain Reflectometry

VPD : Vapour Pressure Deficit (Déficit de saturation de l'air)

# SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	i
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	ii
<b>SOMMAIRE</b> .....	iii
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	v
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	1
I.1. Contexte de l'étude .....	1
I.2. Objectifs de l'étude.....	1
I.3. Etat de l'art sur la transpiration des arbres tropicaux.....	1
<b>II. MATERIELS ET METHODES</b> .....	4
II.1. Le site d'étude et l'échantillonnage des espèces ligneuses instrumentées .....	4
II.2. Les flux de sève .....	6
II.3. Les facteurs biologiques .....	7
II.3.1. La phénologie .....	7
II.3.2. Le potentiel hydrique foliaire .....	7
II.4. Les facteurs de l'environnement.....	8
II.4.1. Les paramètres météorologiques .....	8
II.4.2. Le stock d'eau du sol .....	9
II.4.3 La profondeur de la nappe.....	9
II.5. L'analyse des données .....	9
<b>III. RESULTATS</b> .....	10
III.1. Variations de la densité de flux de sève.....	10
III.1.1. Variations journalières .....	10
III.1.2. Variations saisonnières .....	10
III.2. Comparaison des facteurs environnementaux entre station .....	13
III.2.1. Les paramètres météorologiques .....	13
III.2.2. Le stock d'eau du sol et la profondeur de la nappe.....	13
III.3. Comparaison des paramètres biologiques entre les deux espèces .....	13
III.3.1. La phénologie.....	13
III.3.2. Le potentiel hydrique foliaire .....	14
III.4. Corrélations entre les facteurs déterminants de la variation journalière de la DFS.....	14
III.4.1. Facteurs environnementaux.....	14

III.4.2. Caractérisation des relations entre la DFS journalière et les facteurs déterminants les plus significatifs .....	16
III.4.3. Relation entre la densité de flux de sève journalier et le potentiel hydrique foliaire journalier .....	17
<b>IV. DISCUSSION</b> .....	19
IV.1. Variation de la densité de flux de sève .....	19
IV.2. Variations journalières et saisonnières du potentiel hydrique foliaire .....	19
IV. 3. Facteurs influençant la densité de flux de sève .....	19
IV.3.1. La feuillaison.....	19
IV.3.2. Les facteurs environnementaux.....	20
IV.3.3. Le potentiel hydrique foliaire.....	20
IV.3.4. Le stock d'eau du sol.....	21
IV.4. Limite de l'étude .....	21
<b>V. CONCLUSION</b> .....	22
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	23
<b>RESUME</b> .....	26
<b>ABSTRACT</b> .....	26

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Localisation du site d'étude .....	5
<b>Figure 2:</b> Disposition des deux sondes de mesure de la température servant à l'estimation du flux de sève sur un arbre par ma méthode de Granier (1985).....	5
<b>Figure 3:</b> Exemple type de variations intra-journalières de la DFS du capteur I-55-5 et du Rnet (trait continu = DFS ; tiret = Rnet).....	10
<b>Figure 4:</b> Variations des paramètres mesurés et observés sur la jachère de novembre 2008 à avril 2010 .....	11
<b>Figure 5:</b> Variations des paramètres mesurés et observés en forêt sèche de novembre 2008 à avril 2010 .....	12
Figure 6: Evolution saisonnière du potentiel hydrique foliaire de base ( $\Psi_b$ ) et du potentiel hydrique foliaire minimum ( $\Psi_m$ ) de décembre 2008 à avril 2010. La barre verticale indique l'écart type.....	15
<b>Figure 7:</b> Relation entre la DFS journalière et les facteurs environnementaux déterminants : Colonne gauche : <i>Vitellaria paradoxa</i> (n=61); colonne droite : <i>Isobertia doka</i> (n=66) ; (a) et (b) : Rnet ; (c) et (d) : DSA.....	16
<b>Figure 8:</b> Relation entre (a) la DFS journalière de <i>V. paradoxa</i> et le stock d'eau du sol à 5m:et (b) la DFS journalière de <i>V. paradoxa</i> . (n=61). .....	16
<b>Figure 9:</b> Relation entre la variation intra-journalière du potentiel hydrique foliaire ( $\Psi$ ) et celle de la DFS chez <i>Isobertia doka</i> (colonne 1) et <i>V. paradoxa</i> (colonne 2). .....	18
<b>Figure 10:</b> Relation entre le $\Psi_b$ , le $\Delta\Psi$ et la DFS journalière chez <i>Isobertia doka</i> et <i>V. paradoxa</i> .....	18

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1:** Dénomination des capteurs de flux de sève mis en place sur des *Vitellaria paradoxa* et caractéristiques des arbres instrumentés .....5

**Tableau 2:** Dénomination des capteurs mis en place sur *Isoberlinia doka* et caractéristiques des arbres instrumentés.....5

**Tableau 3:** Table d'Analyse de Variance (ANOVA) réalisée sur les différentes valeurs du potentiel hydrique foliaire de base et du potentiel hydrique minimum relevées sur *Isoberlinia doka* et *Vitellaria paradoxa* sur les sites de Béléfoungou et Bira. ....15

**Tableau 4:** Coefficient de corrélation de Spearman  $\rho$  entre la DFS et les facteurs environnementaux (P5 et P8 humidité du sol aux profondeurs de 5 et 8m) .....15

## **I. INTRODUCTION**

### **I.1. Contexte de l'étude**

La croissance démographique forte des pays de la région ouest-africaine modifie à la fois la quantité et la qualité des ressources disponibles pour les populations. Dans ce contexte, la variabilité du climat a un impact qui évolue tant sur les ressources en eau que sur les ressources végétales modifiées par l'homme. Pour être en mesure d'en prévoir les conséquences, il est donc nécessaire de comprendre les interactions entre la variabilité climatique, les modifications durables des couverts végétaux (liées notamment à la déforestation) et de leur fonctionnement, et le cycle hydrologique continental. La végétation joue un rôle primordial dans les bilans énergétique et hydrique tropicaux (Afouda *et al.*, 2001). La contribution de la transpiration de la strate ligneuse à l'évapotranspiration est en général significative du fait des prélèvements de l'eau presque permanent et en profondeur, contrairement à la strate herbacée (Lubczynski, 2009). C'est dans ce cadre que le Laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM) a mis en place en 2008, un dispositif pour quantifier les variations de la transpiration de la strate ligneuse dominante sur le site principal soudano-guinéen du programme international de recherche Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA) (Redelsperger *et al.* 2006). Ce site est situé en environnement soudano-guinéen (Aubreville, 1950), au Nord-Ouest du Bénin, dans le bassin versant de la Donga, sur deux types de surface : une forêt sèche classée et une savane arbustive post-culturelle (jachère).

### **I.2. Objectifs de l'étude**

L'objectif général du travail est de compléter l'étude de Servièrre (2010) sur les variations de la transpiration de deux espèces ligneuses dominantes en environnement soudano-guinéen. Il s'agit d'étudier les relations de la transpiration avec deux nouveaux facteurs : l'humidité du sol au-delà d'un mètre de profondeur et le potentiel hydrique foliaire. Ainsi, on précisera l'influence de la variation du stock en eau de toute la zone non saturée et on vérifiera si les arbres subissent des périodes de stress hydrique au cours de leur période de feuillaison qui puissent être imputables à des variations de disponibilité en eau dans cette zone. Il s'agira concrètement de quantifier les corrélations, entre les variations de la densité de flux de sève (DFS) et celles du potentiel hydrique foliaire d'une part, entre les variations de la DFS et celles de l'humidité du sol en profondeur d'autre part. L'analyse se fera au regard de l'influence des autres facteurs déjà testés par Servièrre (2010) : Pluie, rayonnement net et le déficit de saturation de l'air, profondeur de la nappe.

### **I.3. Etat de l'art sur la transpiration des arbres tropicaux**

La transpiration ligneuse est la perte en eau des arbres sous forme de vapeur d'eau principalement par les stomates. Chez les plantes vasculaires, la quasi-totalité, plus de 90% de l'eau puisée dans le

sol sous forme liquide par les racines ne fait que traverser la plante avant de s'évaporer dans l'atmosphère.

Depuis l'avènement de la mesure du flux de sève dans le tronc par la méthode par dissipation de chaleur de Granier (1985) pour l'estimation de la transpiration à l'échelle de l'arbre, plusieurs études ont abordé le phénomène de la transpiration, tant dans son aspect physiologique qu'hydrologique et hydrogéologique. Certaines études se sont orientées vers l'amélioration de la méthode. Ainsi, Cabibel et Do (1991) ont proposé une correction par l'évapotranspiration potentielle (ETP) de l'influence des interférences thermiques extérieures sur la mesure des flux. Do et Rochetau (2002) ont proposé un chauffage alternatif pour la correction de ce même problème.

Les connaissances actuelles sur la transpiration des arbres tropicaux demeurent cependant limitées. En Afrique, Roupsard *et al.* (1998) ont montré que la valeur de la transpiration de *Faidherbia albida* chute avec la diminution de la disponibilité de l'eau dans le sol jusqu'à - 4,25m, entraînant une baisse du potentiel hydrique foliaire mesuré à l'aube avant l'ouverture des stomates (valeurs plus négatives). Do et Rochetau (2003) ont montré que les variations de la transpiration journalière de *Acacia tortilis* var. *raddiana* au Nord-Sénégal en Afrique Sahélienne sont essentiellement liées aux seules fluctuations de la demande évaporative. Pour Servièrè (2010), le rayonnement net (Rnet) journalier et le déficit de saturation de l'air maximal journalier sont significativement déterminants de la variation journalière de la DFS chez les espèces *Vitellaria paradoxa* et *Isobertinia doka* sur notre site d'étude. A l'échelle saisonnière, le principal facteur responsable des variations de la transpiration est la phénologie foliaire. Dès que les feuilles apparaissent, la transpiration est rapidement maximale, ce qui suppose que l'ensemble des jeunes feuilles qui apparaissent sur l'arbre transpirent autant que, plus tard, l'ensemble des feuilles matures (Servièrè, 2010 ; Do *et al.* 2008). En zone sahélienne Do et Rochetau (2003) ont montré que *Acacia tortilis* var. *raddiana* transpire quasiment toute l'année en relation avec la phénologie foliaire et la disponibilité en eau du sol en surface. De plus, l'espèce a accès à la nappe phréatique à 31m de profondeur (Do *et al.* 2008). Obakeng (2005), a montré que la pluie n'a pas d'effet sur la transpiration de 41 individus appartenant à 9 espèces d'arbres désertique dans le Kalahari au Botswana (environ 400mm d'eau de pluie par an). Il a noté très peu de variations de la transpiration entre saison ce qui suppose que ces espèces pourraient extraire l'eau principalement au-delà de 4 m de profondeur du sol. Enfin, en zone soudanienne, Servièrè (2010) trouve que la variation de l'humidité du sol jusqu'à un mètre de profondeur et les variations de la profondeur de la nappe n'ont pas d'influence significative sur la transpiration. Enfin,

D'autres études ont été réalisées en milieu tropical en Amérique du Sud et en Asie. Huang *et al.* (2010) ont montré que la variation de la DFS chez *Artemisia ordosica* dans le désert de Tengger en Chine (187 mm de pluie annuelle) est principalement influencée par le rayonnement net, le déficit de saturation de l'air (DSA) et à un moindre degré par la température de l'air et la vitesse du vent. Pour Qu *et al.* (2007), le rayonnement net, la température de l'air, le déficit de saturation de l'air, l'humidité relative et le vent sont, par ordre d'importance, les facteurs météorologiques qui ont un effet significatif sur la variation de la DFS chez *Tamarix elongata* Ledeb en bordure du désert de Tenggeli (134 mm de pluie par an). Ces auteurs ont montré également que le contenu en eau entre 150-300 cm de profondeur est également significativement corrélé avec la DFS.

## II. MATERIELS ET METHODES

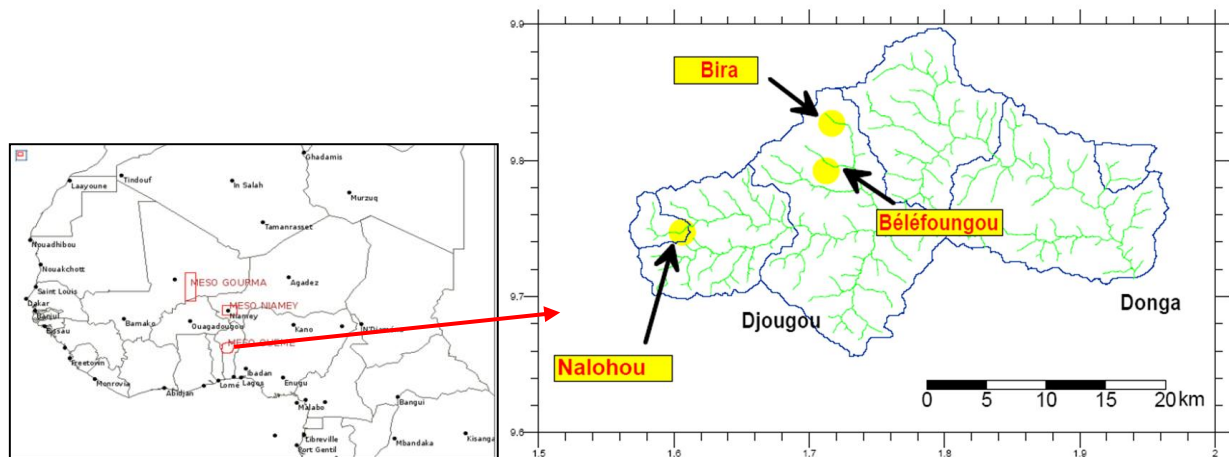
### II.1. Le site d'étude et l'échantillonnage des espèces ligneuses instrumentées

Les données traitées au cours de notre stage sont celles obtenues sur le site principal du programme AMMA au Nord Ouest du Bénin : le bassin versant de la Donga (entre les parallèles 9°40' - 9°54'N et 1°34' - 1°58' E). La saison des pluies s'étend d'avril à octobre et la pluviométrie annuelle moyenne est de 1200 mm (1950-2005, Lawin, 2007). Les deux stations étudiées sont situées sur deux types de couverts végétaux représentatifs de la majorité des couverts non cultivés du site d'étude. Il s'agit de :

- la forêt classée de Béléfoungou : C'est une forêt claire résultant de la dégradation d'une forêt à Légumineuses (Aubréville, 1950). L'espèce ligneuse dominante *Isoberlinia doka*, contribue à 43 % de la densité du couvert de la strate supérieure à 12 m et de la strate inférieure à 6 m de hauteur (Blanchard *et al.*, 2007).
- la savane arbustive de Bira : C'est une jeune jachère composée de graminées pérennes et d'arbustes. L'espèce ligneuse dominante est *Vitellaria paradoxa* (le karité) qui contribue à plus de 50% de la densité du couvert supérieur et à 6 m de haut (Blanchard *et al.* 2007).

Les espèces ligneuses instrumentées avec des capteurs de flux de sève sont les espèces dominantes de chacune des deux stations:

- ***Isoberlinia doka*** : De la famille des Césalpiniacées, elle est semi-caducifoliée. Cette espèce occupe les forêts claires de l'Afrique Occidentale et Centrale (Aubréville, 1949). Les arbres possèdent une cime assez étroite et ouverte allant jusqu'à plus de 12m de haut, à tronc court (3-5m) et souvent creux atteignant 60 cm de diamètre. Les feuilles sont alternes, paripennées, plus ou moins cireuses et brillantes et vert foncé sur les deux faces. (Arbonnier, 2002).
- ***Vitellaria paradoxa (le karité)***: De la famille des Sapotacées, elle est semi-caducifoliée. Cette espèce occupe les savanes soudaniennes et guinéennes et pousse sur tous les types de sol, sauf les sols inondés. Les arbres possèdent une cime d'allure sphérique, dense, fortement branchue et ramifiée pouvant aller à plus de 12 m de haut et un fût généralement court (2-3m) et noueux. Ses feuilles sont alternes, ordinairement un peu ondulées et rassemblées à l'extrémité des branches (Arbonnier, 2002). Lors de la mise en culture, les agriculteurs en protègent les arbres car ils produisent des fruits dont le beurre est le plus économiquement rentable (Bayala *et al.* 2008). Ils constituent ainsi une grande partie des parcs agroforestiers du Nord-Bénin.



**Figure 1:** Localisation du site d'étude

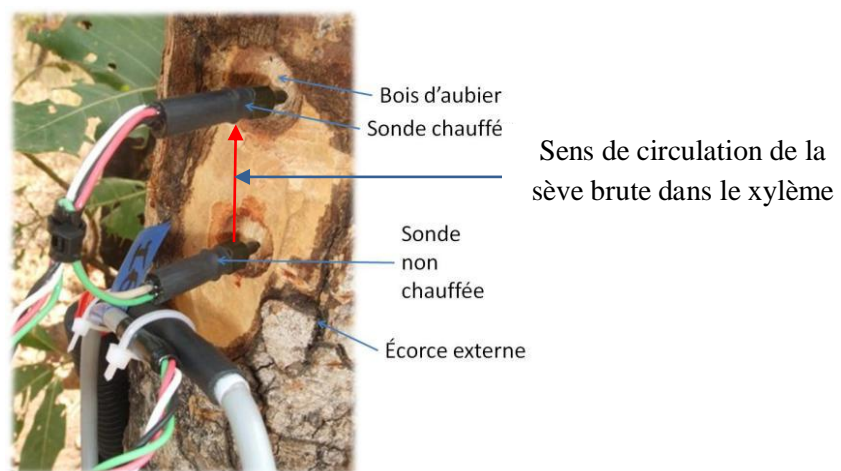


Photo Peugeot C.

**Figure 2:** Disposition des deux sondes de mesure de la température servant à l'estimation du flux de sève sur un arbre par ma méthode de Granier (1985)

**Tableau 1:** Dénomination des capteurs de flux de sève mis en place sur des *Vitellaria paradoxa* et caractéristiques des arbres instrumentés

N°arbre	K1		K2	K3		K4	K5	K6
Nom du capteur	K-32-1	K-32-5	K-13-1	K-37-1	K-37-5	K-16-1	K-15-1	K-07-1
DBH (cm)	32		13	37		16	15	7
Taille de l'aiguille (cm)	1	5	1	1	5	1	1	1
Profondeur d'insertion	1,8		1	2,2		1,4	1	2,2

**Tableau 2:** Dénomination des capteurs mis en place sur *Isoberlinia doka* et caractéristiques des arbres instrumentés

N°arbre	I1		I2		I3	I4	I5	I6
Nom du capteur	I-55-1	I-55-5	I-37-1	I-37-5	I-21-1	I-23-1	I-26-1	I-12-1
DBH (cm)	32		37		21	23	26	12
Taille de l'aiguille (cm)	1	5	1	5	1	1	1	1
Profondeur d'insertion	1,7		1,5		1,3	1,2	1,5	1

## II.2. Les flux de sève

Les mesures de flux de sève ont été effectuées de novembre 2008 à avril 2010. Six arbres sont sélectionnés par station, choisis comme étant représentatifs des classes de diamètres majoritaires au sein du peuplement de chaque espèce.

Pour la mesure de flux de sève à l'échelle de l'arbre, la technique utilisée est celle de Granier (1985) à dissipation thermique. Le dispositif expérimental est constitué de deux sondes de mesure de la température insérées dans l'aubier de l'arbre, à 1,3 m du sol et séparées verticalement d'environ 4 cm (Figure 2). Chaque sonde contient un thermocouple cuivre-constantan. Ces deux thermocouples sont montés en opposition afin de mesurer l'écart de température entre les deux sondes. La sonde, la plus en aval du flux de sève, est équipée d'une résistance (aluminium) chauffée à une puissance constante. L'autre sonde est située en dessous de la première. Elle est en opposition et n'est pas chauffée ni influencée par le chauffage de la première. Elle sert de référence en mesurant la température de l'arbre. Le fonctionnement du dispositif est le suivant : en l'absence de flux (la nuit), l'écart de température entre les deux sondes  $\Delta T_0$  est maximum. Lorsqu'il y a un flux (le jour), une partie de la chaleur dégagée par l'élément chauffant situé en amont, est évacuée par convection vers le haut, de sorte que l'écart de température entre les deux sondes,  $\Delta T$ , diminue. Sa valeur dépend de la densité de flux de sève au voisinage des deux sondes. Nos arbres échantillonnés sont instrumentés soit par un (1 cm de long) soit par deux (1 et 5 cm de long) thermocouples de type DYNAMAX (Houston, Texas, USA). Les capteurs de flux de sève ont été dénommés de la façon suivante : la première lettre: I ou K indique l'espèce instrumentée (*Isobertinia doka* ou Karité), le premier nombre correspond au DBH de l'arbre et le deuxième nombre (1 ou 5) correspond à la longueur de la sonde (Tableaux 1 et 2).

Les différences de température  $\Delta T$  sont mesurées toutes les 5 min puis moyennées sur la demi-heure précédente. Les données ( $\Delta T$ ) sont enregistrées grâce à une centrale d'acquisition (CAMPBELL) qui enregistre  $\Delta T$ .

A partir des différences de température entre les deux sondes, on calcul l'index de flux K pour chaque demi-heure.

$$K = (\Delta T_0 - \Delta T_j) / \Delta T_j \quad \text{Équation 1}$$

$\Delta T_j$ : Différence de température en présence de flux de sève au temps j dans la journée ;

$\Delta T_0$ : Différence de température maximale mesuré entre 20:00 du jour j-1 et 07: 30 du jour j, en prenant pour hypothèse que l'arbre ne transpire pas pendant cette période.

La DFS (en  $l \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$ ) est proportionnelle à l'index K, et cette relation d'après Granier (1985) est valable pour toutes les espèces ligneuses.

$$DFS = 4,284 \cdot K^{1,231} \quad \text{Équation 2}$$

La DFS journalière est calculée en divisant par 2 le cumul des valeurs de la DFS entre 00:30 du jour j et 00:00 du jour j+1. On prend ainsi en compte les transpirations nocturnes éventuelles résiduelles.

### **II.3. Les facteurs biologiques**

Les observations des stades phénologiques et les mesures du potentiel hydrique foliaire ont été faites de décembre 2008 à avril 2010 sur les arbres instrumentés pour les mesures de flux de sève avec une fréquence d'à peu près d'une fois par mois en saison sèche ou des pluies, et de deux fois par mois en période de transition.

#### **II.3.1. La phénologie**

Les stades phénologiques sont notés selon la méthode visuelle proposée par Grouzis et Sicot (1980). Chaque phase est subdivisée en 6 stades qui correspondent au développement suivant:

- stade 0 : pas de feuilles du tout;
- stade 1 : gonflement des bourgeons, pas de feuilles développées ou moins de 10% des feuilles de la canopée épanouies ;
- stade 2 : bourgeons foliaires encore visibles et entre 10 et 50 % des feuilles de l'individu épanouies ;
- stade 3 : pleine feuillaison plus de 50 % des feuilles de l'individu sont épanouies ;
- stade 4 : feuilles vertes encore visibles et/ou entre 10 et 50 % des feuilles de la canopée sèches ou ayant changé de couleur ;
- stade 5 : plus de 50 % des feuilles de la canopée sont sèches et chute des feuilles observable; c'est le stade le plus difficile à noter car certains individus peuvent garder leurs feuilles sèches en place relativement longtemps.

Afin d'identifier rapidement les périodes pendant lesquelles l'indice de feuillaison est minimal sur les phénogrammes, les stades phénologiques ont été regroupés en indice de feuillaison : (1) pour les stades 1 et 5; (2) pour les stades 2 et 4 ; (0) pour le stade 0 et (3) pour le stade 3 (Do *et al.* 2008).

#### **II.3.2. Le potentiel hydrique foliaire**

Le potentiel hydrique foliaire ( $\Psi$ ) a été mesuré à l'aide d'une presse hydraulique Delta T device. La méthode consiste à couper un morceau de feuille d'environ  $1cm^2$ . Ce morceau de feuille est rapidement placé dans la chambre étanche de la presse sur un papier filtre blanc, puis est comprimé à l'aide du vérin hydraulique jusqu'à apercevoir la première rangée de gouttes de sève qui sort le long de la section foliaire. Les mesures débutent entre 6h32 et 09h, s'achèvent dans l'après midi

entre 16 heures et 18 heures, ce qui correspond à un retour sur chaque arbre toutes les heures. Elles sont effectuées sur trois feuilles par arbre : en haut, au milieu et en bas de la canopée.

Pour caractériser l'état hydrique d'une plante, on identifie deux valeurs particulières du potentiel hydrique foliaire au cours de sa cinétique journalière. Le potentiel hydrique de base ( $\Psi_b$ ) qui est le potentiel obtenu en fin de nuit, le plus souvent en condition de flux nul, lorsque le potentiel hydrique dans le végétal est considéré comme étant en équilibre avec celui du sol, après une nuit avec les stomates fermés, donc sans transpiration. Ce potentiel constitue donc un indicateur de la contrainte hydrique liée au contenu en eau du sol. Le potentiel hydrique foliaire minimum journalier ( $\Psi_{min}$ , le plus négatif) correspond au stress hydrique maximum subi par l'arbre au cours de la journée. La moyenne des trois mesures effectuées à chaque passage en haut, au milieu et en bas de la canopée est calculée.

Pour combler les données manquantes entre 7h15 et les heures tardives (de 7h30 à 9h) de mesures, à plusieurs dates nous avons calculé la moyenne des différences entre 6h30 et ces heures sur tous les individus d'une espèce et toutes les dates auxquelles des mesures avaient été faites avant 7h30. Nous avons retranché ces valeurs moyennes aux premières valeurs mesurées après 7h30.

## II.4. Les facteurs de l'environnement

### II.4.1. Les paramètres météorologiques

Les données météorologiques proviennent de capteurs de mesures automatiques situés sur des mats installés sur chaque station dans le cadre du programme AMMA.

- ✚ **La pluie** : elle est mesurée par un pluviographe à auget. La précision d'enregistrement est de 1/10mm.
- ✚ **Le rayonnement net (Rnet)** (en W/m<sup>2</sup>) représente l'énergie radiative disponible à la surface. Il est calculé par la formule suivante :

$$R_{net} = (SW_{in} + LW_{in}) - (SW_{out} + LW_{out}) \quad \text{Equation 3}$$

Avec : -  $SW_{in}$  = rayonnement incident de courtes longueurs ondes en W/m<sup>2</sup>

-  $SW_{out}$  = rayonnement réfléchi de courtes longueurs d'ondes en W/m<sup>2</sup>

-  $LW_{in}$  = rayonnement incident de grandes longueurs d'ondes en W/m<sup>2</sup>

-  $LW_{out}$  = rayonnement réfléchi de grandes longueurs d'ondes en W/m<sup>2</sup>

- ✚ **L'Évapotranspiration de référence  $E_{to}$**  (en mm/j) : elle caractérise la demande atmosphérique. Elle est calculée par la formule FAO Penman-Monteith à partir de la température (T), de l'humidité de l'air (HR), du rayonnement net (Rnet), du flux de chaleur dans le sol (G) et de la vitesse du vent (Allen *et al.* 2006).

✚ **Déficit de saturation de l'air (DSA ou VPD) :** c'est la quantité potentielle de vapeur d'eau que l'air pourrait contenir à un instant donné avant d'être saturé. Il se calcule en fonction de T et de HR.

$$VPD = e_s \cdot (1 - HR/100) \quad \text{Equation 4}$$

Avec : HR = humidité relative de l'air en % ;  $e_s$  = pression de vapeur saturante à la température de l'air T en kPa qui s'obtient par la formule de Tetens :

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp [17,27T/T+237,5] \text{ avec } T = \text{température de l'air en } ^\circ\text{C}$$

A l'échelle de la journée, on considère les valeurs cumulées de Pluie et de Rnet sont cumulées sur la journée; le maximum journalier du DSA appelé DSAm<sub>ax</sub> et les valeurs diurnes cumulées d'Eto entre 5h et 19h quelle que soit la saison.

#### **II.4.2. Le stock d'eau du sol**

Il est mesuré tous les deux jours jusqu'à 5m et 8m de profondeur respectivement sur la jachère et la forêt sèche par mesure à la sonde à neutrons (CPN 503DR). Un étalonnage gravimétrique est réalisé entre 0,15m ; 0,30m et 0,50m (Clergue, 2010).

#### **II.4.3 La profondeur de la nappe**

La profondeur de la nappe est relevée tous les deux jours dans un piézomètre par station. La profondeur du fond du tube est de 6,23 m pour la jachère et de 19,83 m pour la forêt sèche.

Nous avons procédé à une interpolation linéaire entre les valeurs mesurées de piézométrie et d'humidité du sol pour faire correspondre les dates de mesures avec celles des facteurs biologiques.

#### **II.5. L'analyse des données**

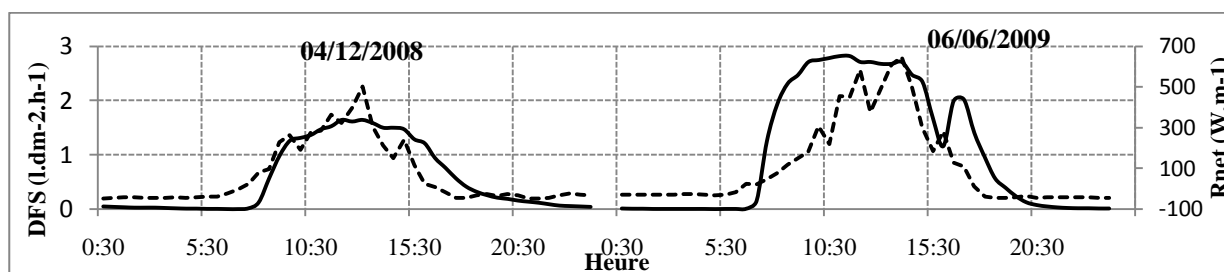
Différents graphiques mettant en évidence les variations journalières et saisonnières de la DFS et des différents facteurs explicatifs et les corrélations existantes sont réalisés sous Excel 2007. Les coefficients de corrélation sont calculés avec le logiciel R 2.12.0 sous windows par la méthode de Spearman. La caractérisation des relations significatives (équations de régression) a été réalisée par la méthode de régression simple grâce au logiciel R 2.12.0. Ce même logiciel a été utilisé pour tester l'effet de la saison et de la feuillaison sur la variation du potentiel hydrique foliaire par la méthode d'ANOVA à un ou plusieurs facteurs.

### III. RESULTATS

#### III.1. Variations de la densité de flux de sève

##### III.1.1. Variations journalières

Des exemples de variation journalière des flux de sève sont présentés dans la figure 2. On constate à partir de cette figure que quel que soit le jour ou l'espèce, la DFS augmente rapidement après le lever du jour avec l'ouverture des stomates et atteint un maximum en fin de matinée entre 11h30 et 13h. Cette période est suivie d'une période courte relativement stable au cours de la mi-journée entre 13h et 14h puis d'une baisse des flux à partir de 15h qui deviennent nuls la nuit à partir de 21h30 à 22h30. La DFS montre quelques fluctuations au cours de la journée dues aux variations météorologiques intra journalières (figure 3) où une chute brusque de la DFS est apparait entre 15h30 et 16h30.



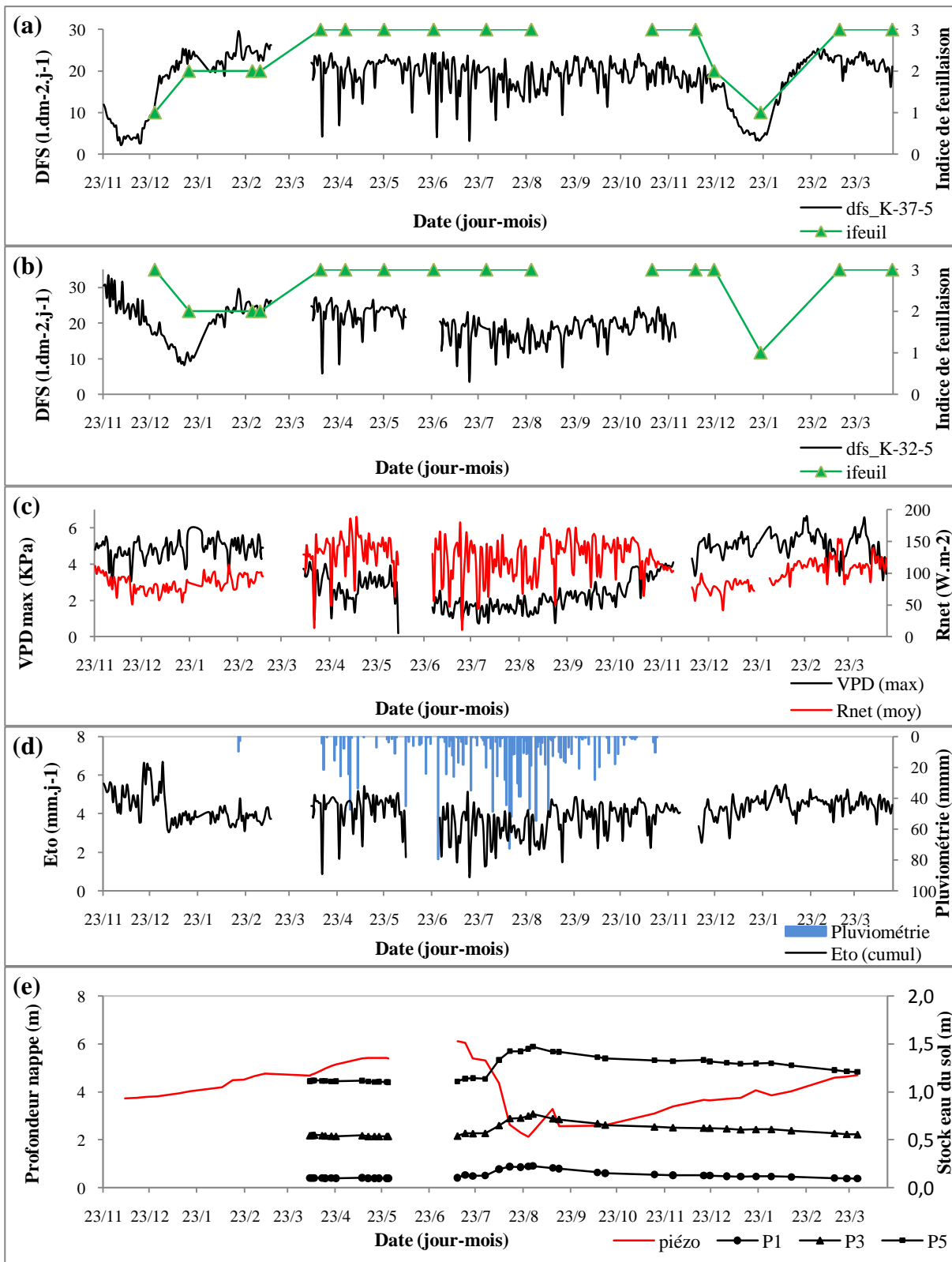
**Figure 3:** Exemple type de variations intra-journalières de la DFS du capteur I-55-5 et du Rnet (trait continu = DFS ; tiret = Rnet)

##### III.1.2. Variations saisonnières

Les variations saisonnières de la DFS sont représentées sur les figures 4a et 4b pour la jachère qui correspond au capteur K-37-5 et K-32-5 et les figures 4a et 4b pour la forêt qui correspond au capteur I-55-5 et K-37-5. Ces capteurs sont ceux dont les données ont été considérées seules exploitables par Servièrre (2010) sur l'ensemble de la période de mesure.

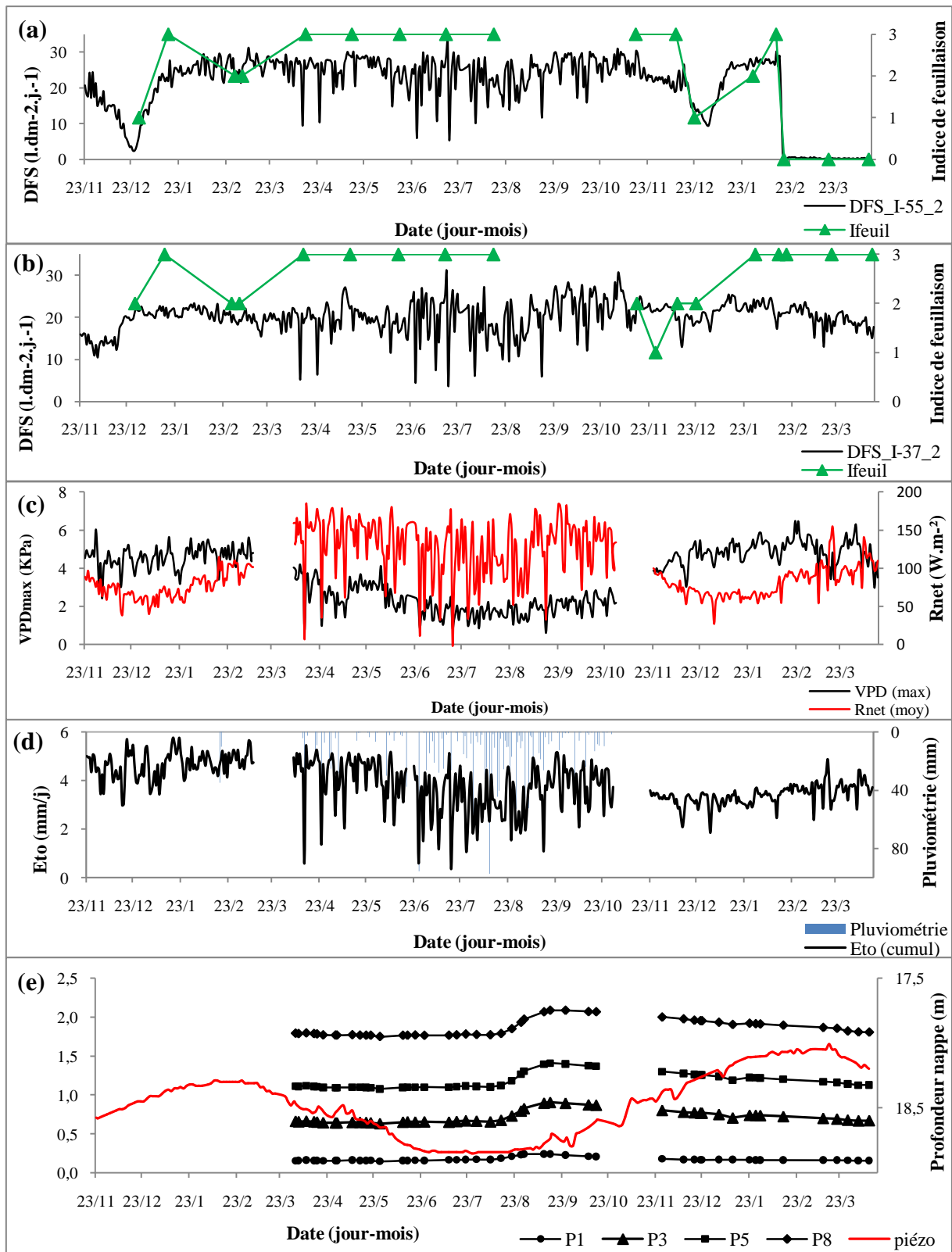
Les figures 4d, 5d et 4a, 4b, et 5a, 5b montrent que la DFS atteint son maximum début février, avant les premières pluies significatives qui surviennent fin mars. Elle chute vers décembre, après la fin des pluies qui intervient en octobre. Tandis que les figures 4a et 4b et 5a et 5b montrent que la DFS varie avec l'indice foliaire.

De même, une diminution de l'indice foliaire est suivie d'une diminution de la DFS. Dès que l'indice de feuillaison atteint 2, la DFS est au maximum. Par exemple sur la figure 5d, la chute drastique de la DFS sur l'arbre I-55-5 de février à avril 2010 s'explique par sa défeuillaison complète. L'évolution saisonnière de la DFS semble suivre une tendance similaire à celle du DSA, de l'Eto et du Rnet (figures 4 et 5). Elle atteint des valeurs supérieures quand les valeurs de ces paramètres météorologiques sont élevées et diminue lorsqu'elles prennent des valeurs faibles.



**Figure 4:** Variations des paramètres mesurés et observés sur la jachère de novembre 2008 à avril 2010

(a) Moyenne journalière de la densité de flux de sève du capteur K-37-5, et Phénogramme ( indice de feuillaison) (b) Moyenne journalière de la densité de flux de sève du capteur K-32-5, et Phénogramme ( indice de feuillaison) (c) Rnet moyen et DSA max (VPD max); (d) Pluie journalière et Eto journalière ; (e) Stock d'eau (0 – 1m; 0-3m et 0-5m) et profondeur de la nappe (piézomètre).



**Figure 5:** Variations des paramètres mesurés et observés en forêt sèche de novembre 2008 à avril 2010

(a) Moyenne journalière de la densité de flux de sève du capteur I-55-5, et Phénogramme ( indice de feuillaison) (b) Moyenne journalière de la densité de flux de sève du capteur I-37-5, et Phénogramme (indice de feuillaison) ; (c) Rnet et DSA max (VPD max); (d) Pluie journalière et Eto journalière ; (d) Stock d'eau (0 – 1m ; 0-3m ; 0-5m et 0-8m) et profondeur de la nappe (piézomètre).;

## **III.2. Comparaison des facteurs environnementaux entre station**

### **III.2.1. Les paramètres météorologiques**

Les figures 4 (c et d) et 5(c et d) présentent les variations saisonnières du Rnet, du DSAmax, de l'Eto et de la pluviométrie respectivement au niveau de la jachère et de la forêt sèche. Ces figures montrent que le DSA max et l'Eto atteignent leurs valeurs maximales en période sèche et leurs valeurs minimales en saison humide. Les moyennes journalières du DSAmax et de l'Eto, du Rnet et la pluviométrie annuelle sont presque identiques pour toutes les stations. Le DSA max relevé sur les deux stations varie autour d'un maximale de 6,5 KPa pour la jachère en février 2010, l'Eto est environ de 4 mm.j<sup>-1</sup> (avec un maximale de 6,7 mm.j<sup>-1</sup> pour la jachère et 5,8 mm.j<sup>-1</sup> pour la forêt en janvier 2009). La pluviométrie annuelle est de 1500 mm (1510 mm pour la jachère, 1536 mm pour la forêt). Le Rnet moyen journalier varie aussi très peu selon les stations (jachère : 111,085 W.m<sup>-1</sup>, forêt : 101,110 W.m<sup>-1</sup>).

### **III.2.2. Le stock d'eau du sol et la profondeur de la nappe**

Trois profondeurs sont considérés dans notre étude pour la jachère : 1m; 3m et 5m, et quatre pour la forêt sèche : 1m, 3m, 5m et 8m. Sur les figures 4e et 5e on constate que l'évolution du stock d'eau du sol est pratiquement la même sur les 2 stations à stations à profondeur égale. Il montre des valeurs minimales de 0,09, 0,54, 1,10m au niveau de la jachère et 0,15, 0,63, 1,07m au niveau de la forêt respectivement à 1m ; 3m et 5m en profondeur (mai 2009). Les valeurs maximales sont de 0,23, 0,77, 1,47m d'eau au niveau de la jachère et 0,24, 0,90, 1,40m d'eau respectivement à 1m ; 3m et 5m en profondeur (août 2009 sur la jachère et septembre pour la forêt). Le stock d'eau du sol de tous les horizons augmente légèrement avec l'abondance des pluies, maximal entre août et septembre et chute environ un mois après la fin des pluies (figures 4e et 5e)

L'analyse des figures 4e et 5e montre que le niveau de nappe commence à augmenter dès les premières pluies en avril. Il atteint son maximum au milieu de la saison des pluies (juin -juillet) et commence à décroître (septembre) avant la fin des pluies (octobre). Le niveau de la nappe varie de 18,85 m en juillet 2009 à 18,01 m en mars 2010 en forêt et de 6,110 m en juillet 2010 à 2,116 m en août 2010 sur la jachère.

## **III.3. Comparaison des paramètres biologiques entre les deux espèces**

### **III.3.1. La phénologie**

Sur les deux stations, on constate que les deux espèces maintiennent leur pleine feuillaison une grande partie de l'année (environ 9 mois) et la période à laquelle les arbres ont moins de feuilles s'étale de novembre à décembre pour *I. doka* et de novembre à février pour *V paradoxa* (figure 4a, figure 5a). La défeuillaison observée sur I-55 de février à avril est due aux activités humaines

(coupures des branches ; figure 5b). On note des décalages pouvant aller jusqu'à 2 mois entre les individus de la même espèce.

### **III.3.2. Le potentiel hydrique foliaire**

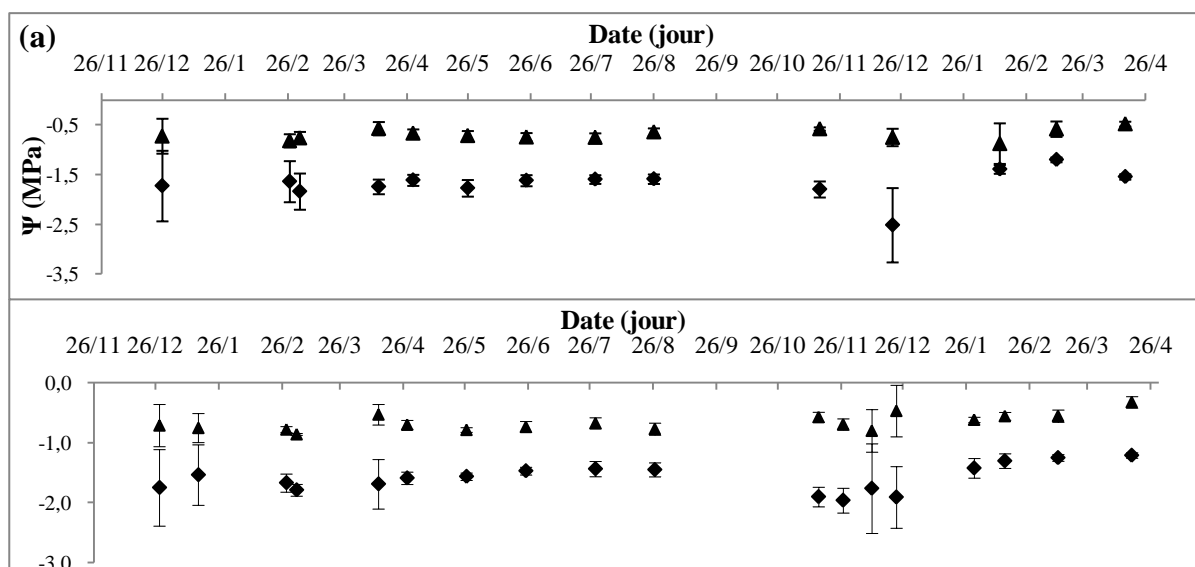
Les figures 6 présentent les variations saisonnières du  $\Psi_b$  et du  $\Psi_{min}$  observées sur les six arbres instrumentés par station. On note que  $\Psi_b$  est minimum au cours de la période sèche ( $-0,86 \pm 0,01$  MPa sur *I. doka* en mars 2009 et  $-0,87 \pm 0,41$  MPa sur *V. paradoxa* en février 2010) et maximum au début de la saison des pluies ( $-0,32 \pm 0,09$  MPa pour *I. doka* et  $-0,48 \pm 0,05$  pour *V. paradoxa* en avril 2010). Les mêmes tendances sont observées pour le potentiel hydrique foliaire minimum ( $\Psi_{min}$ ) au niveau de *I. doka* où le minimum relevé est  $-1,97$  MPa en novembre 2009 et le maximum  $-1,21$  MPa en avril 2010. Sur l'espèce *V. paradoxa*, la valeur minimum du  $\Psi_{min}$  est relevée en décembre 2009 ( $-2,52$  MPa) et la valeur maximum en mars 2010 ( $-1,20$  MPa). Comme attendu, les deux espèces sont moins stressées pendant la saison des pluies que pendant la saison sèche. Cependant une analyse de variance (tableau 3) montre que ni la saison ni la phénologie n'ont d'effet sur la variation de  $\Psi_b$  chez les deux espèces, alors que l'indice de feuillaison a un effet sur la variation du  $\Psi_{min}$  mais seulement chez *I. doka*. ( $p < 0,001$ ).

## **III.4. Corrélations entre les facteurs déterminants de la variation journalière de la DFS**

### **III.4.1. Facteurs environnementaux**

Une analyse des figures 4 et 5 montre qu'il semble exister une relation entre la variation de ces facteurs et celle de la DFS à partir du moment où l'indice de feuillaison est au moins égal à 2. Des corrélations simples ont donc été calculées entre la DFS journalière et les facteurs environnementaux pour la période pendant laquelle l'indice de feuillaison était égal à 3 et 2, (tableau 4). Les résultats indiquent que la DFS est significativement positivement corrélée avec le Rnet quelle que soit l'espèce. Pour *V. paradoxa*, la corrélation est très significative et négative entre la DFS et le stock d'eau à 5m de profondeur et entre la DFS et la pluie mais significative et positive avec la profondeur de la nappe. Une corrélation très significative et positive est notée également entre la DFS et le DSA chez cette espèce.

A partir de ces résultats, nous allons chercher à caractériser chez les deux espèces, la relation linéaire entre leur DFS et ces facteurs explicatifs qui sont les plus significatifs



**Figure 6:** Evolution saisonnière du potentiel hydrique foliaire de base (  $\Psi_b$  ) et du potentiel hydrique foliaire minimum (  $\Psi_{min}$  ) de décembre 2008 à avril 2010. La barre verticale indique l'écart type. (a) Espèce *V. paradoxa* (moyenne sur 6 individus). (b) *Isoberlinia doka* (moyenne sur 6 individus).

**Tableau 3:** Table d'Analyse de Variance (ANOVA) réalisée sur les différentes valeurs du potentiel hydrique foliaire de base et du potentiel hydrique minimum relevées sur *Isoberlinia doka* et *Vitellaria paradoxa* sur les sites de Béléfoungou et Bira.

Espèces	Paramètres	Facteurs	df	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr (>F)
<i>Vitellaria paradoxa</i>	$\Psi_b$	Individu	8	0.74243	0.092804	3.7666	0.001239 **
		In. feuillaison	1	0.01164	0.011640	0.4725	0.494509
		Saison	1	0.05483	0.054828	2.2253	0.141007
	$\Psi_{min}$	Individu	8	0.8526	0.10658	0.5198	0.83694
		In. feuillaison	1	0.6408	0.64079	3.1252	0.08217.
		Saison	1	0.0011	0.00113	0.0055	0.94101
	$\Delta \Psi_{min}$	Individu	8	1.5518	0.19397	1.1143	0.3668
		In. Feuillaison	1	0.0701	0.07009	0.4027	0.5281
		Saison	1	0.4795	0.47952	2.7546	0.1022
<i>Isoberlinia doka</i>	$\Psi_b$	Individu	4	0.26263	0.06566	1.7942	0.139046
		In. feuillaison	1	0.05636	0.05636	1.5400	0.218535
		Saison	1	0.00069	0.00069	0.0188	0.891360
	$\Psi_{min}$	Individu	4	0.8327	0.20817	2.8325	0.030381 *
		In. feuillaison	1	2.6388	2.63880	35.9054	6.943e-08 ***
		Saison	1	0.0191	0.01910	0.2599	0.611686
	$\Delta \Psi_{fol}$	Individu	4	0.6010	0.15025	2.4075	0.05691 .
		In. feuillaison	1	1.8995	1.89949	30.4367	4.838e-07 ***
		Saison	1	0.0131	0.01306	0.2092	0.64874

Codes de Signification: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '.' 1

**Tableau 4:** Coefficient de corrélation de Spearman  $\rho$  entre la DFS et les facteurs environnementaux (P5 et P8 humidité du sol aux profondeurs de 5 et 8m)

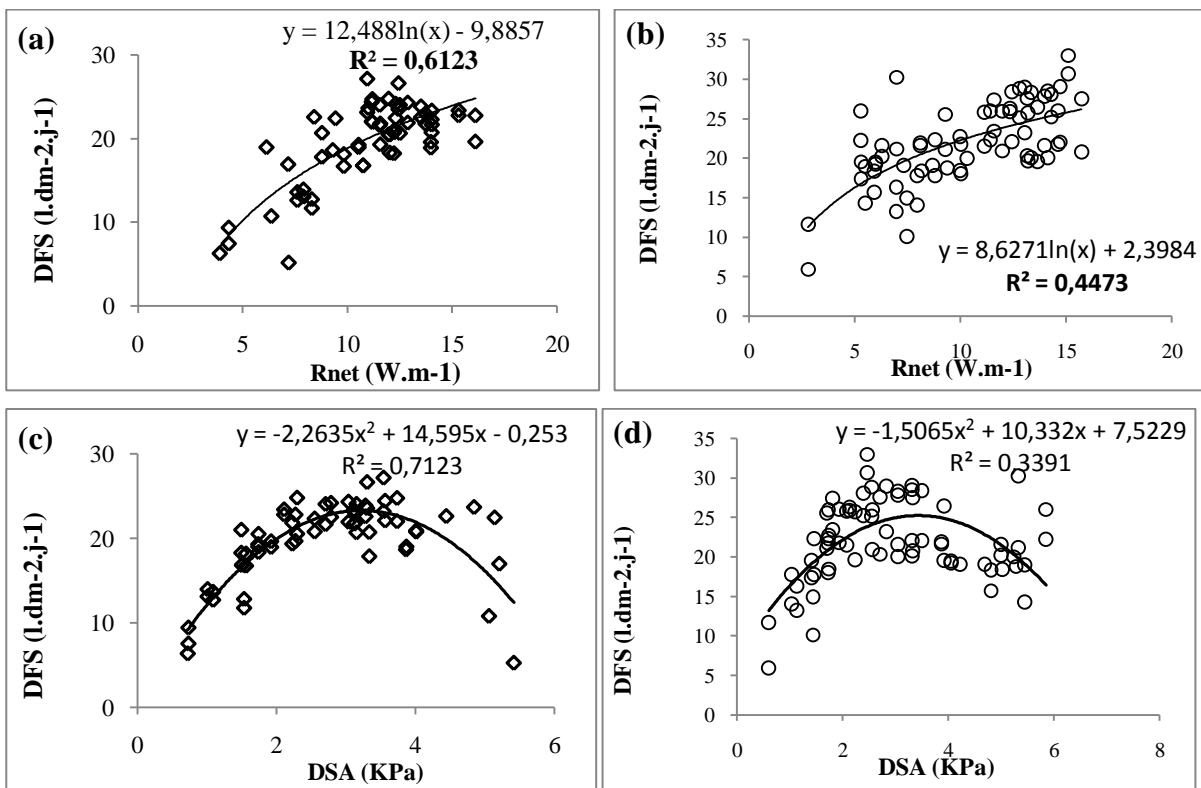
	Rnet	DSA	Pluie	P5	P8	Piézo
<i>I.doka</i> (n=75)	0,63***	0,15	-0,26 <sup>NS</sup>	-	-0,24 <sup>NS</sup>	0,14 <sup>NS</sup>
<i>V. paradoxa</i> (n=65)	0,60***	0,47***	-0.43**	-0.53***	-	0,42**

Code de signification: \*\*\* p-value<0,0001; \*\*p-value<0,001 ; \*p-value<0,05 ; NS : Non significatif

### III.4.2. Caractérisation des relations entre la DFS journalière et les facteurs déterminants les plus significatifs

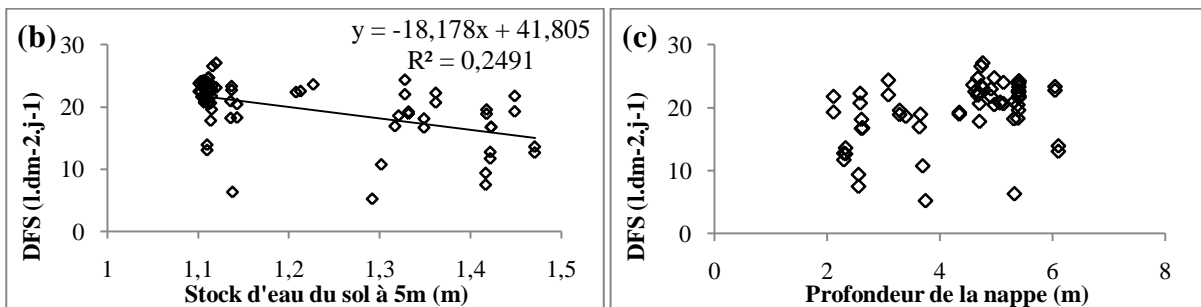
Comme le montre les figures 7 réalisées à partir des données des indices de feuillaison 2 et 3, on constate qu'à l'échelle journalière, il existe une relation non linéaire entre la DFS et le Rnet. 61% de la variation de la DFS sont expliqués par le Rnet chez *V. paradoxa* et 43% chez *I. doka*. La relation entre la DFS et la DSA semble polynomiale de degré 2.

Les figures 8 montrent les relations entre la DFS journalière et le stock d'eau du sol à 5m de profondeur d'une part, et la profondeur de la nappe d'autre part, pour le karité. Il ressort de ces figures qu'il n'existe pas une relation entre la variation de la DFS et la profondeur de nappe ni entre la DFS et le stock d'eau à 5m de profondeur.



Code de signification: \*\*\* p-value<0,0001; \*\*p-value<0,001

**Figure 7:** Relation entre la DFS journalière et les facteurs environnementaux déterminants : Colonne gauche : *Vitellaria paradoxa* (n=61); colonne droite : *Isoberlinia doka* (n=66) ; (a) et (b) : Rnet ; (c) et (d) : DSA



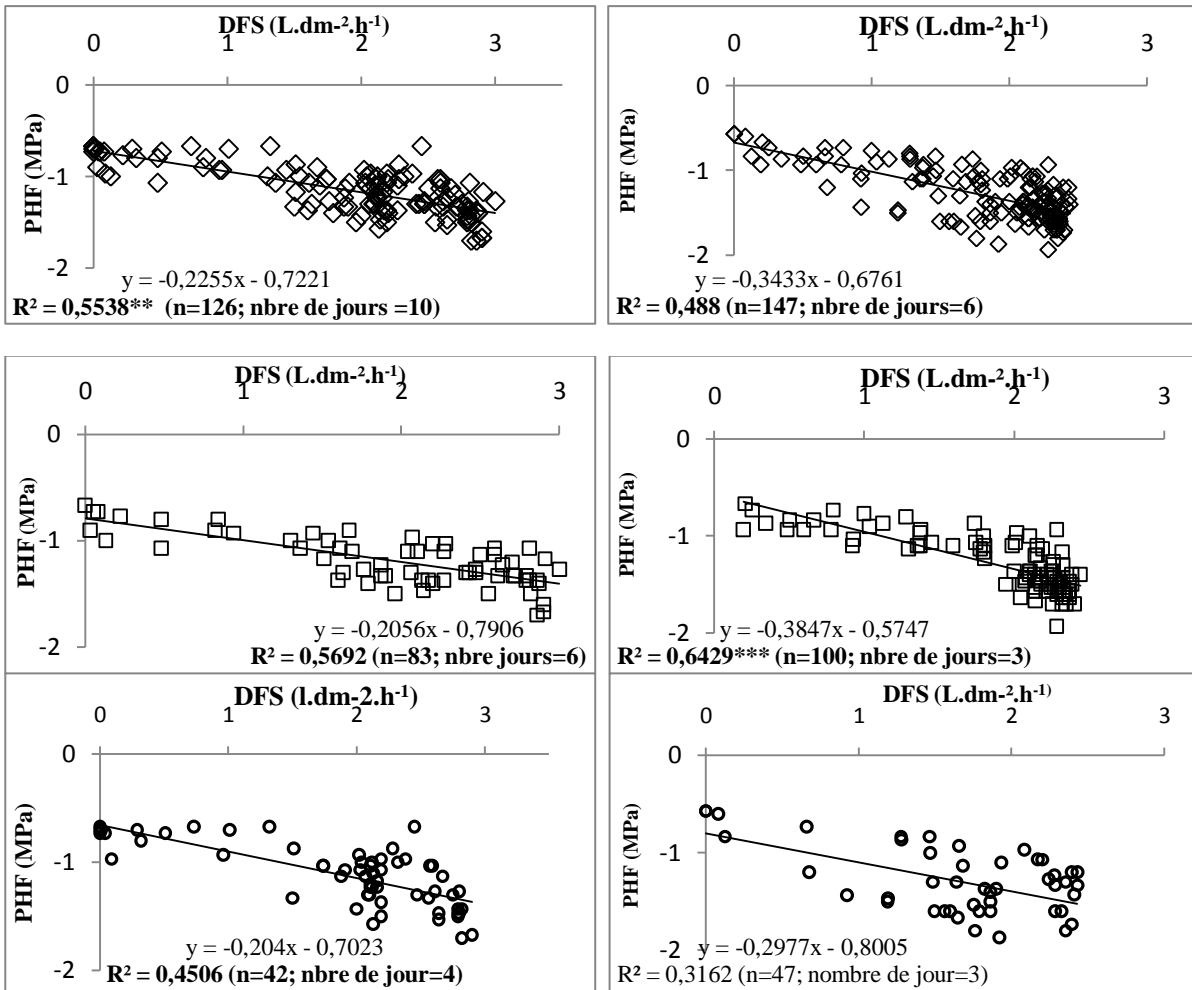
**Figure 8:** Relation entre (a) la DFS journalière de *V. paradoxa* et le stock d'eau du sol à 5m:et (b) la DFS journalière de *V. paradoxa*. (n=61).

### III.4.3. Relation entre la densité de flux de sève journalier et le potentiel hydrique foliaire journalier

Les figures 9 présentent la relation entre la variation intra journalière de la DFS et celle du potentiel hydrique foliaire, pour *I.doka* et *V.paradoxa* sur toute l'année. Les deux variables sont fortement corrélées négativement quelle que soit l'espèce. Mais la relation n'est significative que dans deux cas : en saison des pluies et quand les arbres sont en stade de pleine feuillaison chez *V.paradoxa* ( $r = -0,79$  ;  $R^2=0,64$ ) et en stade de pleine feuillaison toutes saisons confondues chez *I. doka* ( $r = -0,74$  ;  $R^2=0,55$ ). En saison sèche, la corrélation est plus faible au niveau de *V.paradoxa* ( $r= -0,56$  ;  $R^2=0,31$ ) qu'au niveau de *I doka* ( $r=-0,67$  ;  $R^2= 0,45$ ).

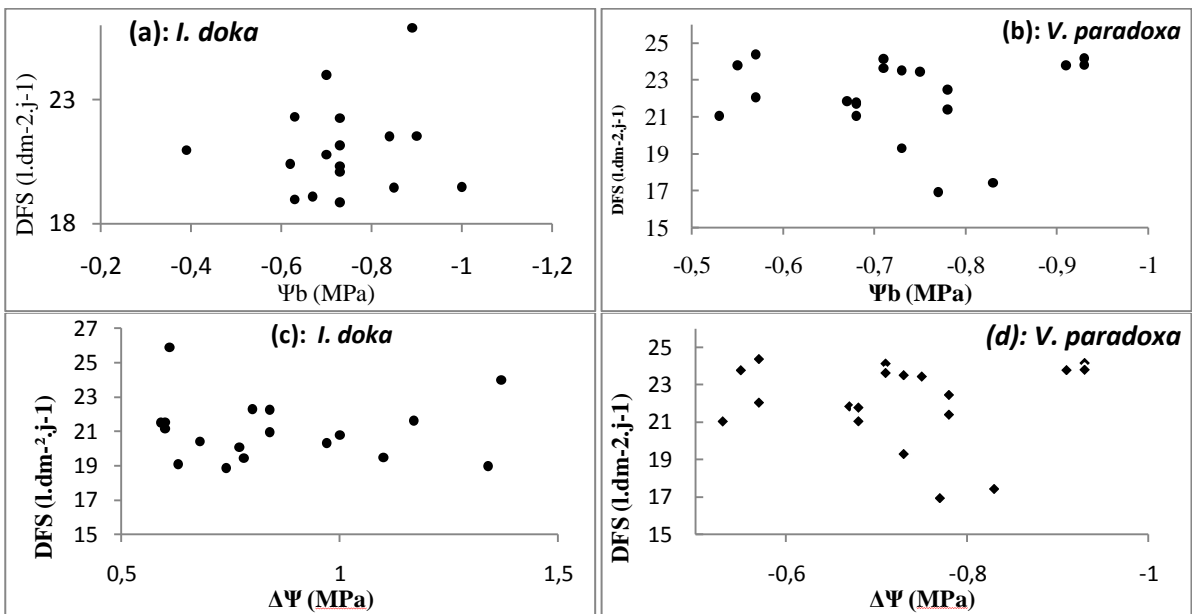
La corrélation entre le  $\Psi_b$  et la DFS est très faible et non significative quelle que soit l'espèce (figures 10 a et 10 b). Ce résultat est obtenu à partir des données de 11 jours chez le karité et de 18 jours chez *I.doka*. De même aucune corrélation n'est notée entre la DFS et le  $\Psi_{\min}$  ; ni entre la DFS max et le  $\Psi_{\min}$  ; ni entre la DFS et le  $\Delta\Psi$  ( $\Psi_b - \Psi_{\min}$  ; figures 10 c et 10d).

Sur l'ensemble de la période où les données sont disponibles ( $n=8$  pour *V. paradoxa* et  $n=10$  pour *I. doka*) pour le stock d'eau du sol et le  $\Psi_b$ , il n'y a pas de corrélation entre le  $\Psi_b$  et le stock d'eau du sol à 5m (*V. paradoxa*) ni à 8m (*I. doka*).



Code de signification : \*\* p-value < 0.05 ; \*\*\* p-value : < 0,0001

**Figure 9:** Relation entre la variation intra-journalière du potentiel hydrique foliaire ( $\Psi$ ) et celle de la DFS chez *Isoberlinia doka* (colonne 1) et *V. paradoxa* (colonne 2).  $\diamond$  Stade de pleine feuillaison;  $\square$  Stade de pleine feuillaison et en saison des pluies.  $\circ$  Stade de pleine feuillaison et en saison sèche



**Figure 10:** Relation entre le  $\Psi_b$ , le  $\Delta\Psi$  et la DFS journalière chez *Isoberlinia doka* et *V. paradoxa*

## IV. DISCUSSION

### IV.1. Variation de la densité de flux de sève

Nos résultats montrent que *I. doka* comme *V. paradoxa* transpirent toute l'année, sauf pendant la période où l'arbre est complètement dépourvu de feuilles (indice de feuillaison égal à 0). Une constatation dans le même sens est faite par Do *et al.* (2008) sur *Acacia tortilis* var *raddiana* dans le nord du Sahel (200 à 400 mm de pluie par an). Au cours de la saison sèche, quand la feuillaison est à l'indice égal à 3, on constate qu'il n'y a qu'une légère baisse de la transpiration chez les deux espèces (figure 2d et 3 e). L'augmentation du stock d'eau du sol pendant la saison des pluies n'a pas eu des effets significatifs sur les deux espèces étudiées ici. La faible variation de la DFS en fonction de la saison sèche ou des pluies en dépit des variations parallèles des facteurs climatiques reste remarquable. Ces résultats confirment ceux de Rousard *et al.* (1999) qui stipulent que dans les milieux moins arides, la consommation d'eau des arbres diminue peu pendant les saisons. Les mêmes constatations sont faites par Eamus *et al.* (2000) sur cinq espèces d'Eucalyptus dans la savane tropicale du Nord de l'Australie (pluviométrie entre 500 et 1700 mm/an). Ces auteurs ont trouvés que la transpiration des arbres diminue seulement de 10% entre la saison humide et la saison sèche.

La DFS des deux espèces étudiées pendant la feuillaison est inférieure à celle observée par Do *et al.* (2000) sur *Acacia tortilis* var *raddiana* dans le nord du Sahel ( $12 \text{ à } 30 \text{ l.dm}^{-2}.\text{j}^{-1}$ ) et par Eamus *et al.* (2000) sur des Eucalyptus dans la savane tropicale du Nord Australienne en saison des pluies ( $8 \text{ à } 71 \text{ l.dm}^{-2}.\text{j}^{-1}$ ). Les arbres soudaniens transpirent donc moins que ceux des régions plus sèches.

### IV.2. Variations journalières et saisonnières du potentiel hydrique foliaire

Les valeurs du  $\Psi_b$  obtenues sur *Isobertinia doka* dans la présente étude sont largement supérieures à celles obtenues sur la même espèce par Bationo *et al.* (2001) mais localisée plus au nord au Burkina Faso (914 mm de pluie/an). En effet, selon cette étude, la gamme des valeurs du  $\Psi_b$  s'étalait de -0,07 MPa en saison des pluies à -0,14 MPa en saison sèche. Les valeurs relativement stables de ce paramètre observées chez les deux espèces étudiées (environ 0,08 et 0,07 MPa entre les valeurs extrêmes des deux saisons) entre les périodes sèches et humides prêchent en faveur d'une disponibilité en eau plus élevée et plus régulière d'une saison à une autre sur nos deux stations au nord du Bénin que sur le site plus sec investi par Bationo *et al.* (2001) au Burkina.

### IV. 3. Facteurs influençant la densité de flux de sève

#### IV.3.1. La feuillaison

Selon nos résultats, l'espèce *I. doka* n'a connu qu'un seul mois de baisse de la feuillaison jusqu'à l'indice 1 (moins de 10% de la canopée) début décembre. Cette observation est confirmée avec celle de Mahamane *et al.* (2007) sur la même espèce au Niger. Cet auteur trouve sur 8 individus que la

feuillaison diminue jusqu'à 40% de la canopée en décembre pour remonter dès janvier à 60% et atteindre 100% en mars. Nos résultats confirment que la feuillaison est le facteur biologique clé qui influençant les variations saisonnières de la DFS (Do *et al.* 2008 ; Cunningham *et al.* 2009 ; Servière 2010). Ils confirment également la conclusion de Seghieri *et al.* (2009), selon laquelle la pluviométrie n'influencerait pas la phénologie foliaire en environnement soudano-guinéen. Selon Cunningham *et al.* (2009), la DFS augmenterait pendant la période de production des feuilles et en période de croissance chez les arbres. Les valeurs fortes de la DFS à partir d'un indice de feuillaison de 2 chez les deux espèces étudiées ici le confirment. Les valeurs très proches de la DFS en saison sèche et en saison des pluies pour les deux espèces étudiées s'expliqueraient par le fait que les nombreuses jeunes feuilles transpirent autant que les moins nombreuses feuilles matures en saison des pluies.

#### **IV.3.2. Les facteurs environnementaux**

Dans notre étude, le facteur environnemental qui influence la variation journalière de la densité de flux de sève chez les deux espèces étudiées est le Rnet. Ces résultats sont similaires à ceux de Qu *et al.* (2007), Jiménez *et al.* (2010), Huang *et al.* (2010) qui ont travaillé dans des zones plus arides. Nos résultats sont contraires à ceux de Do *et al.* (2008) qui ont montré que les relations entre la DFS et les paramètres climatiques (rayonnement global, déficit de saturation de l'air et l'ETP) ont une corrélation faible et négative avec la DFS chez *Acacia tortilis* var *raddiana* toutes saisons confondues. Selon les mêmes auteurs, aucune relation significative n'est obtenue si les données concernent seulement la période de pleine feuillaison. D'après nos résultats, la pluviométrie n'est pas déterminante de l'augmentation de la DFS chez *Vitellaria paradoxa* et *Isobertinia doka* en zone soudanienne. Il en est de même pour Obakeng (2005) qui a constaté que la pluviométrie a très peu d'influence sur la variation saisonnière de la transpiration de 9 espèces d'arbres dans le désert de Kalahari (300 à 800 mm de pluie par an). L'ennuage pourrait avoir une influence sur sa diminution s'il intervient pendant la journée, en réduisant l'ensoleillement donc le rayonnement.

#### **IV.3.3. Le potentiel hydrique foliaire**

Nos résultats ont montré une relation non linéaire entre la DFS et le potentiel hydrique foliaire chez les deux espèces. Cette relation est plus significative quand on passe de la saison sèche à la saison des pluies. Ces résultats semblent contraires à ceux de Ayutthaya (2010) sur *Hevea brasiliensis* au nord est de la Thaïlande qui montrent que la relation entre la DFS et le  $\Psi$  est linéaire et que la pente de la droite de régression linéaire décroît en fonction de l'intensité de la sécheresse. En revanche,  $\Psi_b$  ne varie pas en fonction de la saison et l'inexistence d'une corrélation entre le  $\Psi_b$  et le stock d'eau du sol à 5m (*V. paradoxa*) ni à 8m (*I. doka*) obtenu dans notre étude fait supposer qu'il n'y

aurait donc pas un ré-équilibrage entre le  $\Psi_b$  et le potentiel du sol au cours de la nuit. L'inexistence d'une relation entre la DFS et  $\Delta\Psi$  milite en faveur de l'hypothèse qu'il n'y a pas d'influence de l'intensité du stress hydrique sur la variation de la DFS.

#### **IV.3.4. Le stock d'eau du sol**

Les corrélations constatées entre la DFS et le stock d'eau à 5 m d'une part et entre la DFS et la profondeur de la nappe d'autre part sur la jachère, pourrait s'expliquer par une simple coïncidence. En effet, la période considérée est essentiellement pluvieuse (04 avril 2009 à 16 novembre 2010). Les pluies rechargent le sol en eau ce qui se traduit par une augmentation du stock d'eau du sol. Dans la même période, une couverture nuageuse importante réduirait la demande évaporative diminuant ainsi la transpiration des arbres.

L'inexistence de corrélation entre la DFS et le stock d'eau du sol exprimerait ainsi une disponibilité suffisante d'eau au niveau de la rhizosphère pendant toutes les saisons pour assurer la transpiration des arbres. Le stock d'eau du sol ne constitue donc pas un facteur limitant de la transpiration de *I. doka* et *V. paradoxa* dans la zone soudanienne du Bénin.

#### **IV.4. Limite de l'étude**

Au cours de la présente étude nous nous sommes confrontés à plusieurs difficultés qui ne nous ont pas permis d'approfondir et de valider certains résultats. Il s'agit des:

- Contraintes expérimentales :

Les données disponibles sur la DFS ne proviennent que de deux capteurs par espèce. Lorsque ces données existent, elles sont aussi limitées dans le temps sur une période de 1 an.

Quand aux facteurs biologiques (potentiel hydrique foliaire et la phénologie), les données ne sont étalées que sur 13 jours et leur fréquence de mesures est faible (au plus, deux fois par mois). Il en est de même pour les variables de stock d'eau du sol, de piézométrie relevées tous les deux jours mais avec beaucoup de données manquantes. Ces lacunes ont entraîné beaucoup de données manquantes ce qui a considérablement limité les analyses statistiques.

- Contraintes analytiques et temporelles:

La dépendance entre plusieurs variables prédictives en particulier les variables environnementales, et l'insuffisance du temps ne nous ont pas permis d'approfondir les relations existantes entre les paramètres étudiées et la DFS et d'envisager une modélisation par la régression linéaire multiple par exemple.

## V. CONCLUSION

Nos résultats ont montré que les variations journalières de la DFS chez *Vitellaria paradoxa* et *Isoberlinia doka* dans la zone soudanienne sont fortement influencées par un facteur environnemental clé : le rayonnement net. Les ressources en eau ne semblent pas limitantes pour la transpiration dans notre zone d'étude. Le stress hydrique observé chez les deux espèces étudiées en saison sèche ne limite pas leur transpiration, ce qui supporte l'hypothèse d'un stock d'eau disponible dans le sol pendant toute l'année.

La présente étude pourrait se poursuivre par une détermination de la transpiration à l'échelle de l'arbre. Ainsi, il sera nécessaire d'estimer la surface de la section d'aubier de chaque arbre instrumenté. Elle sera déterminée à partir de la mesure du rayon de la section d'aubier. La transpiration à l'échelle individuelle pourra être extrapolée à l'échelle de la population spécifique grâce à la connaissance de la distribution des diamètres de tronc dans la population cible et aux courbes (abbaques) exprimant la surface d'aubier en fonction du diamètre du tronc.

Un nouveau dispositif de mesure des flux de sève est mis en place en 2010 pour remplacer les capteurs défaillants et caractériser le profil de l'intensité de la transpiration dans la section du xylème de certains arbres. De même un poromètre de type AP4 est acquis par le laboratoire et permettra de prendre en compte les variations de la transpiration foliaire afin de préciser le fonctionnement hydrique des deux espèces étudiées. Une estimation de la profondeur d'exploitation de l'eau par traçage chimique est également en cours sur *I. doka*. Cette expérience devrait contribuer à évaluer l'importance des arbres sur le cycle hydrologique dans la zone soudanienne d'une part, de paramétrer un modèle de transpiration d'autre part.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afouda A., Bouchez J.-M., Braud I., Cazenave F., Depraetere C., Dessay N., Diedhiou A., Galle S., Gallée H., Gosset M., Haverkamp R., Laurent H., Le Barbé L., Lebel T., Messenger C., Onibon H., Reggiani P. 2001. Variabilité climatique et variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest : Un système couplé. Atelier sur le Couplage des modèles atmosphériques et hydrologiques, 3-5 Décembre 2001, Toulouse, France.
- Allen Richard G. *et al.* 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference Eto by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81, 1-22.
- Arbonnier M. 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afriques de l'Ouest. Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, France, p 214 et p485-486.
- Aubreville, A., 1950. Flore forestière Soudano-Guinéenne AOF.-Cameroun-A.E.F. Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris.
- Ayutthaya Na Isarangkool (2010). Change of whole-tree transpiration of mature *Hevea brasiliensis* under soil and atmospheric droughts: analyze in intermittent and seasonal droughts under the framework of the hydraulic limitation hypothesis. Thèse pour l'obtention du grade de docteur d'université. Université Blaise Pascal Page 52 à 85.
- Bationo Babou André, Ouedraogo Sibiri Jean, Alexandre Daniel-Yves, Gulnko Sita. 2007. Statut hydrique de quatre espèces lianeuses. Soudaniennes dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso. *Sécheresse* 2001, 12 (2) : 87-94
- Blanchard, M., Peugeot, C., Seghieri, J., 2007. Structure et dynamique saisonnière de la végétation sur quatre types de couverts végétal représentatifs de la diversité du bassin versant de la Donga, Mémoire de stage, Montpellier, France.
- Cabibel B, Do F. 1991. Mesures thermiques des flux de sève dans les racines et fonctionnement hydrique des arbres. I. Analyse théorique des erreurs sur la mesure des flux et validation des mesures en présence de gradients thermiques extérieurs. *Agronomie*, 11: 669-678.
- Clergue Clémentine, 2010. Dynamique des stocks hydriques du sol (zone non saturée et nappe) par suivi neutronique en zone soudanienne de socle (bassin de la Donga, Bénin). Rapport de stage. IRD, HSM, IUP GDE Toulouse III. 24p.

- Cunningham S. A., Pullen K. R., & Colloff M. J. (2009). Whole-tree sap flow is substantially diminished by leaf herbivory. *Oecologia*, 158(4), 633-640.
- Do F., Rocheteau A., 2002. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. *Tree Physiology* 22, 641-648.
- Do F., Rocheteau A., 2003. Cycle annuel de transpiration d'*Acacia raddiana* par la mesure des flux de sève brute (Nord-Sénégal). In « Un arbre au désert : *Acacia raddiana* ». Editeurs scientifiques M. Grouzis et E. Le Floch'h, IRD éditions, Paris, pp. 119-142.
- Do F., Rocheteau A., Diagne A. L., Goudiaby V., Granier A., Lhomme J. P. 2008. Stable annual pattern of water use by *Acacia tortilis* in Sahelian Africa. *Tree Physiology* 28, 95-104.
- Eamus, D., A.P. O'Grady and L. Hutley. 2000. Dry season conditions determine wet season water use in the wet-dry tropical savannas of northern Australia. *Tree Physiol.* 20:1219–1226.
- Granier A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières* 42, 193-200.
- Grouzis, M., Sicot, M., 1980. A method for the phenological study of browse population in the Sahel : the influence of some ecological factors. H.N Le Houérou International Livestock Centre for Africa, 233-240, Addis Abeba, Ethiopie.
- Huang Lei., Zhang Zhi-Shan., Li Xin-Rong. 2010. Sap flow of *Artemisia ordosica* and the influence of environmental factors in a revegetated desert area: Tengger Desert, China. *Hydrological Processes*, 24: 1248-1253.
- Jiménez E., Vega J. A., Pérez-Gorostiaga P., Fonturbel T. Fernandez C. 2010. Evaluation of sap flow density of *Acacia melanoxydon* R. Br. (blackwood) trees in overstocked stands in north-western Iberian Peninsula. *European Journal of Forest Research* 129: 61-72
- Lawin, E.A., 2007. Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la Haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin. PhD, Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- Lubczynski, M. W. 2009. The hydrogeological role of trees in water-limited environments. *Hydrogeology*, 17: 247-259.
- Mahamane Ali, Mahamane Saadou, Lejoly Jean. 2007. Phénologie de quelques espèces ligneuses du Parc national du « W » du Niger. *Sécheresse* 2007, 1E (4) : 1-13

- Obakeng O. T. 2005. Soil moisture dynamics and evapotranspiration at the fringe of the Botswana Kalahari, with emphasis on deep rooting vegetation. Thesis. ISBN 90-6164-254-X. pp 73-102.
- O'Brien J.J., Oberbauer S.F., Clark, D.B. 2004. Whole tree xylem sap flow responses to multiple environmental variables in a wet tropical forest. *Plant, Cell and Environment*, 27: 551-567.
- Qu Yanping, Kang Shaozhong, Li Fusheng, Zhang Jianhua, Xia Guimin, Wangcheng Li. 2007. Xylem sap flows of irrigated *Tamarix elongata* Ledeb and the influence of environmental factors in the desert region of Northwest China. *Hydrological Processes*, 21: 1363–1369.
- Redelsperger, J.L., Thorncroft, C., Diedhiou, A., Lebel, T., Parker, D.J., Polcher, J., 2006. African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA): an international research project and field campaign. *BAMS* 87 (12), 1739–1746.
- Roupsard O., Ferhi A., Granier A., Pallo F., Depommier D., Mallet B. Joly H. I., Dreyer E.. 1998. Fonctionnement hydrique et profondeur de prélèvement de l'eau de *Faidherbia albida* dans un parc agroforestier soudanien. In: Campa Claudine (ed.), Grignon C. (ed.), Gueye M. (ed.), Hamon Serge (ed.). *L'acacia au Sénégal*. Paris : ORSTOM, 1998, p. 81-103. (Colloques et Séminaires). *L'Acacia au Sénégal : Réunion Thématique*, Dakar (SEN), 1996/12/03-05. ISBN 2-7099-1423-9.
- Seghieri J., Vescovo A., Padel K., Soubie R., Arjounin M., Boulain N., *et al.* 2009. Relationships between climate, soil moisture and phenology of the woody cover in two sites located along the West African latitudinal gradient. *Journal of Hydrology* 375, 78-89.
- Servière Magali. 2010. Les variations de la transpiration de la strate ligneuse en environnement soudano-guinéen. Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, option : eau. 2IE, HSM et IRD. 79p.

## RESUME

L'influence des facteurs météorologiques, de l'humidité du sol, de la phénologie et du potentiel hydrique foliaire sur la transpiration de deux espèces d'arbres tropicaux est étudiée en bioclimat soudanien au nord ouest du Bénin (pluie annuelle moyenne 1200mm). L'étude est réalisée sur deux types de surface : une forêt sèche classée et une savane arbustive post culturale (jachère). Elle porte sur l'espèce dominante de chacun de ces deux types de surface: *Isoberlinia doka* en forêt et *Vitellaria paradoxa* en jachère. La transpiration est approchée par la densité de flux de sève mesurée au niveau du tronc. Les résultats montrent que la phénologie foliaire constitue le premier facteur biologique responsable de la variation saisonnière de la transpiration chez les deux espèces. A l'échelle journalière, c'est le rayonnement net (Rnet) qui le principal facteur à l'intérieur de la période de feuillaison. Le stock d'eau du sol ne constitue pas un facteur limitant pour la transpiration des deux espèces étudiées. Le potentiel hydrique foliaire et la DFS sont significativement négativement corrélés à l'intérieur d'une journée en saison des pluies. Tandis que le potentiel hydrique foliaire de base semble ne pas avoir de lien avec la DFS journalière.

**Mots clés:** Transpiration ligneuse, densité de flux de sève, *Isoberlinia doka*, *Vitellaria paradoxa*, bioclimat soudanien, potentiel hydrique foliaire de base, facteurs environnementaux.

## ABSTRACT

The influence of weather, soil moisture, phenology and leaf water potential on transpiration of two species of tropical trees is studied in bioclimate sudanese in the west north of Benin (average annual rainfall 1200mm). The study is carried on two types of surfaces: a dry forest and shrub savannah (fallow). It focuses on the dominant species of each of these two types of surface: *Isoberlinia doka* and *Vitellaria paradoxa* in forest and fallow. Transpiration is approximated by the density of sap flow measured at the trunk. The results show that leaf phenology is the first biological factor responsible for the seasonal pattern of transpiration in both species. At the daily scale, the net radiation (Rnet) is the main factor within the period of foliation. The stock of soil water is not a limiting factor for transpiration of two species. Leaf water potential and DFS were significantly negatively correlated within a day in the rainy season. While predawn leaf water potential seems to have no link with the DFS daily.

**Key words:** Woody Transpiration, sap flux density, *Isoberlinia doka*, *Vitellaria paradoxa*, sudanese bioclimate, predawn leaf water potential, environmental factors