

BURKINA FASO
.....
UNITE-PROGRES-JUSTICE
.....

**Ministère des Enseignements Secondaire, Supérieur et de la
Recherche Scientifique
(M.E.S.S.R.S)**

**Université Polytechnique de Bobo
(U.P.B)**
.....

**Institut du Développement Rural
(I.D.R)**
.....

Département des Eaux & Forêts

**Centre National de la Recherche
scientifique et Technologique
(C.N.R.S.T)**
.....

**Institut de l'Environnement et de
Recherches Agricoles
(I.N.E.R.A)**
.....

**Département Productions
Forestières
(D.P.F)**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Présenté en vue de l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural
Option: Eaux & Forêts

THEME: Consommation en eau de cinq provenances
Ouest Africaines de *Vitellaria paradoxa* Gaerthn. C. F.
(karité) et son impact sur les cultures associées.

Directeur de mémoire: Dr Antoine N. SOME
Co-directeur de mémoire: M. Henri YE
Maître de stage: Dr Jules BAYALA

Frédéric N. SOME
Juillet 2005

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents en guise de reconnaissance car

dit-on: "Si un arbre devient une pirogue fiable, c'est grâce à la qualité

de la terre sur laquelle il a poussé".

Table des matières

<i>Dédicace</i>	i
Table des matières	ii
Remerciements	iv
Liste des sigles et Abréviations	vi
Liste des Figures	vii
Liste des Tableaux	viii
Liste des photos et cartes	ix
Résumé	x
Abstract	xii
Chapitre 1: Introduction	1
Chapitre 2: Revue bibliographique (Généralités).....	5
2.1. Forêt classée de Gonsé.....	5
2.1.1. Situation géographique.....	5
2.1.2. Le climat.....	7
2.1.3. Les sols.....	10
2.1.4. La végétation.....	10
2.1.5. Hydrographie.....	11
2.2. Interactions arbres/cultures.....	11
2.3. Transpiration.....	13
2.3.1. Définition.....	13
2.3.2. Facteurs externes influençant la transpiration	14
2.3.3. Influence des facteurs internes.....	15
2.3.4. Transpiration du karité.....	15
2.3.5. Techniques de mesure de la transpiration.....	15
2.4. Matériel végétal.....	16
2.4.1. Le Karité.....	16
2.4.1.1. Taxonomie.....	16
2.4.1.2. Description et caractéristiques	17
2.4.1.3. Distribution géographique	18
2.4.2. Le Sorgho	18
2.4.2.1. Taxonomie, description et caractéristiques	18
2.4.2.2. Ecologie	19
2.4.2.3. Rendement.....	19
Chapitre 3: Matériels et Méthodes	20
3.1. Matériel végétal.....	20
3.2. Dispositif expérimental	20
3.3. Collecte des données.....	20
3.3.1. Suivi de la phénologie du sorgho	20
3.3.2. Humidité du sol	21

3.3.3. Taux de survie, hauteur et diamètre au collet des karités.....	22
3.3.4. Détermination du nombre de feuilles et de la surface foliaire des provenances	22
3.3.5. Mesure de la transpiration.....	23
3.4. Analyse de données.....	26
Chapitre 4: Résultats.....	27
4.1. Taux de survie.....	27
4.2. Nombre de feuilles des provenances	27
4.3. Surface foliaire des provenances	27
4.4. Hauteur et diamètre au collet.....	28
4.5. Transpiration.....	29
4.6. Humidité du sol.....	32
4.7. Croissance en hauteur du sorgho	37
4.8. Production de matière sèche	38
Chapitre 5: Discussion.....	41
5.1. Taux de survie.....	41
5.2. Nombre de feuilles et surface foliaire des provenances	41
5.3. Hauteur et diamètre au collet des provenances.....	42
5.4. Transpiration.....	42
5.5. Humidité du sol.....	43
5.6. Croissance en hauteur du sorgho	45
5.7. La production de matière sèche	46
Chapitre 6: Conclusion et perspectives.....	47
Bibliographie.....	49
Annexes	55

Remerciements

Au terme de ce stage, je voudrais remercier tout le personnel du D.P.F et particulièrement mon maître de stage Dr Jules BAYALA pour sa disponibilité, pour sa rigueur scientifique et pour sa parfaite compréhension des besoins de l'étudiant actuel. Merci et merci encore pour tout ce que vous ferez pour moi.

Je remercie également le Directeur de l'IN.E.R.A., Pr Hamidou BOLY, le chef du Département Productions Forestières de l'IN.E.R.A., Dr Jean Marie OUADBA pour m'avoir accepté dans le département.

Je n'oublie pas mes enseignants qui m'ont donné les bagages intellectuels nécessaires, particulièrement mon Directeur de mémoire Dr N. Antoine SOME, mon co-directeur de mémoire M. Henri YE pour avoir accepté diriger mes travaux et aussi pour leurs conseils.

J'exprime mes remerciements à l'endroit des chercheurs du D.P.F. particulièrement au Dr François J.P. PALO, chef de programme Amélioration des Productions Forestières, Fauniques et Halieutiques du D.P.F., Dr Mahamady DIANDA, Dr Kadi SANOU, M. Olo DIBLONI, Dr Boukary DIALLO, Dr ASSIMI Salawu, Dr Babou BATIONO.

Je dis merci à mon cher ami Germain KAMBIRE, à mon cousin Patrick SOMDAH qui m'ont soutenu dans ce cycle d'ingénieur et aussi à la Reine Pélagie COULIBALY pour ses prières et encouragements.

Qu'il me soit permis de remercier mes camarades de classe avec qui j'ai partagé peines et joies, en l'occurrence Bazoma BAYILI, Cléophas ZERBO, Hassane SIDIBE, Régis OUBIDA, Hamidine SALEY. Mes remerciements également à K. Marc YAMEOGO, Silamane KABORE pour leurs aides.

Mon merci au chef de projet gestion forestière intégrée de la forêt classée de Gonsé M. Justin DOUAMBA et au chef de poste forestier Jacob KERE.

A Robert SAWADOGO et Ousmane KABORE, je leur dis merci pour m'avoir aidé sur le terrain dans la collecte des données.

A mes amis que sont Drissa BAMOUNI, Paul GNAMOUKARA, Tiébilé NAON, Boukari BADOLO, je leur dis merci pour leur soutien.

Que tous ceux qui m'ont aidé à une quelconque phase du stage trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Liste des sigles et Abréviations

D.P.F: Département Productions Forestières

I.C.R.A.F: World Agroforestry Center

IN.E.R.A: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

J.A.S: Jour Après Sémis

Liste des Figures

Figure 1: Pluviométrie moyenne annuelle au cours des six dernières années pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso	7
Figure 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle en 2004 pour Ouagadougou-Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.	8
Figure 3: Moyennes mensuelles de la durée d'insolation totale (Heures) en 2004 pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.....	8
Figure 4: Moyennes mensuelles de l'humidité relative minimum et maximum (%) en 2004 pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.....	9
Figure 5: Vitesse moyenne mensuelle du vent à 10 mètres (m/s) en 2004 pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.	9
Figure 6 : Dispositif de mesure autour de chaque tronc d'arbre à Gonsé, Burkina Faso.....	22
Figure 7: Transpiration ($l\ h^{-1}\ arbre^{-1}$) de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.	31
Figure 8: Transpiration par unité de surface foliaire ($l\ m^{-2}jour^{-1}$) de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.	31
Figure 9: Teneur en eau du sol (%) sous cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.	32
Figure 10: Teneur en eau du sol (%) suivant la distance au tronc de karité à Gonsé, Burkina Faso.	33
Figure 12: Variation journalière de la teneur en eau du sol (%) suivant la distance au tronc de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.....	35
Figure 11: Variation de la teneur en eau du sol (%) suivant la profondeur sous cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso	36
Figure 13: Croissance du sorgho situé sous cinq provenances Ouest Africaines de karité en fonction du nombre de Jours Après Semis (JAS) à Gonsé, Burkina Faso.	37
Figure 14: Croissance en hauteur du sorgho en fonction de la distance au tronc de cinq provenances Ouest Africaines de karité et du Nombre de Jours Après Semis à Gonsé, Burkina Faso.....	37
Figure 15: Production de matière sèche de sorgho sous cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.	39
Figure16: Production de matière sèche du sorgho en fonction de la distance au tronc de karité à Gonsé, Burkina Faso.	40

Liste des Tableaux

Tableau 1: Valeurs moyennes des caractéristiques morphologiques et d'adaptation de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.....	28
---	----

Liste des photos et cartes

Liste des photos

Photo 1: Tubes d'accès et séance de mesure de l'humidité du sol avec le Diviner 2000	21
Photo 2 : Installation des sondes et collecte des données de la transpiration sur des pieds de l'essai provenances de <i>Vitallaria paradoxa</i> (karité) à Gonsé, Burkina Faso.....	25

Liste des cartes

Carte 1: Localisation de la forêt classée de Gonsé au Burkina Faso.	5
Carte2: Localisation du site d'étude dans la forêt classée de Gonsé.....	6

Résumé

La cohabitation entre arbres et cultures engendre des interactions dont la nature dépend des espèces en présence, des pratiques de gestion en vigueur dans le système ainsi que des conditions environnementales. Ces interactions sont dynamiques allant de la facilitation à la compétition. Une meilleure compréhension de ces phénomènes constitue une base pour la mise en œuvre de pratiques de gestion favorisant la facilitation. La présente ~~étude a pour but d'investiguer~~ le risque de compétition pour l'eau par la mesure de sa consommation en prenant comme support un essai de sélection de cinq provenances de *Vitellaria paradoxa* (karité) installé dans la forêt classée de Gonsé. Un dispositif monoarbre, répété deux fois dans chacun des 35 blocs complets randomisés, a été utilisé. Le sorgho (*Sorghum bicolor*) a été semé suivant l'écartement de 0,8x0,4m entre les lignes des arbres. Les résultats ont montré que toutes les provenances avaient un taux de survie supérieur à 50% à l'exception de celle de Samecouta (Burkina Faso) (44%). En ce qui concerne la consommation en eau, la provenance de Djonon-Karaba (Mali) était la plus consommatrice (2,70 l jour⁻¹ arbre⁻¹ en octobre et 2,69 l jour⁻¹ arbre⁻¹ en novembre) à l'opposé de celles de Botou-Fada (Burkina Faso) (1,36 l jour⁻¹ arbre⁻¹ en octobre) et de Samecouta (Sénégal) (1,04 l jour⁻¹ arbre⁻¹ en novembre). Mais lorsqu'on rapporta cette consommation en eau à l'unité de la surface foliaire on constate que les provenances de Samecouta (Sénégal) et de Gonsé (Burkina Faso) présentent les valeurs les plus élevées en octobre (0,31 l m⁻² jour⁻¹) et en novembre (0,27 l m⁻² jour⁻¹) contrairement à celles du Passoré (Burkina Faso) et de Botou-Fada (Burkina Faso). Comme la consommation en eau du sol par arbre a été élevée pour la provenance de Passoré (Burkina Faso), il en est résulté une faible teneur en eau (9,38%) sous cette provenance. A l'opposé, sous la provenance de Gonsé (Burkina Faso) qui a consommé moins d'eau par arbre, la teneur en eau du sol a été la plus forte (11%). Il n'y a pas eu une tendance claire de l'évolution de la teneur en eau du sol en fonction de la distance au tronc de l'arbre. En dépit de cela, la hauteur du sorgho et la production de paille ont augmenté de la zone A qui est à 1 m du tronc du karité (51,84 cm et 353,8 kg ha⁻¹ respectivement) à la zone C qui, lui, est à 3 m (73,24 cm et 493,5 kg ha⁻¹ respectivement). Le sorgho a aussi mieux produit sous la provenance de Botou-

Fada (Burkina Faso) (673 kg ha⁻¹) et moins bien sous la provenance de Samecoute (Sénégal) (294,1 kg ha⁻¹).

Mots clés: Compétition pour l'eau, Provenances, *Sorghum bicolor*, *Vitellaria paradoxa*

Abstract

The nature of the interactions between trees and crops depends on species, management practices and environmental conditions. Thus, they can be of facilitation nature or of competition type. A better understanding of these phenomena constitutes the base of an application of management practices that favored the facilitation. The present study aimed at investigating the risk of competition for water through the measurement of water use in a selection trial of five provenances of *Vitellaria paradoxa* (karité) established in the classified forest of Gonsé. A single tree as experimental unit, repeated twice in each of the 35 completely randomized blocks, was used. Sorghum (*Sorghum bicolor*) was sown at a spacing of 0.8x0.4m between the rows of trees. The results showed a survival rate of more than 50% for all provenances except for that of Samecouta (Burkina Faso) (44%). Djonon-Karaba (Mali) provenance displayed the highest water use (2.70 l day⁻¹ tree⁻¹ in October and 2.69 l day⁻¹ tree⁻¹ in November) as opposed to these of Botou-Fada (Burkina Faso) (1.36 l day⁻¹ tree⁻¹ in October) and Samecouta (Sénégal) (1.04 l day⁻¹ tree⁻¹ in November). However, when water consumption was expressed per leaf unit area, then Samecouta (Sénégal) and Gonsé (Burkina Faso) provenances showed the highest values in October (0.31 l m⁻² day⁻¹) and in November (0.27 l m⁻² day⁻¹) contrary to those of Passoré (Burkina Faso) and Botou-Fada (Burkina Faso). As a consequence of higher water use per tree, soil water content under Passoré (Burkina Faso) provenance was lower (9.8%) whereas its content under Gonsé (Burkina Faso) provenance (11%) was higher. No clear pattern of soil water content according to the distance from tree trunk was observed. Despite that, sorghum height and dry matter increased from zone A (51.84 cm and 353.8 kg ha⁻¹ respectively) to zone C (73.24 cm and 493.5 kg ha⁻¹ respectively). Sorghum also performed better under Botou-Fada (Burkina Faso) provenance (673 kg ha⁻¹) but poorly under Samecouta (Sénégal) provenance (294.1 kg ha⁻¹).

Keywords: Competition for water, Provenances, *Sorghum bicolor*, *Vitellaria paradoxa*

Chapitre 1: Introduction

La zone soudano-sahélienne d'Afrique est l'une des régions climatiques les plus difficiles du monde car elle est caractérisée par une pluviométrie faible et très variable, de hautes températures du sol et de l'air, une demande évaporative élevée et des sols peu fertiles. La disponibilité de l'eau est une contrainte majeure pour la production des cultures vivrières (Sivakumar et *al.*, 1991). Cependant cette ressource qui est rare, joue un rôle fondamental dans la nutrition et le développement de tous les êtres vivants, dont les plantes. En effet, l'eau est d'abord un élément constitutif soit simplement sous la forme d'eau dite de constitution, soit après combinaison avec les éléments trouvés dans le sol et dans l'air. L'eau est ensuite le véhicule qui apporte à la plante les éléments minéraux, c'est l'eau dite de végétation (Poirée et *al.*, 1971).

L'eau joue également un rôle fondamental dans la physiologie des plantes. Parmi les phénomènes fondamentaux de la vie chez les plantes, il y a la respiration, la nutrition et la transpiration qui consistent tous en des échanges entre la plante et le milieu extérieur (sol et atmosphère) et qui tous ont besoin pour se produire de chaleur (température) et d'humidité (eau) (Poirée et *al.*, 1971). En somme l'eau est l'élément indispensable pour toutes activités biologiques.

Les arbres, lorsqu'ils sont associés aux cultures, peuvent exercer sur celles-ci une compétition pour toutes les ressources, particulièrement au sahel où les sols sont pauvres et les pluies insuffisantes ou mal réparties. Aussi, la compétition pour l'eau entre les arbres et les cultures intercallaires peut être un des facteurs limitants des systèmes agroforestiers (Rasendra, 1997). Une espèce peut avoir un avantage compétitif sur une autre en acquérant une plus grande proportion de l'eau ou des éléments nutritifs dans le sol, en utilisant plus efficacement l'eau et les éléments nutritifs pour la production de la biomasse ou en allouant les assimilats de façon à maximiser la survie ou la croissance (Nambiar et *al.*, 1993). Ainsi, dans l'association arbre-culture, l'habilité de la plante cultivée à obtenir de la lumière, de l'eau et des éléments nutritifs détermine son développement et sa survie (Radosevich et Holt, 1984). C'est pourquoi en agroforesterie, on recherche des couples arbres-cultures conviviaux où les relations de compétition (pour l'eau,

la lumière, les éléments nutritifs) sont équilibrées par des relations de facilitation: chaque partenaire bénéficie alors de la présence de l'autre ou la tolère simplement.

Dans les systèmes agroforestiers traditionnels des zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, le karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. C.F.) et le sorgho (*Sorghum bicolor*) sont les deux composantes fréquemment rencontrées en association. En effet, le karité est l'espèce agroforestière dominante dans les régions de savane de l'Afrique de l'Ouest (Hopkins and White, 1984) et constitue pour les populations rurales une source d'aliments, de revenus et de pharmacopée. Le karité fournit aux populations des fruits qui contiennent une pulpe sucrée très comestible et très appréciée. Ces fruits constituent parfois pour les populations rurales un aliment de soudure en période de disettes (Tiquet, 1985). Le beurre de karité est utilisé par beaucoup de populations locales pour fabriquer du savon, faire la cuisine; les femmes l'utilisent comme produit cosmétique. Les coques sont brûlées dans les cases pendant la saison des pluies pour éloigner les moustiques (Bognounou, 1987). Le prix de kilogramme d'amandes varie entre 25 et 117 F CFA et celui du beurre entre 172 et 540 F CFA au Burkina Faso (Lamien et al., 1996). En ce qui concerne la commercialisation à l'extérieur du continent africain, en général, deux types de produits du karité (amandes et beurre) sont vendus en Grande-Bretagne, Danemark, Japon et Suède. Les sociétés importatrices dans ces pays procèdent à l'extraction du beurre pour l'employer dans la cosmologie, la pâtisserie, la confiserie et la médecine (Bayala, 2002a).

Les meilleures productions du karité sont obtenues dans les champs où il est préservé en association avec les cultures. Ces cultures sont dominées par les céréales qui occupent en moyenne 84% des superficies mises en culture (M.A.H.R./D.S.A., 2003). Parmi ces cultures, le sorgho qui représente 48% des superficies céréalières, joue un rôle majeur dans l'alimentation des populations. Selon Zongo (1977), il est la première céréale au Burkina Faso et constitue la nourriture de base de tout le pays.

Les actions de sélection des provenances de karité bonnes productrices de fruits (et amandes) peuvent se traduire par une exacerbation des problèmes de

compétition pour l'eau et partant pour les éléments nutritifs entre les deux composantes pérenne et annuelle. Il convient donc d'appréhender l'ampleur de tels phénomènes afin de les prendre en compte dans les actions de gestion des parcs agroforestiers pour une optimisation de la production des deux composantes. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre étude qui s'intitule "Consommation en eau de cinq provenances Ouest Africaines de karité et son impact sur les cultures associées".

Comme l'eau puisée dans le sol est constamment reperdue dans l'atmosphère par le biais de la transpiration, de ce fait on pose la relation :

Quantité d'eau absorbée (consommée) = Quantité d'eau transpirée. (1)

Cette relation tient compte du fait que les quantités d'eau utilisées pour la synthèse de la matière carbonée ou produite par le métabolisme sont très infimes et peuvent être négligées d'une part, d'autre part, il est largement admis que pour toute plante, l'absorption d'eau par les racines est parallèle à l'intensité de la transpiration (Malziak, 1974). Selon Poirée (1971), l'eau de constitution représente une très faible partie de la quantité d'eau absorbée (moins de 1%). Ainsi, estimer la quantité d'eau consommée par un arbre revient à déterminer la quantité qu'il perd au niveau de la transpiration. L'étude repose sur cette relation.

Il existe deux types de transpiration: la transpiration stomatique et la transpiration cuticulaire. La transpiration cuticulaire correspond à 1/20 de la transpiration totale (Heller, 1984), aussi reste t-elle négligeable dans cette étude.

L'objectif global de la présente étude est d'estimer les quantités d'eau consommées par cinq provenances de karité de l'Afrique de l'ouest et leurs impacts sur l'eau du sol et la production du sorgho associé en formulant les hypothèses suivantes :

- ◆ La consommation en eau des provenances de karité est fonction de leurs surfaces foliaires ;
- ◆ La teneur en eau du sol est proportionnelle à la consommation en eau des provenances.
- ◆ L'influence des provenances de karité sur la production de la culture associée est fonction de leur consommation en eau.

La présente étude dont les résultats peuvent contribuer à la restauration des parcs dégradés et à la rentabilisation agricole du karité se subdivise en six chapitres. L'introduction constitue le chapitre 1 du document alors que le chapitre 2 est consacré à la revue bibliographique (Généralités). Le chapitre 3 est réservé aux matériels et méthodes et le chapitre 4 aux résultats. Le chapitre 5 ~~va~~ concerner la discussion et le chapitre 6 conclue le document.

Chapitre 2: Revue bibliographique (Généralités)

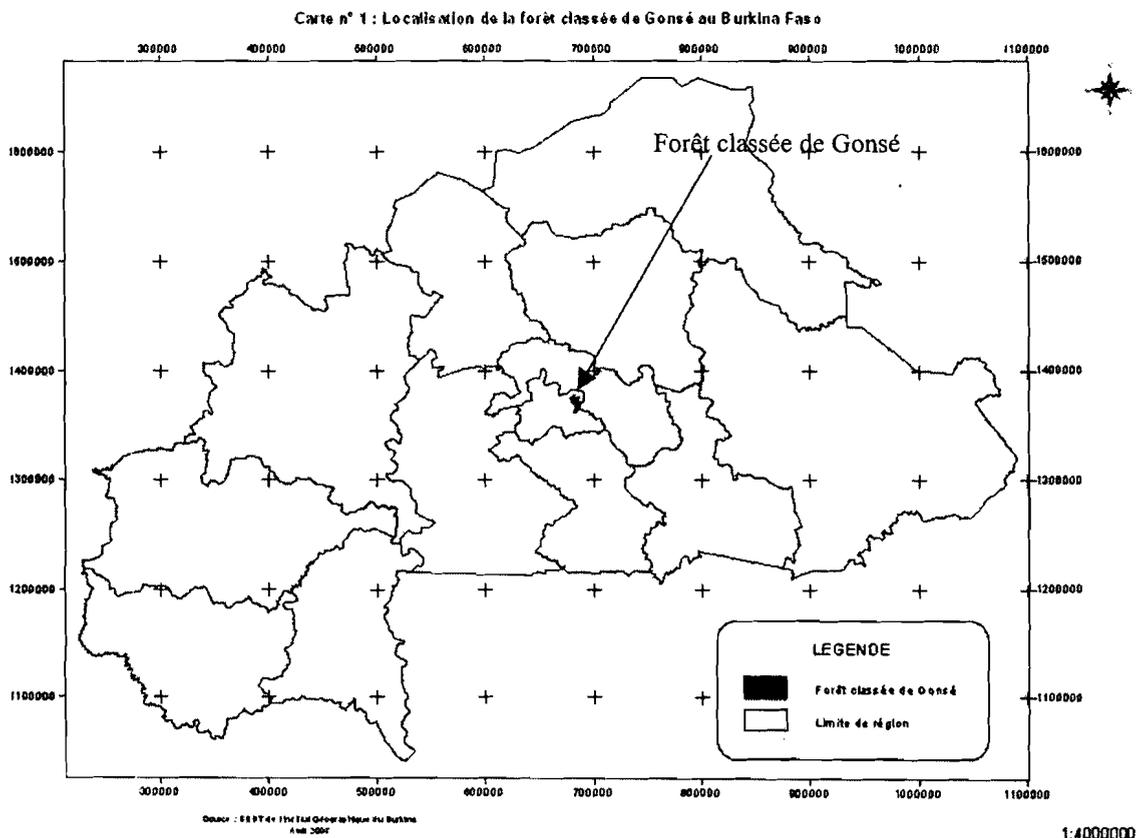
2.1. Forêt classée de Gonsé

2.1.1. Situation géographique

La forêt classée de Gonsé est située au centre du pays à 25 kilomètres à l'Est de Ouagadougou entre 12°19' latitude Nord et 1°17' longitude Ouest sur l'axe routier Ouagadougou-Niamey (carte 1). Elle est d'une superficie d'environ 6000 ha (carte 2) (Nouvelet, 1992).

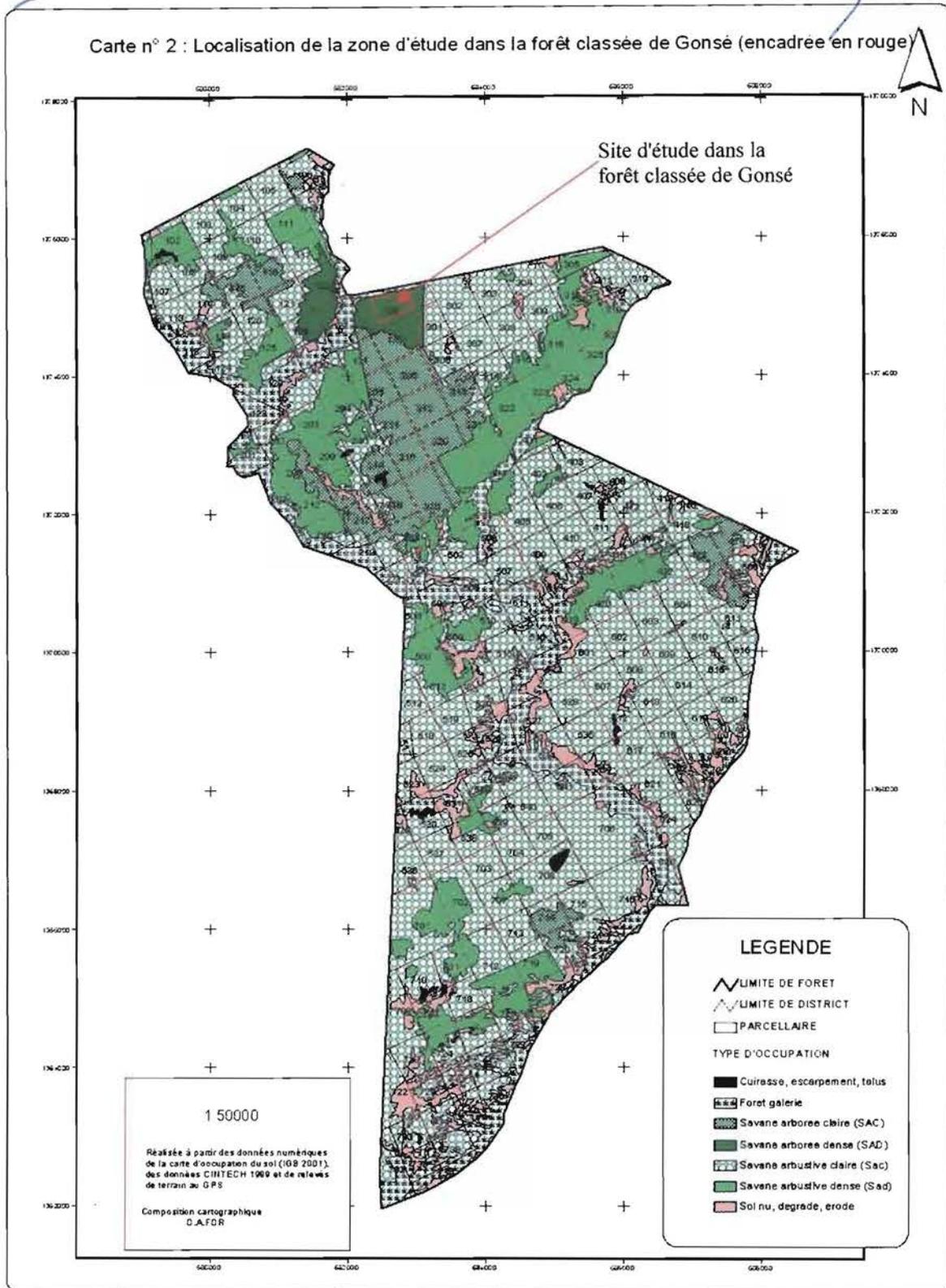
Elle est divisée en 7 districts de superficies variables. Chaque district est divisé en parcelles dont le nombre varie d'un district à un autre. Les districts 3, 4, et 7 présentent une plus grande surface de formations naturelles. Notre site est situé dans le district 1, parcelle 128 (Carte 2)

Carte 1: Localisation de la forêt classée de Gonsé au Burkina Faso.



Carte 2: Localisation du site d'étude dans la forêt classée de Gonsé.

Blanco



2.1.2 Le climat

Le climat de cette région est du type soudano-sahélien selon Guinko (1984). La pluviométrie moyenne annuelle est de 714,8 mm au cours des six dernières années et celle de l'année 2004 de 772 mm (Figure 1&2). Les moyennes de la durée d'insolation totale, de l'humidité relative minimum et maximum, de la vitesse du vent au cours de l'année 2004 sont respectivement de 8,2 heures, 31 et 68 %, et 2,3 m/s (Figures 3, 4, 5). La moyenne annuelle au cours des trente dernières années de l'évapotranspiration potentiel (ETP) est de 168mm et celle de la température de 28°C (station de référence: Ouagadougou aéroport).

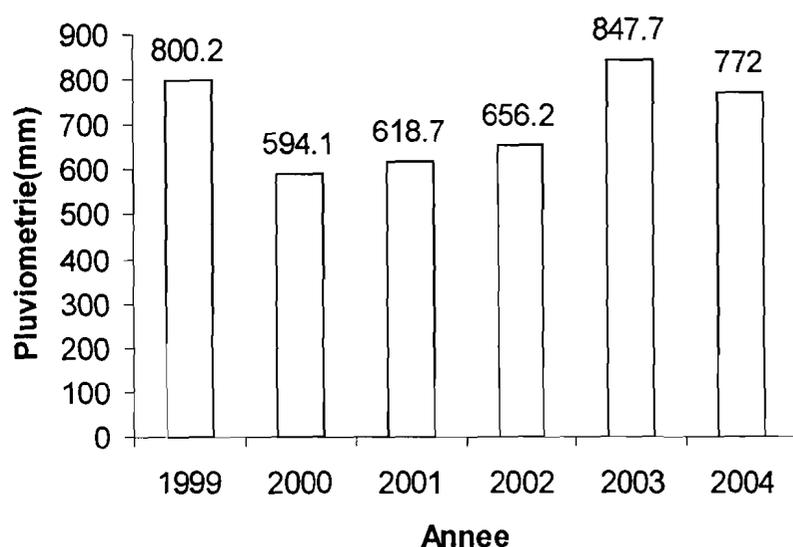


Figure 1: Pluviométrie moyenne annuelle au cours des six dernières années pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.

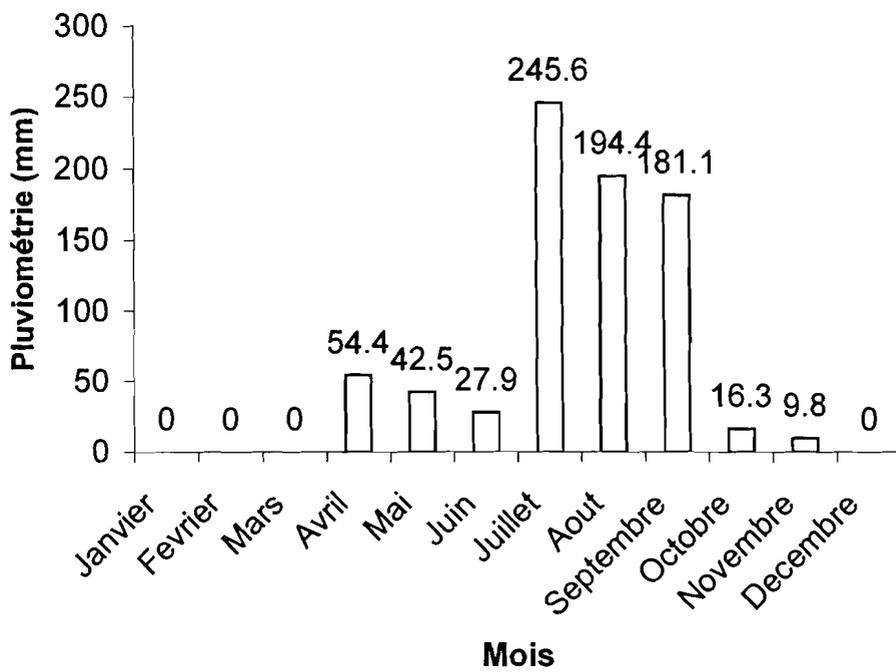


Figure 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle en 2004 pour Ouagadougou-Aeroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.

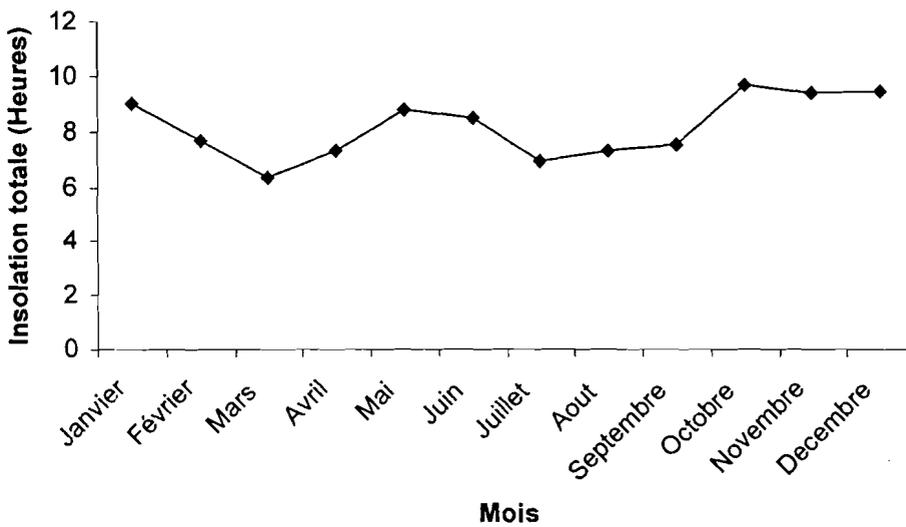


Figure 3: Moyennes mensuelles de la durée d'insolation totale (Heures) en 2004 pour Ouaga Aeroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.

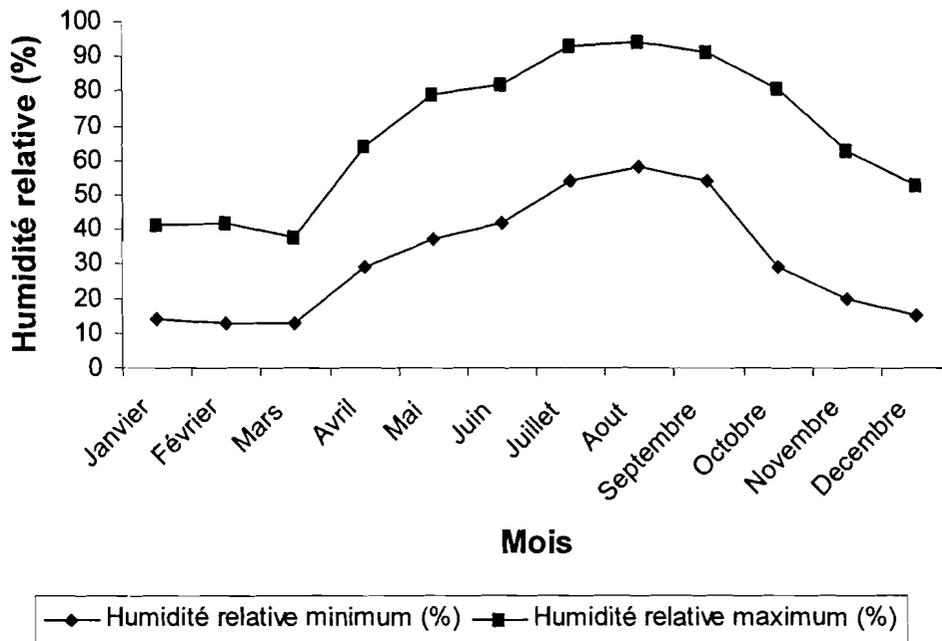


Figure 4: Moyennes mensuelles de l'humidité relative minimum et maximum (%) en 2004 pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.

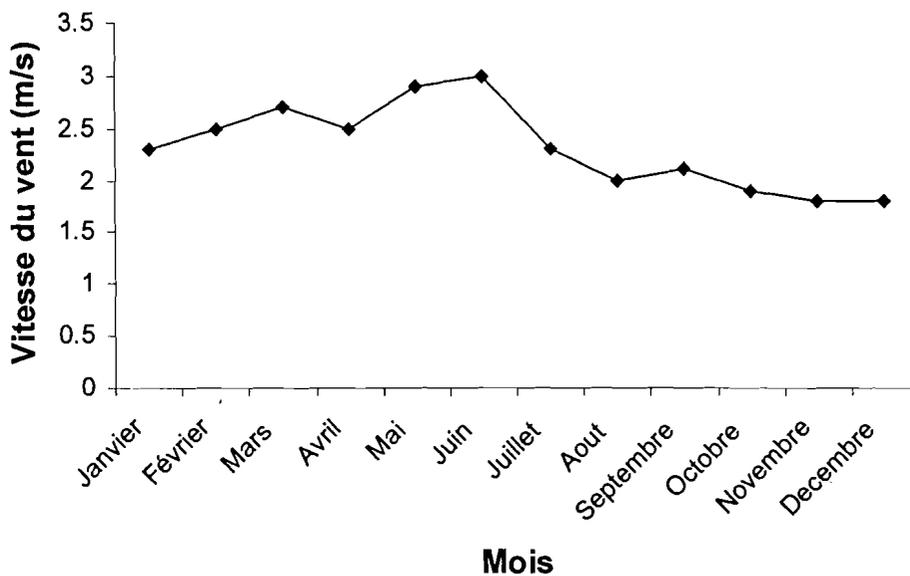


Figure 5: Vitesse moyenne mensuelle du vent à 10 mètres (m/s) en 2004 pour Ouaga Aéroport, station la plus proche de Gonsé, Burkina Faso.

2.1.3. Les sols

Le socle de la forêt classée de Gonsé est constitué de granites syntectoniques de très grande étendue. (Les sols climatiques appartiennent à la classe des sols à sesquioxydes, sous classe des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés sur matériaux sableux, sablo-argileux ou argilo-sableux. D'après Roose (1978), ce type de sol ferrugineux tropical présente un milieu physique défavorable aux cultures car il est très sensible à la battance des pluies, sa structure est mauvaise, sa perméabilité, son aération et sa porosité sont insuffisantes.

Sur le plan chimique, ces sols de savane sont généralement carencés en azote et en phosphore; calcium, magnésium et potassium ne s'épuisent généralement qu'après 5 à 10 ans de culture extensive (Poulain et Arrivets, 1971).

La plus forte carence dont les plantes ont à souffrir est le manque d'eau car les pluies sont irrégulières, le pouvoir évaporant est élevé, l'infiltration est déficiente, le ruissellement est abondant, les racines se développent difficilement dans ce sol trop compact et mal aéré (Nouvelet, 1992).

2.1.4. La végétation

La végétation naturelle de la forêt classée de Gonsé est essentiellement constituée de formations savaniques claires à peu denses, souvent dégradées. Néanmoins, les lits des cours d'eau supportent une végétation ligneuse souvent dense pouvant donner des galeries forestières importantes. La richesse floristique s'organise autour de quelques grandes familles dont les plus importantes sont les légumineuses et les combrétacées.

L'hétérogénéité de la végétation arbustive et herbacée est la première impression qui marque le visiteur lorsqu'il ~~entre~~ pénètre dans la forêt classée de Gonsé.

Les espèces ligneuses dominantes sur l'ensemble de la forêt sont *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia gourmaensis*, *Acacia dudgeonis*, *Entada africana*, *Vitellaria paradoxa*, *Lanea acida* et *Balanites aegyptiaca*. *1 noms d'arbres.*

Le tapis herbacée est dominé par *Andropogon gayanus*, *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Elionurus elegans* et *Sporolobus pyramidalis*.

2.1.5. Hydrographie

La forêt classée de Gonsé présente un important réseau hydrographique avec le Massili et ses affluents qui morcellent la forêt en plusieurs parties. On rencontre aussi un barrage dénommé "barrage Maxime" dont l'importance est considérable.

2.2. Interactions arbres/cultures

Les interactions écologiques entre les arbres et les cultures peuvent être bénéfiques parce que les ligneux ont un effet sur la fertilité des sols à travers la fixation d'azote atmosphérique (N_2) pour les légumineuses (Ong, 1991), la production de matière organique (Bayala et al., 2005), le recyclage des éléments nutritifs du sol par les feuilles des arbres (Young, 1986), la protection des sols contre les érosions (Wiersum, 1991). Pour Huxley (1985), l'interface arbres/cultures présente à la fois des effets de compétition (l'arbre et la culture croissent mal ou l'un croit bien, l'autre mal) et des effets de complémentarité (l'arbre et la culture croissent bien). Mais dans la plupart des cas, les effets positifs directs ou indirects sont plus nombreux que les aspects négatifs directs ou indirects. Les effets positifs de l'interaction arbre/culture concernent essentiellement l'augmentation de la fertilité (Kang et al., 1990; Szott et al., 1991), la conservation du sol (Lal, 1989; Wiersum, 1991), l'amélioration du microclimat (Monteith et al., 1991). Quant aux effets négatifs, il s'agit surtout de la compétition entre les deux composantes pour les ressources de croissance quand celles-ci sont limitées (eau, lumière et éléments minéraux) (Monteith et al., 1991; Ong, 1991). L'allélopathie et la prolifération d'insectes et maladies sont également souvent considérées comme des effets négatifs de l'association arbre-culture (Zhao, 1991; Tian et Kang, 1994)

Tous ces effets dépendent à la fois des espèces en présence, des conditions climatiques et des modes de gestion. Ainsi les études sur les effets de *Faidherbia albida* (Del.) Chev. ont permis de montrer que les pourcentages d'azote (N) et de carbone (C) étaient deux fois plus élevés dans les sols sous cette espèce que dans ceux des zones hors houppiers (Charreau et Vidal, 1965; Felker, 1978; Poschen, 1986; Kamara et Haque, 1992; Vandenbeldt, 1992). De même l'activité biologique sous *F. albida* était deux à cinq fois plus grande que dans les sols nus. Le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L.) était de 1700 kg ha⁻¹ sous le couvert de *F. albida*, 1000 kg ha⁻¹ à la limite de son houppier et de deux à trois inférieur en zone hors houppier (500 kg ha⁻¹).

Des travaux de recherche sur les effets du karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) et du néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth.) ont révélé que les sols sous ces deux espèces d'arbre étaient plus riches en matière organique, en potassium (K) et en magnésium (Mg) qu'en terrain nu sans arbre (Kater et al., 1992; Kessler, 1992). Ces auteurs ont trouvé que le pH des sols sous le néré était plus faible que celui des sols sous le karité. Enfin, ces études ont démontré que la production était réduite de 65% pour le coton, de 66% pour le sorgho et de 60% pour le mil sous le néré. Sous le karité, elle était réduite de 2% pour le coton, de 44% pour le sorgho et de 60% pour le mil.

Bayala et al. (2005) ont montré une tendance décroissante de la contribution des arbres à la formation du carbone du sol au fur et à mesure que l'on s'éloigne du tronc du karité et du néré.

Les travaux sur les effets de *Acacia tortilis* (Savi.) et *Adansonia digitata* (L.) sur la fertilité des sols en zone semi-aride du Kenya ont montré que les teneurs en matière organique (MO), en phosphore (P), en calcium (Ca) et en potassium (K) disponibles des sols sous les arbres étaient plus élevés qu'en terrain nu (Belsky et al., 1989). Par ailleurs, le pH des sols sous *A. tortilis* était plus acide que dans les sols sous *A. digitata*.

Les études sur l'effet de la taille (émondage) sur la concurrence entre les arbres et les cultures dans les parcs arborés à neem (*Azadirachta indica* A. De Jussieu.), à

Albizia lebbbeck (L.) Benth. et à *Leuceana leucocephala* (Lam.) DE Wit en zone semi-aride du Burkina Faso ont révélé qu'une taille précoce du neem entraînait un accroissement de 148% du rendement du sorgho blanc (*Sorghum bicolor* L. Moench.) cultivé de 0 à 3 m de l'arbre par rapport aux rendements en plein champ (Tilander et al., 1995).

Les études sur l'effet dépressif de *Dalbergia sissoo* Roxburg sur la production du blé au Pakistan (Khan, 1975) ont conclu que la production du blé était faible jusqu'à 6 m du tronc et qu'elle augmentait entre 6 et 13 m du tronc de cette espèce.

Beaucoup de travaux de recherche ont conclu dans la plupart des cas à une amélioration de la fertilité des sols du fait de la présence des arbres dans les associations arbres-cultures. Cela peut se traduire par des augmentations des rendements des cultures sous-jacentes et *F. albida* est l'espèce typique de ce type de situation (Charreau et al., 1965, Felker, 1978, Poschen, 1986, Kamara et Haque., 1992, Vandenbeldt, 1992.). Par contre certaines études, tout en prouvant l'amélioration de la fertilité des sols, ont indiqué des baisses des rendements des cultures (nééré et karité) du fait de la compétition pour les autres ressources de croissance (eau, lumière) (Kater et al., 1992, Kesler, 1992).

2.3. Transpiration

2.3.1. Définition

"Tout déficit en saturation en vapeur d'eau existant dans l'atmosphère entourant une plante entraîne l'évaporation de l'eau imbibant les tissus de celle-ci: c'est le phénomène de la transpiration qui crée un appel d'eau continu dans le végétal" (Malziak, 1974). La transpiration apparaît comme un phénomène physique mais sous le contrôle de processus physiologique. Des deux types de transpiration : la transpiration stomatique et cuticulaire, la transpiration stomatique a lieu au sein de cellules spécialisées: les stomates. D'une façon générale les stomates sont plus nombreux sur la face inférieure de la feuille que sur la face supérieure qui parfois n'en possède même pas (cas des feuilles immergées).

2.3.2. Facteurs externes influençant la transpiration

◆ Facteurs édaphiques

La baisse de l'humidité du sol ou de sa température au delà d'un seuil critique (15°C pour la température) crée dans la plante un déficit hydrique suite à une réduction de l'absorption. Cette réduction entraîne la fermeture des voies d'émission de la vapeur d'eau. L'état du sol lié à sa richesse en colloïdes, à son aération, à sa pression osmotique, en influant également l'absorption, intervient au même titre que la température et l'humidité du sol sur la quantité d'eau transpirée.

◆ Facteurs physiques

Plusieurs facteurs physiques interviennent dans la transpiration, ce sont :

- La lumière: son action provoque l'ouverture des stomates et élève la température augmentant par conséquent l'évaporation d'eau. Sa baisse les ferme progressivement;
- La température: elle intervient en augmentant le déficit de saturation en vapeur d'eau de l'air. Plus la température s'élève, plus la transpiration s'intensifie car l'action de la température se traduit par une ouverture maximale des stomates pour un seuil optimal propre à chaque espèce. Au delà de ce seuil les stomates se referment;
- L'humidité de l'air: une forte humidité de l'air réduit la transpiration et une sécheresse de l'air au contraire élève l'intensité de la transpiration ;
- La teneur en CO₂ de l'atmosphère : Une baisse de la teneur en dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère (0,3%) entraîne une intensification de la transpiration, tandis que son élévation provoque sa réduction (0,84%);
- La vitesse du vent: une forte perturbation de l'atmosphère entourant une plante assure aux molécules d'eau vaporisées une diffusion plus facile en empêchant leur accumulation à la surface de la feuille. L'intensité de la transpiration augmente avec la vitesse du vent.

2.3.3. Influence des facteurs internes

L'intensité de la transpiration est aussi fonction des facteurs structuraux, facteurs propres à la plante. La surface foliaire, la nature et la disposition des stomates, des tissus périphériques déterminent les quantités d'eau perdues. Certaines plantes (plantes succulentes et xérophytes) développent des adaptations morphologiques (petites feuilles) qui réduisent leur surface réelle d'évaporation. La chute des feuilles des espèces à feuilles caduques diminue considérablement la transpiration. L'état hydrique de la plante détermine le degré d'ouverture des stomates. Un déficit d'eau dans la plante provoque la fermeture des stomates

2.3.4. Transpiration du karité

Une étude de Koala et Ouédraogo (1989) sur la "consommation en eau de quelques essences ligneuses" dans les bassins versants de Dingasso, Kazanga, Tugu et Barsalogo par la méthode de pesée des fragments de plante a conclu que les heures de forte transpiration du karité se situent entre 12 h et 16 h. Aussi l'étude a montré que la transpiration variait avec le lieu et le temps. La transpiration moyenne en litre d'eau par kg de matière fraîche et par jour était de 6,5 à Barsalogo, 3,5 à Tugu et 3,4 à Kazanga dans le mois de Juin. Ces auteurs ont aussi enregistré 3,2 à Barsalogo, 2,2 à Tugu, 3,1 à Dingasso et 1,5 à Kazanga dans le mois de Juillet. Enfin, en août les données étaient de 3,4 à Tugu, 2,5 à Dingasso et 2,6 à Kazanga.

2.3.5. Techniques de mesure de la transpiration

L'eau absorbée par les racines est éliminée par les stomates et la cuticule des feuilles par un processus appelé transpiration. Elle peut se mesurer de plusieurs manières. Directement, en plaçant sur chaque feuille un poromètre et en calculant le total pour la plante ou indirectement en mesurant les modifications de la teneur en eau du sol à l'aide d'une sonde à neutrons, ou encore en évaluant au moyen

d'une source de chaleur la quantité d'eau qui circule dans la tige (Technique du Flux de Sève).

Après avoir étudié toutes les techniques disponibles pour mesurer la transpiration dans les systèmes agroforestiers, Black (1986) conclut que la porométrie et la technique du flux de sève offrent les meilleures perspectives. Sur le plan technique, la porométrie est la manière la plus simple de déterminer la transpiration des arbres et des cultures, les deux composantes qui interviennent le plus en agroforesterie. Elle est toutefois contraignante, et ne peut être employée lorsque le feuillage est mouillé.

En ce qui concerne la technique du flux de sève, deux nouvelles techniques pour la mesure du flux de sève existent. La première est une technique complexe appelée "Système d'Impulsion Thermique" et la seconde est appelée « Technique du Bilan Thermique ». Ces deux méthodes sont basées sur la mesure de la propagation de la chaleur dans le processus de la transpiration et n'exigent pas d'étalonnage pour estimer la transpiration. La seconde convient pour des ligneux de petite taille (diamètre inférieur ou égal à 50 mm) et des céréales à haute tige telles que le sorgho (Ong et al, 1990).

2.4. Matériel végétal

2.4.1. Le Karité

2.4.1.1. Taxonomie

D'après Ruysen (1957) le karité ne fût rencontré pour la première fois et décrit qu'en 1796 par l'explorateur écossais Mungo Park dans les régions de Ségou (Mali). Le même auteur écrit que le karité appartient à la famille des Sapotaceae et fût appelé *Vitellaria paradoxa* en 1805 puis *Bassia parkii* en 1837. Le genre *Butyrospermum* dont le nom rappelle l'utilisation de la graine fût crée en 1864 par Kotschy (Bonkougou, 1987).

Pour Chevalier (1943), l'espèce présente trois variétés (*Poissoni*, *niloticum* et *mangifolium*).

2.4.1.2. Description et caractéristiques

Le karité est de la famille des Sapotaceae, du Genre *Vitellaria* et de l'espèce *paradoxa*. C'est un arbre trapu à latex blanc de 10 à 15 m de haut avec une écorce épaisse, des feuilles caduques, grandes, étroites et oblongues groupées en rosettes à l'extrémité des rameaux. La floraison a lieu de Décembre à Mars sur des arbres défeuillés mais la période varie suivant les régions (Von Maydell, 1983; Bayala, 2002b).

Les fleurs sont blanc crèmes, très odorantes mellifères, groupées en ombelle à l'extrémité des rameaux. D'après de nombreux écrits (Picasso, 1984; Zerbo, 1987), le stade juvénile du karité dure très longtemps (15 à 20 ans). Mais les premières fleurs qui apparaissent sont pour la plupart stériles et l'arbre ne produit que quelques fruits (Ruyssen, 1957). Amoakoh (1983) et Bayala (2002b) signalent cependant que dans de bonnes conditions, le stade juvénile pourrait durer moins de 10 ans. En fait, la date d'apparition des premières fleurs varie beaucoup, certainement en fonction des conditions environnementales mais très probablement aussi suivant des caractéristiques génétiques. La fructification se déroule dans les mois d'Avril à Mai et les fruits mûrissent progressivement de Mai à Août. Le fruit, sub-globuleux ou ovoïde est une baie renfermant en général une seule graine de couleur brun rouge qui est la noix de karité. Le fruit mûr est charnu et sucré, la récolte peut aller de juin à août et parfois septembre pour certains arbres (Aubreville, 1950; Von Maydell, 1983). Il est seulement fait mention sans aucun détail dans certains écrits (Picasso, 1984; Bonkougou, 1987) de l'existence d'arbres qui produiraient deux fois par an et qui seraient ceux de la variété *Poissoni* décrite par Chevallier (1943).

Selon Delomé (1947) et Bamba (1985), les karités ont au niveau des racines un pivot très court de 70 à 90 cm de profondeur, les racines latérales traçantes sont développées et peuvent atteindre 20 m de longueur.

2.4.1.3. Distribution géographique

Le karité est un arbre exigeant un climat de type soudanien avec ses variantes (Sub-soudanien, soudano-guinéen et soudano-sahélien), une pluviométrie annuelle moyenne de 500 à 1500 mm. Le karité affectionne les sols argilo-sableux ou argilo-siliceux mais il peut pousser sur tous les types de sols (Von Maydell, 1983). Au Burkina Faso, à l'exception de la partie sahélienne du pays au Nord du 14^{ème} degré Nord, on trouve le karité sur l'ensemble du territoire (Tiquet, 1985).

2.4.2. Le Sorgho

2.4.2.1. Taxonomie, description et caractéristiques

Le sorgho est de la famille des gramineae, de la tribu des Andropogonaceae et du genre Sorghum. Le sorgho est la première céréale au Burkina Faso, la nourriture de base de tout le pays. Toutes les variétés du sorgho cultivées appartiennent à la section Eusorghum qui comprend deux sous-sections les Arundinacées et les Halepennsia. La sous section des Arundinacées est composée de deux séries: Spontanea contenant les graminées sauvages et sativa comprenant les sorghos cultivés, rassemblés dans six sous séries et 31 espèces.

Le sorgho est une plante de grande taille (1 à 5 m de haut), avec une tige droite et pleine dont le diamètre diminue de bas en haut. Les feuilles pourvues de très longues gaines sont alternes, longues, larges, glabres, entières et retombantes. Les racines sont adventives, fibreuses et développent de très nombreuses radicelles latérales. L'activité racinaire du sorgho s'effectue à 90% dans une zone de 90 cm de profondeur et 37.5 cm de rayon (Zongo, 1977).

2.4.2.2. Ecologie

Le sorgho a une grande résistance à la sécheresse grâce aux dimensions très réduites de ses stomates et au bon développement de son système racinaire. La croissance, lente au début de végétation, s'accélère après la mise en place des racines adventives, ralentie à l'approche de la floraison, elle s'arrêtera à la pleine floraison (Guinko, 1989). Le tallage a lieu au stade de 4 à 6 feuilles. Le sorgho a une inflorescence en panicule rameuse. La floraison a lieu au cours de la nuit et tôt le matin entre 22h et 8h30mn. Elle est avancée par les hautes températures et le vent mais est retardée par les basses températures et l'humidité. La durée totale de floraison d'une panicule s'étend entre 6 et 15 jours (Zongo, 1977).

Le sorgho est une plante de climat chaud, la température optimale de son développement est de 28°C, celle de sa germination se situe entre 27 et 30°C. Le sorgho s'accommode à de nombreux sols, des plus légers aux plus lourds avec un pH compris entre 4,5 et 8,5. Les stades critiques du déficit hydrique se situent entre le stade de gonflement et celui du grain pâteux (Zongo, 1977).

2.4.2.3. Rendement

Les rendements en grains des variétés locales en culture traditionnelle sont de l'ordre de 600 à 800 kg ha⁻¹ (Zongo, 1977). En culture améliorée en ligne avec labour, la production est de 1000 à 1200 kg ha⁻¹. En culture de rente avec fertilisation, on peut atteindre 1500 à 2000 kg ha⁻¹ (Zongo, 1977).

Chapitre 3: Matériels et Méthodes

3.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de provenances de karité (*Vitellaria paradoxa*) plantées en 1999 dans un essai collaboratif impliquant l'ICRAF et l'IN.E.R.A. Les graines de six (6) provenances de karité dont trois (3) du Burkina, deux (2) du Mali et un (1) du Sénégal ont été collectées entre le 4 juin et le 13 août 1997. Les graines par provenance ont été récoltées sur 30 arbres. A leur arrivée, elles ont été directement semées en pépinière à l'IN.E.R.A/D.P.F, Ouagadougou et les plantules ont été transplantées deux années après à Gonsé. Le sorgho (*Sorghum bicolor*) y est associé en culture intercalaire.

3.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est en blocs complets randomisés (35) avec l'arbre comme unité expérimentale répétée deux fois par bloc, soient 70 fois au total. A cause de l'insuffisance du nombre de plantules, les provenances du Mali ont été regroupées en une seule provenance, ce qui fait que dans l'expérimentation on a cinq (5) provenances au lieu de six (6). L'écartement entre les pieds de karité est de 5x8m. La surface totale de l'expérimentation est de 17 520 m². La variété locale de sorgho (*Sorghum bicolor*) y est semée suivant un écartement de 0,8x0,4m entre les lignes des arbres.

3.3. Collecte des données

3.3.1. Suivi de la ^{croissance} ~~phénologie~~ du sorgho

La phénologie est définie dans le Larousse agricole (1981) comme étant l'étude de la chronologie des stades de la vie végétale, en relation avec le temps et le climat. Elle permet d'apprécier le cycle biologique annuel des espèces. Trois (3) blocs ont été concernés et les observations ont été faites sur un arbre par bloc. L'espace autour de chaque arbre par provenance a été divisé en trois zones concentriques A, B, C. La limite de la zone A est à 1 m du tronc du karité, celles des zones B et

C à 2 et à 3 m du tronc respectivement (Figure 3). Dans chaque zone, quatre poquets de sorgho ont été sélectionnés suivant les quatre points cardinaux. La croissance en hauteur des sorghos (les plus grands des quatre poquets choisis) a été suivie de façon hebdomadaire du 24 août au 3 novembre 2004.

La production de matière sèche a été évaluée en faisant une récolte totale par zone concentrique des tiges fraîches sous les provenances. Ces tiges ont été séchées au soleil pendant un mois puis pesées.

3.3.2. Humidité du sol

Pour notre étude, les variations de la teneur en eau du sol ont été mesurées en utilisant le Time Domain Reflectometry (T.D.R) (Diviner 2000, Sentek Pty Ltd, Australia). Cet appareil mesure en pourcentage la teneur en eau du sol et est constitué de deux parties: un enregistreur de données et une canne munie d'un capteur. Pour les mesures qui se faisaient le matin (6h30-7h30) et le soir (17h à 18h), la canne était connectée à l'enregistreur de données. Après avoir entré le numéro du profile et ouvert le couvercle du tube d'accès, la canne était introduite dans le tube d'accès de 70 cm de profondeur à une vitesse constante et lente jusqu'à atteindre le stoppeur de fond puis elle était retirée avec la même vitesse (Photo 1.). Les valeurs de l'humidité ont été enregistrées tous les 10 cm. L'humidité du sol a été mesurée par zone (1 tube d'accès installé par zone) dans cinq blocs (Photo 1, Figure 3).

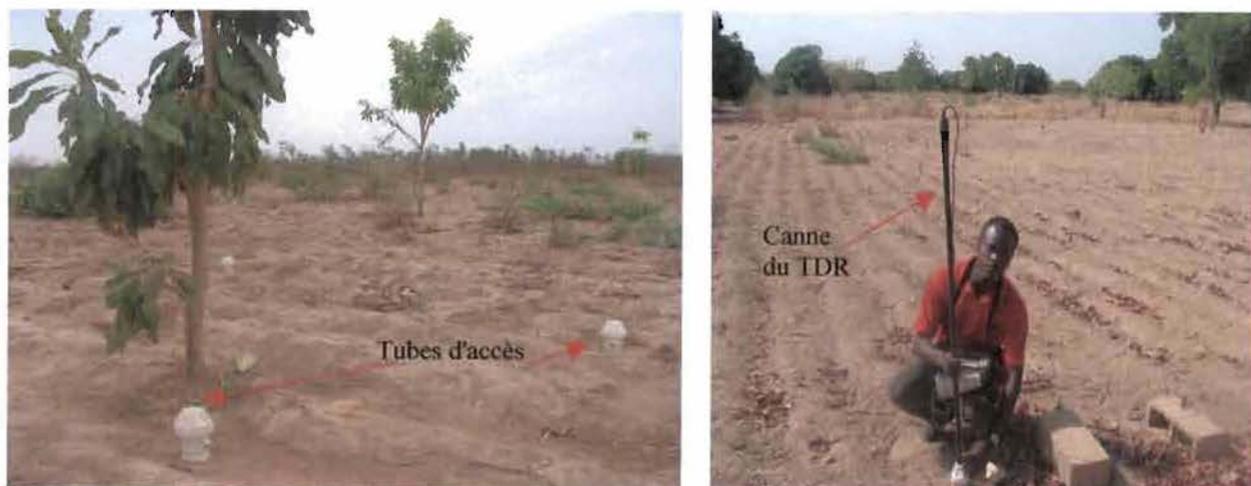


Photo 1: Tubes d'accès et séance de mesure de l'humidité du sol avec le Diviner 2000

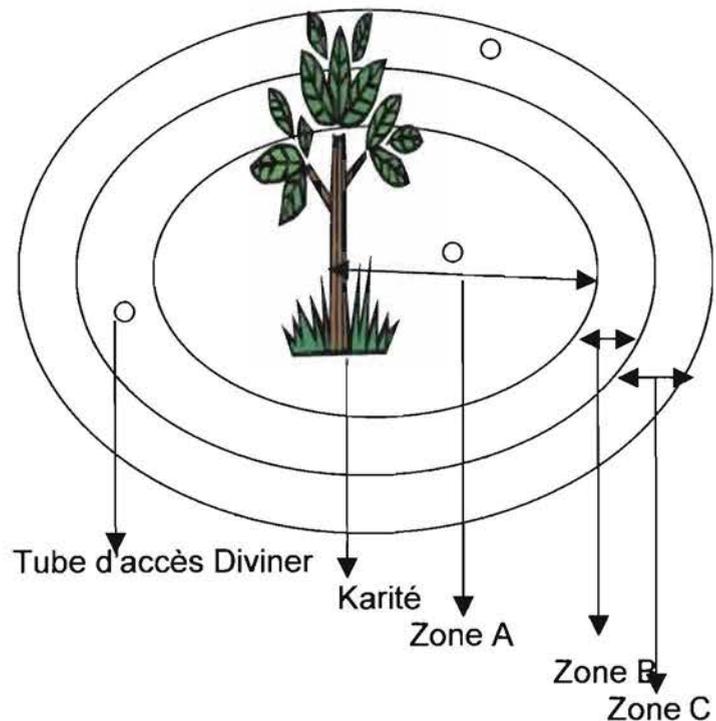


Figure 6 : Dispositif de mesure autour de chaque tronc d'arbre à Gonsé, Burkina Faso

3.3.3. Taux de survie, hauteur et diamètre au collet des karités

Le taux de survie a été évalué en faisant l'inventaire des pieds restants des différentes provenances. Les mesures de la hauteur et du diamètre au collet ont concerné tous les pieds vivants de karité de l'essai. La hauteur a été mesurée à l'aide d'une règle graduée et le diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse.

3.3.4. Détermination du nombre de feuilles et de la surface foliaire des provenances

Le nombre de feuilles par provenance a été déterminé en choisissant au hasard dix (10) pieds de karité par provenance. Toutes les feuilles sur chaque pied ont été comptées systématiquement.

Pour la surface foliaire, sur chacun des dix (10) pieds par provenance, trois feuilles mûres ont été prélevées, soient trente feuilles au total par provenance. Ces

feuilles ont été dessinées sur des feuilles blanches et la surface foliaire a été déterminée au planimètre (Digital Planimeter KP-90 Placom) par la suite.

3.3.5. Mesure de la transpiration

Pour notre étude c'est la technique du bilan de la chaleur qui a été utilisée (Photo2).

Principe de la mesure

Un ruban chauffant est disposé autour d'un volume de tronc ou de branche, la température de ce volume s'élève; le bilan de la chaleur du volume V peut s'écrire

$$Q_e = Q_b + Q_a + Q_f + Q_s \quad (2) \text{ où}$$

Q_e : flux dissipé par l'élément chauffant

Q_b : flux emporté par conduction selon l'axe du bois

Q_a : flux emporté par convection, conduction avec l'air environnant.

Q_f : flux emporté par convection par le flux de sève

Q_s : énergie stockée dans le bois.

Les différentes composantes de ce bilan peuvent être déterminées

$$Q_e = V i_n^2 / R \quad (3) \text{ où}$$

$V i_n$: tension aux bornes de l'élément chauffant (v)

R: résistance de l'élément chauffant (Ω)

Q_b est obtenu en appliquant la loi de Fourier relative à la conduction dans une masse homogène (la quantité de chaleur transportée est proportionnelle au gradient de température dans le fluide):

$$Q_{b,b} = K_{st,b} \cdot A_b \cdot (dT_b/dX) \quad (4a)$$

$$\text{Et } Q_{b,h} = K_{st,h} \cdot A_h \cdot (dT_h/dX) \quad (4b)$$

$$Q_b = Q_{b,b} + Q_{b,h} \quad (4c)$$

Où

$Q_{b,b}$: flux conductif ascendant;

$Q_{b,h}$: flux conductif descendant;

$K_{st,h}$: coefficient de transfert de la chaleur à travers le bois au dessus du manchon chauffant;

$K_{st,b}$: coefficient de transfert de la chaleur à travers le bois au dessous du manchon chauffant;

Ah: section de la partie haute;

Ab: section de la partie basse;

dTh/dX: gradient de température vers le haut;

dTb/dX: gradient de la température vers le bas;

DX étant fixé par le constructeur et A et Kst est supposé égal pour les composantes ascendantes et descendantes de Qb, l'équation devient

$$Q_b = K_{st} \cdot A (dT_b/dX - dT_h/dX) \quad (5)$$

Qa est obtenu à partir des équations thermodynamiques de la mécanique des fluides dans les cylindres.

$$Q_a = 2\pi K_{co} \cdot L \cdot (T_i - T_e) \ln(r_i/r_e) \quad (6) \text{ où}$$

Kco: conductivité thermique de la substance entourant le fil chauffant

Ti: température interne du cylindre

Te: température externe du cylindre

L: longueur de l'élément chauffant

ri/re: rapport des rayons interne et externe

Si on considère que l'arbre et le manchon chauffant possèdent un diamètre constant pendant une période donnée, en posant $K_{lat} = 2\pi \cdot K_{co} \cdot L / \ln(r_i/r_e)$ alors

$$Q_a = K_{lat} \cdot (T_i - T_e) \quad (7)$$

Qf s'obtient alors par soustraction des différents flux à la puissance totale dissipée par l'élément chauffant

$$Q_f = Q_e - Q_b - Q_a - Q_s \quad (8)$$

Le débit de la sève brute est obtenu:

$$F = Q_f / (C \cdot dT) \quad (9)$$

Où C: chaleur massique de la sève brute; dT réchauffement de la sève lors du passage à travers l'élément chauffant.

Protocole de mesure

Nous avons suivi la transpiration des karités dans cinq blocs ou répétitions. Dans chaque répétition, la transpiration a été mesurée simultanément sur les rameaux des 4 provenances (1 rameau choisi par provenance) pendant 72 heures, en excluant systématiquement une des cinq provenances à la fois. Cette approche a été dictée par le nombre insuffisant de canaux sur le Logger pour accommoder 5 sondes simultanément. Au total deux mesures ont été effectuées par bloc en octobre et en novembre 2004.

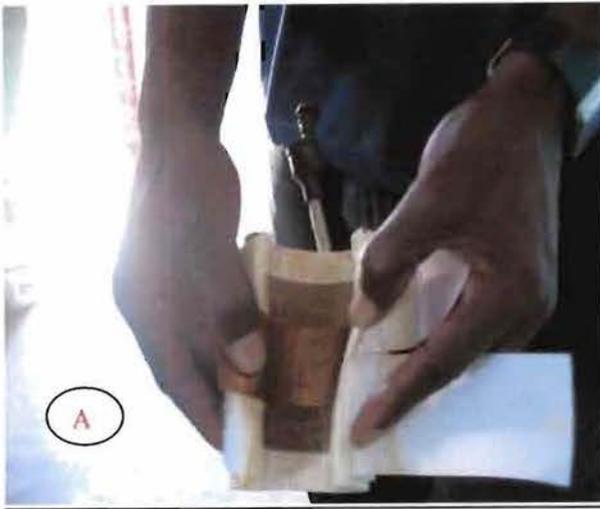


Photo 2 : Installation des sondes et collecte des données de la transpiration sur des pieds de l'essai provenances de *Vitallaria paradoxa* (karité) à Gonsé, Burkina Faso

A: Capteur

B: Capteur sur le rameau

C: Protection du capteur avec du papier aluminium, câble attaché contre le tronc

D: enregistreur de données (Data logger)

Installation des sondes

Pour l'installation des sondes sur les arbres, un endroit sur un tronc ou sur une branche, sans pétiole, ni feuille, ni cicatrice avait été rendu lisse par frottage. Son diamètre avait été mesuré puis la surface de la branche ou du tronc avait été enduite d'une couche de silicone pour la (le) protéger et pour avoir un meilleur contact avec le manchon chauffant. Les sondes (Type D\S GB 25; Delta-T, Devices Ltd, UK) avaient été installées en fin de matinée. Une vérification avait été

faite pour s'assurer que les thermocouples sont bien en contact avec la branche ou le tronc. Après cela, la sonde avait été branchée au câble relié à une centrale d'acquisition des données (DL 2e data logger Delta-T, Devices Ltd, UK) et cette connection avait été protégée. Le câble était ensuite attaché contre le tronc ou une branche pour éviter des mouvements (Photo 2). Les sondes Dynamax avaient été branchées sur la centrale via un multiplicateur. Les signaux des thermocouples avaient été moyennés toutes les trente minutes ainsi que la tension délivrée aux bornes de l'élément chauffant.

Installation des protections

Des protections de part et d'autre du manchon chauffant avaient été installées en commençant par celui du bas et en permettant au câble de passer dans la fente. Ensuite, le tout avait été recouvert par un isolant, qui, avait été serré avec un lien nylon. Tout l'ensemble avait été de nouveau recouvert de papier aluminium qui le protégeait contre le soleil et l'eau.

3.4. Analyse de données

Les logiciels utilisés pour l'analyse des données sont Minitab Release 14 Statistical Package et GenStat Release 7.1. Les données ont été saisies sur Excel qui a aussi servi pour les graphiques. Les données ont été analysées en prenant en compte les facteurs provenance pour le taux de survie du karité, le nombre de feuilles, la surface foliaire, la hauteur, le diamètre au collet et la transpiration. Les facteurs provenance, zone et leur interaction pour les rendements des cultures associées ont été considérés. Enfin, les facteurs provenance, profondeur du sol, zone et leurs interactions (2 à 2 ou 3) pour l'humidité du sol ont été pris en compte.

Chapitre 4: Résultats

4.1. Taux de survie

Le tableau 1 donne les pourcentages des taux de survie.

Les résultats de l'analyse ont montré que toutes les provenances, à l'exception de celle de Samecouta (Sénégal), ont un taux de survie supérieur à 50%. La provenance de Samecouta avait un taux de survie statistiquement différent de celui des autres qui, elles, ne différaient pas les unes des autres.

4.2. Nombre de feuilles des provenances

Le tableau 1 donne le nombre moyen de feuilles par provenance.

L'analyse de variance a montré une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les provenances pour le nombre de feuilles (Annexel). La provenance de Djonon-Karaba (Mali) était la plus feuillue avec 933 feuilles en moyenne par arbre. Elle était suivie de celles du Passoré (Burkina Faso), de Samecouta (Sénégal), de Botou-Fada (Burkina Faso) et de Gonsé (Burkina Faso).

Le nombre de feuilles de la provenance de Djonon-Karaba (Mali) était statistiquement ($P < 0.001$) supérieur à ceux des autres provenances. A l'opposé, la provenance de Gonsé (Burkina Faso) a eu le plus faible nombre de feuilles et ce nombre n'était pas significativement différent de celui de la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso). Enfin les provenances du Passoré (Burkina Faso) et de Samecouta (Sénégal) n'étaient pas différentes entre elles tout comme celles de Samecouta (Sénégal) et de Botou-Fada (Burkina Faso) (Tableau 1).

4.3. Surface foliaire des provenances

Le tableau 1 donne les valeurs moyennes de la surface foliaire par provenance.

L'analyse a révélé que la surface foliaire de la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso) était significativement supérieure à celles des autres provenances ($P < 0.01$). A l'opposé, la provenance de Djonon-Karaba (Mali) a montré une surface foliaire statistiquement inférieure à celles du reste des provenances. Quant à la provenance de Samecouta (Sénégal), elle n'a pas différencié de celle Gonsé (Burkina Faso) en termes de surface foliaire tout comme les provenances de Gonsé (Burkina Faso) et du Passoré (Burkina Faso) entre elles (Tableau 1).

4.4. Hauteur et diamètre au collet

Le tableau 1 donne les valeurs moyennes de la hauteur et du diamètre au collet des provenances.

L'analyse a révélé un effet provenance très hautement significatif pour les deux paramètres (Tous les $P < 0,001$). Parmi les provenances, celles de Djonon-Karaba (Mali), du Passoré (Burkina Faso), de Botou-Fada (Burkina Faso) n'étaient pas différentes pour la hauteur et le diamètre au collet. Par contre, la provenance de Gonsé (Burkina Faso) était différente de celles du Passoré (Burkina Faso), de Botou-Fada (Burkina Faso) et Djonon-Karaba (Mali). Egalement les provenances du Passoré (Burkina Faso), Djonon-Karaba (Mali) étaient toutes différentes de celle de Samecouta (Sénégal) qui ne différait pas de Botou-Fada (Burkina Faso) (Tableau 1).

Tableau 1: Valeurs moyennes des caractéristiques morphologiques et d'adaptation de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

	TS (%)	NF	SF (cm ²)	H (cm)	DC (cm)
Gonsé	57,14±34,6a	206 ± 2d	115,0 ±6,4bc	51,7 ±7,2c	2,0 ±0,2c
Passoré	58,57±33,2a	472 ±3b	112,3 ±5,8c	90,5 ±9,0a	3,3 ±0,2a
Botou-Fada	60±41,6a	241 ±2cd	136,1 ±9,0a	78,8 ±7,8ab	2,9 ±0,3ab
Djonon-Karaba	54,29±30,6a	933 ±3a	102,9 ±4,0d	103,0± 8,5a	3,4 ±0,3a
Samecouta	44,29±41,6b	393 ±3bc	122,9 ±5,8b	75,4 ±10,2b	2,7 ±0,3b

Les valeurs suivies par la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%

TS: Taux de survie; **NF:** Nombre de feuilles; **SF:** Surface foliaire; **H:** Hauteur; **DC:** Diamètre au collet.

4.5. Transpiration

La mesure de la transpiration a été faite simultanément afin de permettre la comparaison entre les provenances. Les diamètres moyens des branches sur lesquelles les sondes ont été installées ont été de 2,6 cm pour Botou-Fada (Burkina Faso), 2,7 cm pour Gonsé (Burkina Faso), 2,6 cm pour Djonon-Karaba (Mali), 2,6 cm pour Passoré (Burkina Faso) et 2,5 cm pour Samecouta (Sénégal).

En Octobre 2004, la transpiration moyenne par arbre était très hautement significativement différente entre les provenances ($P < 0,001$) (Figure 7a).

La provenance de Djonon-Karaba (Mali) a montré la plus grande transpiration journalière ($2,70 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$) suivie de celle du Passoré (Burkina Faso) ($2,25 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$), de Samecouta (Sénégal) ($1,43 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$), de Gonsé (Burkina Faso) ($1,42 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$) et enfin de Botou-Fada (Burkina Faso) ($1,36 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$).

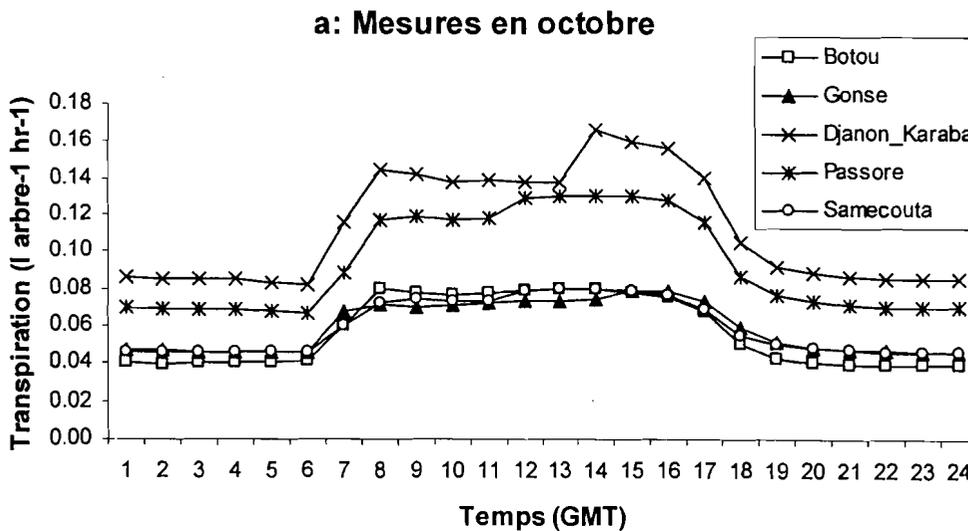
En analysant les données par unité de surface foliaire, il y a eu aussi une différence significative entre les provenances ($P < 0,001$) mais avec la provenance de Samecouta (Sénégal) qui a transpiré le plus ($0,31 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$). Elle était suivie dans l'ordre décroissant par la provenance de Gonsé (Burkina Faso) ($0,25 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$), de Djonon-Karaba (Mali) ($0,21 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$), de Botou-Fada et du Passoré (Burkina Faso) ($0,18 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$) (Figure 8).

La seconde série de mesure de la transpiration qui a lieu en Novembre 2004, a aussi révélé une différence très hautement significative entre les provenances en ce qui concerne la transpiration moyenne par arbre ($P < 0,001$) (Figure 7b).

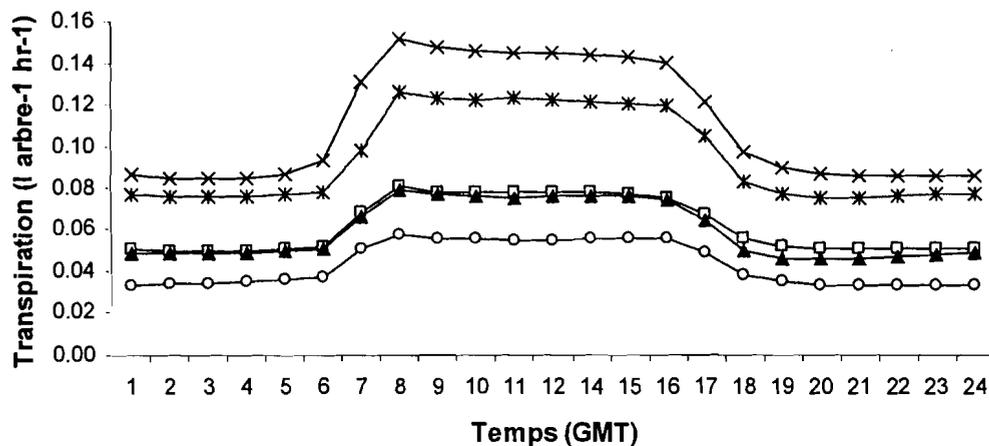
La provenance de Djonon-Karaba (Mali) a présenté encore la plus grande transpiration ($2,69 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$) suivie des provenances du Passoré (Burkina Faso) ($2,30 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$), de Botou-Fada (Burkina Faso) ($1,49 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$), de Gonsé (Burkina Faso) ($1,44 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$) et de Samecouta (Sénégal) ($1,04 \text{ l arbre}^{-1} \text{ jour}^{-1}$).

Les plus fortes valeurs de transpiration par unité de surface foliaire ont été celles des provenances de Gonsé (Burkina Faso) ($0,27 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$) et de Samecouta (Sénégal) ($0,25 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$) qui étaient significativement plus élevées que celles du reste des provenances ($P < 0,001$). Les valeurs étaient de $0,21 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$ pour la provenance de Djonon-Karaba (Mali), $0,20 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$ pour Botou-Fada (Burkina Faso) et $0,18 \text{ l m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$ pour le Passoré (Burkina Faso) (Figure 8).

Ainsi il n'y a pas eu de changements importants pour ce qui concerne les valeurs de la transpiration des provenances de Gonsé (Burkina Faso), Djonon-Karaba (Mali) et Passoré (Burkina Faso) entre la première et la seconde série de mesures. Par contre, on a observé une augmentation de la transpiration de la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso) alors que pour celle de Samecouta (Sénégal) la valeur a baissé.



b: Mesures en novembre



(a et b)
Figure 7: Transpiration ($l\ h^{-1}\ arbre^{-1}$) de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

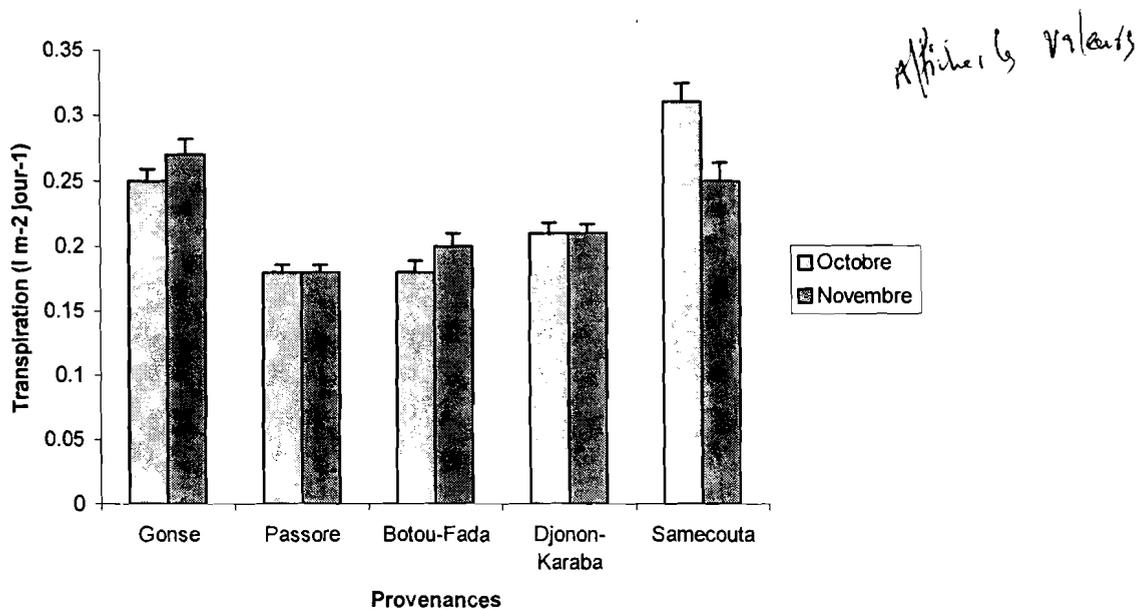


Figure 8: Transpiration par unité de surface foliaire ($l\ m^{-2}\ jour^{-1}$) de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

4.6. Humidité du sol

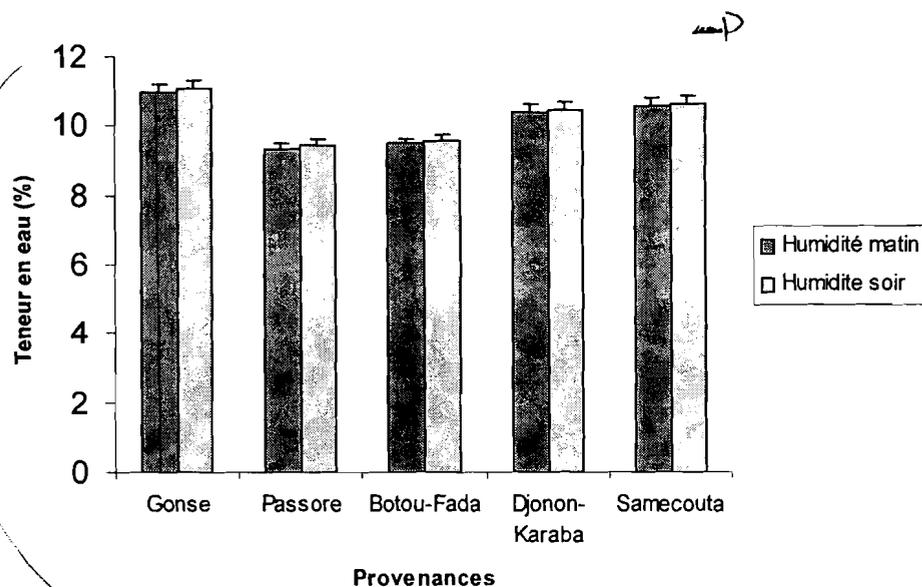


Figure 9: Teneur en eau du sol (%) sous cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

Les mesures du matin et du soir de la teneur en eau du sol avaient pour but de permettre le calcul de la quantité d'eau perdue dans la journée.

L'analyse des deux séries de données a révélé un effet provenance significatif ($P < 0,001$) avec toutefois des interactions significatives à l'exception de celle entre la zone et la profondeur du sol pour les données du matin.

En moyenne, il y a eu plus d'eau dans le sol sous la provenance de Gonsé (Burkina Faso) suivie de celles de Samecoute (Sénégal), de Djonon-karaba (Mali), de Botou-Fada (Burkina Faso) et du Passoré (Burkina Faso) le matin et le soir (Figure 9).

Suivant la distance au tronc de l'arbre, d'une façon globale la zone B avait la plus faible valeur d'humidité du sol alors qu'il y avait une tendance à l'augmentation en fonction de la profondeur (Figure 10).

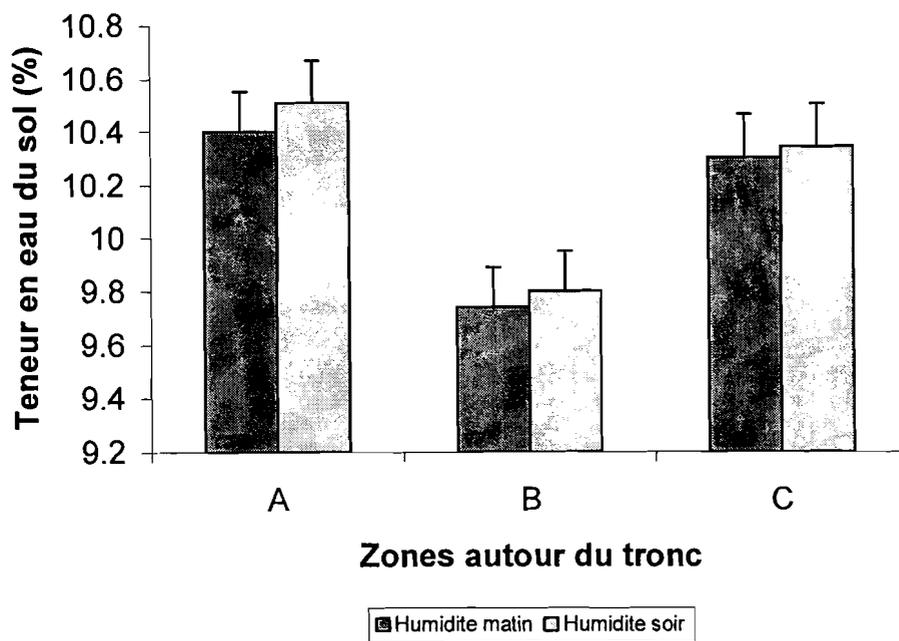


Figure 10: Teneur en eau du sol (%) suivant la distance au tronc de karité à Gonsé, Burkina Faso.

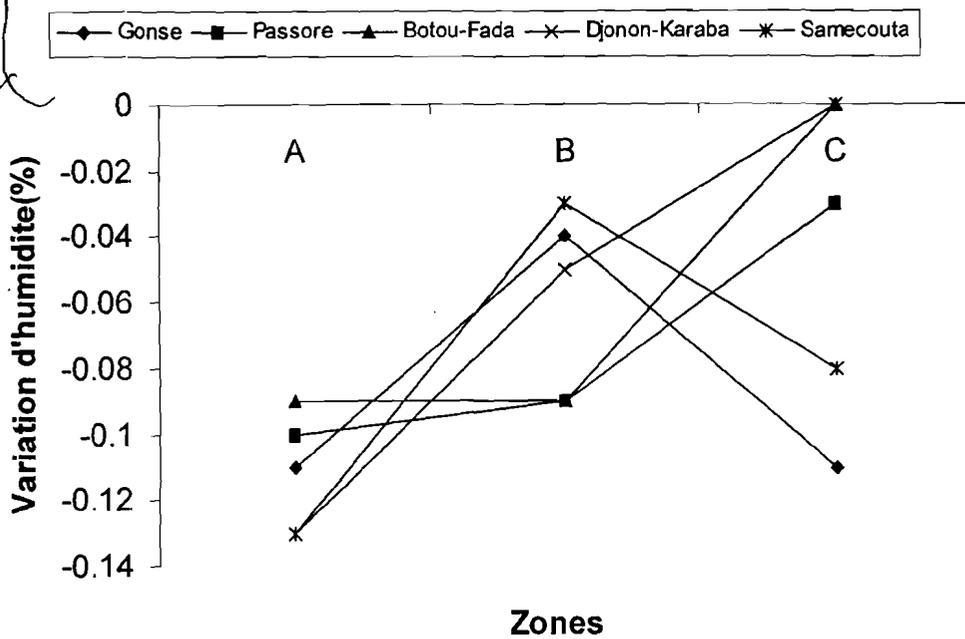
Une analyse par provenance a révélé une plus forte teneur en eau du sol en zone B pour la provenance du Passoré (Burkina Faso) alors que celles de Gonsé (Burkina Faso) et Djonon-Karaba (Mali) ont montré les plus faibles valeurs dans cette zone. Pour la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso), on a noté une tendance décroissante de la teneur en eau du sol allant du tronc de l'arbre à la zone hors houppier. En revanche la tendance était croissante pour la provenance de Samecouta (Sénégal).

L'analyse en fonction de la profondeur du sol a permis de montrer une augmentation de la teneur en eau du sol au fur et à mesure que la profondeur augmente pour toutes les provenances à l'exception de celle de Passoré (Burkina Faso)

La variation journalière de la teneur en eau du sol (différence entre les valeurs du matin et celles du soir) indiquait une augmentation avec la profondeur pour atteindre des valeurs positives dans les deux derniers horizons. L'horizon 10-20 cm était celle qui avait la plus faible variation. Sous les provenances, la variation

journalière de la teneur était de -0,09% pour la provenance de Gonsé (Burkina Faso), -0,08% pour les provenances de Passoré (Burkina Faso) et de Samecouta (Sénégal) et -0,06% pour les provenances de Botou-Fada (Burkina Faso) et de Djonon-Karaba (Mali). En fonction de la distance au tronc, la variation journalière de la teneur en eau du sol a augmenté de la zone A à la zone C avec les valeurs suivantes -0,11% dans la zone A, -0,06% et -0,04% dans la zone B et C respectivement.

En prenant en compte les interactions, un examen des données suivant la distance au tronc et les provenances, a permis de montrer que les zones A et C de la provenance de Gonsé (Burkina Faso) ont eu les plus faibles variations et qui de surcroît étaient de la même amplitude. Une tendance croissante a été plutôt observée allant de la zone A à la zone C pour les provenances de Passoré (Burkina Faso) et de Djonon-Karaba (Mali). Pour ce qui concerne la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso), les Zones A et B ont eu des variations de même magnitude alors que la zone C n'a pas connu de variation tout comme la zone C de la provenance de Djonon-Karaba (Mali). Pour la provenance de Samecouta (Sénégal), la zone B a eu la plus forte variation et la zone A la plus faible (Figure 12).



en fonction de la profondeur

Figure 12: Variation journalière de la teneur en eau du sol (%) suivant la distance au tronc de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

En fonction de la profondeur et de la provenance, trois situations se sont présentées. Sous les provenances de Gonsé (Burkina Faso) et Djonon-Karaba (Mali), les horizons 40-50 cm et 50-60 cm ont eu une variation positive et l'horizon 60-70 cm une variation négative de même que les horizons 0-40 cm. Quant aux provenances de Botou-Fada (Burkina Faso) et Passoré (Burkina Faso), elles ont montré une variation positive aux derniers horizons (40-70 cm pour Botou-Fada (Burkina Faso) et 50-70 cm pour Passoré (Burkina Faso)). Enfin, la provenance de Samecoute (Sénégal) a eu une variation positive seulement à l'horizon 0-10 cm. La plus faible variation pour toutes les provenances a été observée dans l'horizon 10-20 cm à l'exception de la provenance de Samecoute (Sénégal) où elle a été la plus forte (Figure 11).

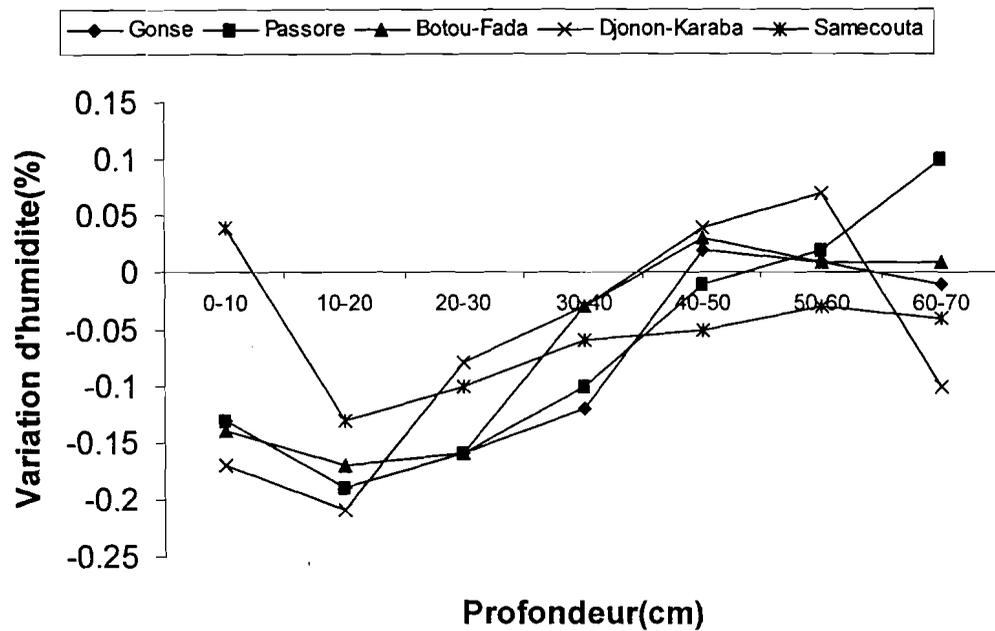


Figure 11: Variation de la teneur en eau du sol (%) suivant la profondeur sous cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso

En conclusion, il n'y a pas de tendance claire pour toutes les provenances en fonction de la distance au tronc de l'arbre et de la profondeur.

4.7. Croissance en hauteur du sorgho

→ Texté.

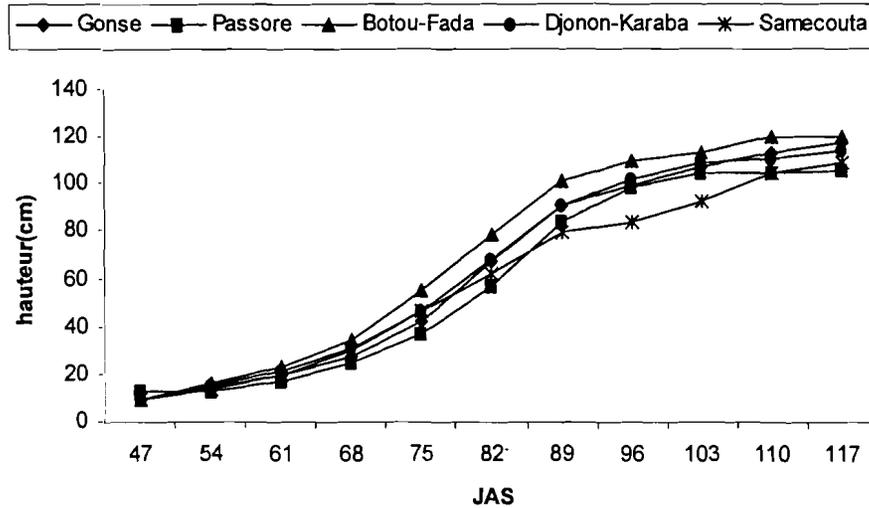


Figure 13: Croissance du sorgho situé sous cinq provenances Ouest Africaines de karité en fonction du nombre de Jours Après Semis (JAS) à Gonsé, Burkina Faso.

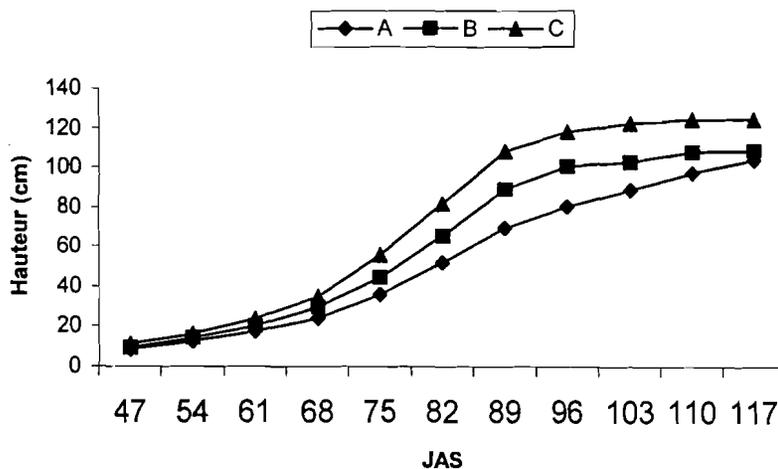


Figure 14: Croissance en hauteur du sorgho en fonction de la distance au tronc de cinq provenances Ouest Africaines de karité et du Nombre de Jours Après Semis à Gonsé, Burkina Faso.

Justices

L'analyse des données de la hauteur du sorgho par date de mesure (mesures répétées), en prenant la provenance et la zone comme facteurs, a révélé une différence significative selon la zone ($P < 0.05$) à 47 JAS, 54 JAS, 68 JAS, 75 JAS, 82 JAS et 110 JAS (Figure 14). Cette différence était hautement significative ($P < 0,01$) de 89 JAS à 103 JAS. Les données de deux dates (61 JAS et 117 JAS) n'ont montré aucune différence statistique en fonction de la zone. De même, à aucune des dates il n'y a eu une différence significative selon les provenances, ni d'interactions entre les facteurs provenance et zone (Figures 13&14).

La plus grande valeur de la hauteur a été obtenue sous la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso) (69,44 cm) suivie des provenances de Djonon-Karaba (Mali) (63,62 cm), de Gonsé (Burkina Faso) (63,25 cm), du Passoré (Burkina Faso) (58,58 cm) et de Samecouta (Sénégal) (57,42 cm). En moyenne, la hauteur du sorgho était de 51,84 cm dans la zone A, 61,42 cm dans la zone B et 73,24 cm dans la zone C indiquant une tendance croissante au fur et à mesure que l'on s'éloigne du tronc de l'arbre.

4.8. Production de matière sèche

A cause de la mauvaise pluviométrie le remplissage de nombreux épis ne s'est pas réalisé de sorte que les données du rendement grain ne sont pas présentées dans ce mémoire.

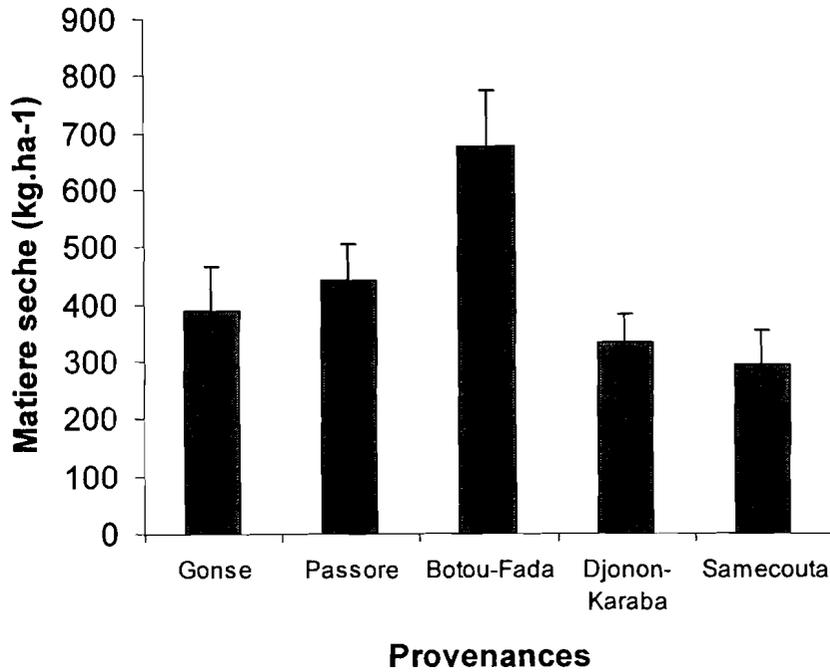


Figure 15: Production de matière sèche de sorgho sous cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

Les résultats de l'analyse ont montré qu'il n'y a pas d'interactions entre la zone et la provenance. Aussi, l'analyse n'a pas révélé de différence significative selon les zones pour la production de matière sèche. Toutefois, il existe une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les provenances pour la production de matière sèche (Annexe II). La plus forte valeur de paille a été obtenue sous la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso) (673 kg ha^{-1}) suivie de celles du Passoré (Burkina Faso) ($441,5 \text{ kg ha}^{-1}$), de Gonsé (Burkina Faso) (387 kg ha^{-1}), de Djonon-Karaba (Mali) (332 kg ha^{-1}) et de Samecoutea (Sénégal) ($294,1 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figure 15). Aucune différence significative n'a été observée en fonction de la distance au tronc de l'arbre. Toutefois, la production de matière sèche a augmenté au fur et à mesure qu'on s'éloignait du tronc des arbres (Figure 16).

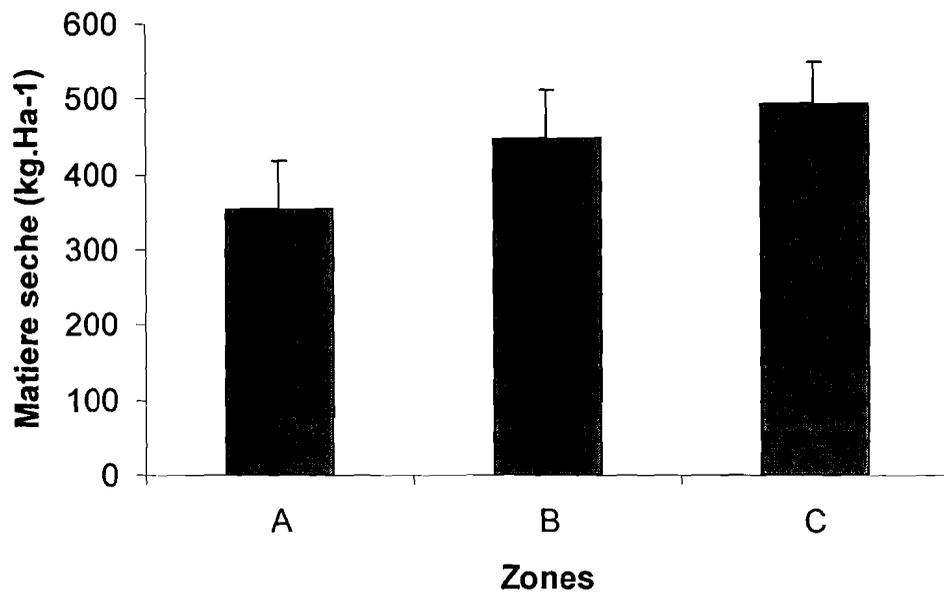


Figure16: Production de matière sèche du sorgho en fonction de la distance au tronc de karité à Gonsé, Burkina Faso.

Chapitre 5: Discussion

5.1. Taux de survie

Toutes les provenances à l'exception de celle de Samecouta (Sénégal) se comportent assez bien à Gonsé (Burkina Faso). Toutefois les provenances du Burkina ont un taux de survie supérieur à ceux des provenances de Samecouta (Sénégal) et de Djonon-Karaba (Mali). Cela pourrait être lié à la pluviométrie. En effet, la pluviométrie annuelle moyenne à Samecouta (Sénégal) est de 900 mm et celles de Djonon (Mali) et de Karaba (Mali) sont respectivement de 1000 mm et de 850 mm. La pluviométrie annuelle moins élevée de 700 mm à Gonsé (Burkina Faso) pourrait avoir défavorisé les provenances de Samecouta (Sénégal) et Djonon-Karaba (Mali) et favorisé celles de Botou-Fada (Burkina Faso) et du Passoré (Burkina Faso) où la pluviométrie annuelle moyenne est de 600 mm.

Par ailleurs, la présence des termites sur le site seraient responsables de la mort de certains pieds de karité.

5.2. Nombre de feuilles et surface foliaire des provenances

Le nombre de feuilles des provenances est fortement et négativement corrélé à la surface foliaire ($r = -0,74$). Ce qui signifie que les deux paramètres évoluent en sens inverse. Autrement, l'augmentation de la surface de la feuille diminue le nombre de feuilles et inversement.

Par ailleurs, la corrélation est aussi forte entre la hauteur et le nombre de feuilles ($r = 0,84$). Un résultat similaire a été rapporté par Sanou et *al.* (1999) qui ont trouvé un coefficient de corrélation de 0,75. Ainsi, la croissance en hauteur des provenances entraîne une augmentation du nombre de feuilles.

5.3. Hauteur et diamètre au collet des provenances

Les provenances sont différentes en hauteur et diamètre. Plusieurs raisons seraient à l'origine de ces différences. En effet, Picasso (1984) a montré que le développement des systèmes aérien et racinaire se fait de façon différentielle. Selon le même auteur, la croissance racinaire du karité dans son jeune âge est plus forte que celle de la partie aérienne, avec cependant des variations selon l'importance des conditions pluviométriques. Les provenances les plus hautes seraient plus rapides dans l'installation de leur système racinaire que les moins hautes (provenance de Gonsé). Par ailleurs, la hauteur étant fortement corrélée au nombre de feuilles ($r = 0,84$), la présence des feuilles permettrait aux plantes de synthétiser plus de matière organique, ce qui faciliterait ainsi leur croissance.

Mes dix La hauteur est très fortement corrélée au diamètre au collet ($r = 0,99$). La croissance en diamètre serait parallèle à la croissance en hauteur et vice versa de sorte que les mêmes raisons peuvent expliquer les différences en diamètre entre les provenances.

5.4. Transpiration

Selon Sessouma (1988), l'intensité de la transpiration serait de 0,36 à 2,4 l .m⁻² jour⁻¹ à la lumière et dans de bonnes conditions. Les valeurs que nous avons obtenues sont comprises entre 0,18 et 0,31 l m⁻² jour⁻¹ en octobre et entre 0,17 et 0,27 l m⁻² jour⁻¹ en novembre. Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par le jeune âge des arbres, par la faible densité des stomates sur la face inférieure des feuilles et par la faible pluviométrie de 2004.

Les quantités d'eau transpirées par arbre seraient liées non seulement à la surface évaporante, mais aussi à la densité et à la disposition des stomates sur les feuilles. En effet, les provenances ayant les plus grandes surfaces évaporantes (Djonon-Karaba (Mali) et Passoré (Burkina Faso)) ont été les plus consommatrices d'eau. Cependant, la provenance de Gonsé (Burkina Faso), malgré sa surface évaporante inférieure n'a pas été la moins consommatrice d'eau lors des deux séries de mesures. Elle pourrait avoir une plus grande densité des stomates sur

ses feuilles. Par ailleurs, Thorpe et *al.* (1978) ont montré que l'efficience d'interception lumineuse est plus grande pour les formes élancées verticalement des couronnes que pour les formes aplaties. Des différences d'interception lumineuse liées aux différences de formes des couronnes telles que décrites par Desmarest (1958), constitueraient un facteur explicatif de la variation de la consommation en eau selon la provenance.

La provenance de Botou-Fada (Burkina Faso) était la moins consommatrice en Octobre et celle de Samecouta (Sénégal) en Novembre. Une différence de phénologie entre les deux provenances pourrait expliquer ce résultat. En outre, la densité et la disposition des stomates sur les feuilles pourraient expliquer le fait qu'à surface foliaire égale, la quantité d'eau transpirée par les provenances soit différente.

Les heures de fortes transpirations étaient entre 8 h et 16 h dans la présente étude contrairement à la fourchette de temps (12 h et 16 h) rapportée par Koala et Ouédraogo (1989). Cela peut être lié à la différence des conditions climatiques et pédologiques qui ont prévalu durant les deux expériences. Par ailleurs, la sensibilité des méthodes peut aussi occasionner des différences.

5.5. ^{Teneur en eau du sol} Humidité du sol

La teneur en eau du sol a augmenté avec la profondeur et cela est sans doute le fait des phénomènes d'infiltration et de drainage (Duchaufour, 1991). Une forte concentration des racines absorbantes dans les premiers horizons peut aussi expliquer cette tendance. En effet, selon Lemée (1978), l'absorption racinaire provoque un assèchement plus ou moins rapide dans toute la zone colonisée par celles-ci selon la nature du peuplement. Comme la densité racinaire diminue avec la profondeur (Bayala et *al.*, 2004), l'assèchement du sol diminue d'où l'augmentation de la teneur en eau du sol avec la profondeur. Enfin, l'augmentation des teneurs en argiles peut accroître aussi les capacités de stockage des horizons profonds en comparaison avec les horizons superficiels.

Suivant la distance au tronc des karités, la teneur en eau du sol était plus élevée dans la zone A et plus basse dans la zone B. Dans la zone A, la réduction de la température par le houppier (réduction donc de l'évaporation), aurait permis au sol de conserver son humidité. L'ombrage des ligneux contribue à modérer la température de l'air et à augmenter l'humidité relative (Lal et Cumming, 1979, Maranga, 1984) d'où la forte teneur de l'eau du sol dans la zone A. La faible teneur en eau du sol dans la zone B pourrait être liée à la concentration racinaire, donc à une plus grande consommation en eau des provenances dans cette zone. En effet, le fait qu'une corrélation négative ait été révélée entre la consommation en eau des provenances et la teneur en eau du sol de la zone B ($r = -0,67$) est un argument qui tend à confirmer cette hypothèse.

Toutefois, l'analyse par zone et par provenance semble indiquer que le comportement des provenances n'est pas uniforme. Pour la provenance de Passoré (Burkina Faso), la zone B avait la plus forte teneur en eau du sol alors que sous la provenance de Botou-Fada (Burkina Faso), la teneur en eau du sol avait diminué de la zone A à la zone C. A l'opposé, sous la provenance de Samecouta (Sénégal), la teneur en eau avait augmenté de la zone A à la zone C. La tendance observée sous la provenance de Botou-Fada est similaire à celle de la distribution des racines fines de sujets adultes de la même espèce telle que rapportée par Bayala et *al.* (2004). Il se peut aussi qu'un drainage isoclinal ou drainage oblique explique les tendances observées à la fois sous Botou-Fada et Samecouta. En effet, si la provenance est située en haut de pente, l'eau dans le sol s'écoulera de la zone A vers la zone B. Par contre, si elle est située en bas de pente, un mouvement inverse de l'eau se produira.

La variation journalière de la teneur en eau du sol suivant la profondeur sous les cinq provenances augmente pour atteindre des valeurs positives à certains horizons différents selon les provenances. Cette variation positive signifie qu'il y a eu perte d'eau au cours de la journée et la variation négative signifie qu'il y a eu apport d'eau. En absence de pluies, l'apport d'eau ne peut provenir que des horizons plus profonds par le processus de la remontée capillaire comme l'ont expliqué Riou (1990) et Anon (2002).

5.6. Croissance en hauteur du sorgho

Dans la croissance du sorgho, nous distinguons quatre étapes: une croissance lente en début de végétation peut être à cause de l'installation des racines adventives, une, accélérée après la mise en place des racines adventives. La croissance ralentit à l'approche de la floraison puis, s'arrête en pleine floraison. Le même modèle de croissance du sorgho a été observé par Guinko (1989). Les valeurs de la hauteur du sorgho selon Zongo (1977) vont de 1 à 5 mètres. La faiblesse des valeurs de la hauteur du sorgho que nous avons observées serait liée à la qualité du sol défavorable aux cultures comme l'avaient signalé Roose (1978), Poulain et Arrivets (1971) et à la faible pluviométrie enregistrée sur le site d'étude en 2004.

L'observation des résultats du suivi de la hauteur du sorgho ne permet pas d'établir un lien très net entre la consommation en eau du karité et la croissance du sorgho, contrairement à Sanou (1996), pour qui, la croissance des plantes est intimement liée à l'humidité du sol. En effet, on a noté que le sorgho situé sous la provenance la plus consommatrice d'eau n'a pas eu la plus faible hauteur. De même le sorgho situé sous la provenance la moins consommatrice d'eau n'a pas la plus forte hauteur. Sessouma (1988) avait donc raison lorsqu'il affirmait que l'eau n'était pas le seul facteur dont dépend la croissance végétative. L'absence de croissance de plusieurs herbacées sous le couvert de nombreux arbres à usages multiples est très souvent attribuée à la compétition pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux (Loomis et Whitman, 1983). Par ailleurs, il a été rapporté que dans l'association arbre-culture, la couronne des arbres est le facteur qui réduit la quantité de la lumière mais modifie aussi sa qualité, entraînant des changements dans les processus photosynthétiques qui conditionnent la croissance végétative et par la suite la production (Messier et Bellefleur, 1988; Jones et Corlett., 1992, Bayala et al., 2002). Cet argument est corroboré par l'augmentation de la hauteur moyenne du sorgho au fur et à mesure que l'on s'éloignait du tronc de l'arbre.

5.7. La production de matière sèche

Tout comme pour la croissance en hauteur du sorgho, la production de matière sèche de sorgho était la plus élevée sous la provenance de Botou-Fada. Elle a aussi augmenté avec la distance au tronc des karités. La teneur en eau du sol seule n'est pas suffisante pour expliquer les valeurs de matière sèche. Car si comme Chantereau et Nicou.(1991) le disent, le sorgho a un taux de production de matière sèche élevé relativement aux quantités d'eau absorbées, il semble que les teneurs d'eau observées étaient suffisantes pour supporter la densité de sorgho. Par ailleurs, il a été rapporté par plusieurs auteurs que le niveau de fertilité sous les arbres était plus élevé que hors, même si ces résultats concernent des individus adultes (Kater et *al.*, 1992 ; Kessler, 1992 ; Bayala et *al.*, 2002). Des ressources de croissance, il reste donc la lumière pour expliquer cette tendance croissante de la production du sorgho en s'éloignant du tronc de l'arbre. En effet, plusieurs auteurs ont mis en cause l'ombrage (Grunow et *al.*, 1980; Somirriba, 1988; Jackson et *al.*, 1990; Yadav et *al.*, 1993; Singh et *al.*, 1993). Des observations similaires de l'ombre du karité sur le rendement de cultures de sorgho au Burkina Faso ont été rapportées par Kessler (1992), Bayala (2002b). Toutefois, il sera excessif de dire qu'en dehors de la lumière, les deux autres ressources de croissance (eau, éléments minéraux) n'ont pas eu d'effet du tout. Pour faire une telle affirmation, il aurait fallu mettre en place un dispositif } qui permet de séparer les effets des différents facteurs.

Chapitre 6: Conclusion et perspectives

Au terme de notre étude, les résultats ont révélé que le nombre de feuilles, la hauteur, le diamètre au collet, la surface foliaire ont varié d'une provenance à une autre. Ces facteurs ont semblé influencer la consommation en eau des provenances.

Les provenances dans leur ensemble se sont bien adaptées au milieu d'étude (taux de survie supérieur à 50% à l'exception de celle de Samecouta). Toutefois, n'ayant pas les mêmes caractéristiques morphologiques, elles ont consommé différemment l'eau du sol. La provenance de Djonon-Karaba a été la plus consommatrice lors des deux séries de mesure. La provenance de Samecouta a été la moins consommatrice d'eau en novembre et celle de Botou-Fada en octobre. Mais à surface foliaire égale, les provenances de Samecouta et de Gonsé ont consommé plus d'eau respectivement en octobre et en novembre. Celle de Passoré a été la moins consommatrice lors des deux séries de mesure. Cette consommation en eau des provenances a été corrélée uniquement avec la teneur en eau du sol de la zone B et négativement. En conséquence, la teneur en eau du sol dans cette zone était la plus basse.

Les deux paramètres (consommation en eau des provenances et teneur en eau du sol) dépendant aussi des conditions climatiques et pédologiques du milieu, ils ont été dynamiques dans le temps et dans l'espace.

L'étude de l'impact sur les cultures associées a consisté en la mesure de la croissance en hauteur et en la mesure de la production de matière sèche du sorgho, sous les provenances et suivant la distance au tronc des karités. Sous les provenances, les plus fortes valeurs de la hauteur et de la paille ont été obtenues sous la provenance de Botou-Fada et les plus faibles valeurs sous la provenance de Samecouta. Suivant la distance au tronc, il y a eu une augmentation de la hauteur et de la matière sèche au fur et à mesure que l'on s'éloignait du tronc.

Cette étude pourrait être complétée.

Ainsi, pour la consommation en eau, l'on pourrait la compléter par:

- Une étude de la forme des couronnes des provenances
- Un suivi des conditions climatiques qui ont présidées à l'expérience
- Une étude de la distribution des racines fines des provenances et du sorgho suivant la distance au tronc des arbres

Pour la teneur en eau du sol, le suivi de l'évaporation suivant la distance au tronc des provenances pourrait être envisagé.

Aussi, l'étude de l'insolation, des éléments minéraux et de leurs proportions suivant la distance au tronc des arbres pourrait permettre de séparer leurs effets respectifs sur les cultures associées.

Bibliographie

- Amoakoh Gyampah, A. 1983.** The United Kingdom Danish and Swiss markets for Ghana Sheanuts. Prodec. Market Research Report, 8/1993, 31p.
- Anon. (Anonyme), 2002.** Mémento de l'agronome, CIRAD, GRET, CTA, Ministère des affaires étrangères, 1646 p.
- Aubreville, A. 1950.** La flore forestière soudano-guinéenne. Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, France, 523 p.
- Bamba, K. 1985.** Systèmes aériens et racinaires de quelques essences spontanées et exotiques dans la région de Saponé. Mémoire de fin d'études. Institut Supérieur Polytechnique, Université Ouaga, 135 p.
- Bayala, J. 2002a.** Rôle des institutions de recherche dans le secteur du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. C.F.): acquis scientifiques et perspectives. International Workshop on processing and marketing of shea products in Africa Dakar (Senegal) 4-6 march 2002, 20p.
- Bayala, J. 2002b.** Tree crown pruning as a management tool to enhance the productivity of parkland in West Africa. Ph.D. Thesis, School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor, 207p.
- Bayala, J., Teklehaimanot, Z., Ouedraogo, S.J. 2002.** Millet production under crown pruned trees in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 54: 203-214.
- Bayala, J., Teklehaimanot, Z., Ouédraogo, S.J. 2004.** Fine root distribution of pruned trees and associated crops in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 60: 13-26.
- Bayala, J.; Balesdent, J.; Marol, C.; Zapata, F.; Teklehaimanot, Z.; Ouédraogo, S.J. 2005.** Relative contribution of trees and crops to soil carbon content in a parkland system in Burkina Faso using variations in natural ^{13}C abundance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (in press).
- Belsky, A.J., Amundson, R.G., Duxbury, J.M., Riha, Al, A.R., Mwanga, S.M. 1989.** The effects of trees on their physical, chemical and biological environment in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology* 26: 1005-1024.
- Black, C.R. 1986.** Measurement of transpiration in agroforestry systems. consultant's report. Hyderabad, Inde: I.C.R.I.S.A.T., 114 p.
- Bognounou, O^E 1987.** Influence socio-économique des essences locales au Burkina. In: recueil de communications présentées au Séminaire national sur les

Essences Forestières Locales. Ouagadougou du 06 au 10 juillet 1987, Burkina Faso. I.R.B.E.T/C.I.L.S.S: 12-26

Bonkougou, G. 1987. Monographie du karité *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn. f.) Hepper espèce agroforestière à usage multiples I.R.B.E.T./C.N.R.S.T. Ouaga, 67 p.

Chantereau, J., Nicou, R. 1991. Le sorgho. Edition Maisonneuve et Larose, Paris, France, 158 p.

Charreau, C., Vidal, P. 1965. Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol: nutrition minérale et rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal. *Agronomie Tropicale* 6-7: 600-626.

Chevalier, A. 1943. Les sapotaceae à graines oléagineuse et leur avenir en culture. *Revue Botanique Appliquée* 260-262: 97-159.

Desmarest, J. 1958. Observation sur la population de karités de Niangoloko 1953 à 1957. *Oléagineux* 5: 449-455.

Delomé, A. 1947. Etude du karité à la station agricole de Ferkéssédougou. *Oléagineux* 4 : 186-200.

Duchaufour, Ph. 1991. Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. 3^e Edit, Edit MASSON, Paris, France, 289 p.

Felker, P. 1978. State of the art: *Acacia albida* as a complementary permanent intercrop with annual crops. University of California, Riverside, C.A., U.S.A. 133 p.

Grunow, J.P., Groeneveld, H.T., Du Toit, S.H.C. 1980. Aboveground dry matter dynamics of the grass African tree savanna. *Journal of Ecology* 68: 877-889.

Guinko, A. 1989. Contribution à l'étude de l'influence du néré et du karité sur le sorgho. Mémoire de fin d'études, Institut du Développement Rural, Université Ouaga, 75p.

Guinko, S. 1984. La végétation de la Haute-Volta. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III. T1, France, 318 p.

Heller, R. 1984. Physiologie végétale Nutrition. 3^e Edition, Edition MASSON, Paris XII, France, 244 p.

Hopkins, H.C, White, F. 1984. The ecology and chorology of *Parkia* in Africa. *Collection Jardin Botanique Naturelle Belgique* 54: 235-266

Huxley, P.A. 1985. The basis of selection, management and evaluation of multipurpose trees- an overview. In: Cannell, M.G.R and Jackson, J.E. (Editors). *Trees as crop plants.* Institute of Terrestrial Forestry, Edinburgh., pp 13-35.

- Jackson, L.E., Strauss, R.B., Firestone, M.K., Bartolome, J.W. 1990.** Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 32: 89-105
- Jones, H.G., Corlett, J.E. 1992.** Current topics in drought physiology. *Journal of Agricultural Sciences*. 119: 196-291.
- Kamara, C.S., Haque, I. 1992.** *Faidherbia albida* (Del.) Chev. and its effects on ethiopian highland vertisols. *Agroforestry Systems* 18: 17-29.
- Kang, B.T., Reynold, L., Atla-Krah, A.N. 1990.** Alley farming. *Advances in Agronomy* 43: 315-359.
- Kater, L.J.M., Kante, S., Budelman, A. 1992.** Karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa* (Jacq. Benth.) associated with crops in south Mali: *Agroforestry Systems* 18: 89-105.
- Kessler, J.J. 1992.** The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) benth.) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 17: 97-118.
- Khan, G.S. 1975.** A study of shading effects of shistam trees on wheat crop. *Pakistan Journal of Agricultural Science* 12: 281-284.
- Koala, Y., Ouédraogo, Y. 1989.** La Consommation en eau de quelques espèces ligneuses. *Memoire de fin d'études. Institut des Sciences de la Nature/Institut du Développement Rural, Université de Ouagadougou*, 50p.
- Lal, R. 1989.** *Agroforestry Systems and soil surface management of tropical alfisol: (1) soil moisture and crop yields.* *Agroforestry Systems* 8: 7-29.
- Lal, R., Cummings, D.J. 1979.** Clearing a tropical forest. Effects on soils and microclimate *Field Crops Research* 2: 91-107.
- Lamien, N., Sidibé, A., Bayala, J. 1996.** Use and commercialization of non-limber forest products in Western Burkina Faso. In: Leakey, R.R.B, Temu, A.B. and Melnyk, M.(Editors.). domestication and commercilization of non-limber Forest products in agroforestery system. F.A.O, Rome Italy. *Non wood Forest Products*, 9: 51-63
- Lémée, G. 1978.** Précis d'écologie végétale. Biologie, maîtrises. Edition MASSON, Paris, France, 285 p.
- Loomis, R.S., Whitman, C.E. 1983.** Systems analysis in production ecology. *Plant Research and Agroforestry*. Pp 209-220. Proceedings of meeting held in

Nairobi, 8-10 April 1981. Edited by P.A. Huxley. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya.

M.A.H.R.H/D.S.A. 2003. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Division des Statistiques Agricoles,. Données sur les productions nationales de 1984 à 2003. }.

Malziak, P. 1974. Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme. Edition HERMANN COLLECTION, Paris, France, 349 p.

Maranga, E.K. 1984. Influence de *Acacia tortilis* trees on the distribution of *Panicum maximum* and *Digitaria macroblephara* in South Kenya. MS Thesis, Texas A&M University cité par Samba (1997), 186+ annexes. ^

Messier, C. et Bellefleur, P. 1988. Light quantity on the forest floor of pioneer and climax stages in a birch- beech-sugar maple stand. Canadian Journal Forest Resources 18: 615-622.

Monteith, J.L., Ong, C.K., Corlett, J.E. 1991. Microclimatic Interaction in Agroforestry systems. Forestry Ecology and Management, 45: 32-44.

Nambiar, E.K.S. et Sands, R. 1993. Competition for water and nutrients in forests. Canadian Journal of Forest Resources 23: 1955-1968.

Nouvelet, Y., 1992. Évolution d'un taillis de formation naturelle en zone soudanienne du Burkina Faso. Thèse Fascicule 1 Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, France, 209p.

Ong, C.K., Singh, R.P., Khan, A.A.H., Osman, M. 1990. Deux nouvelles techniques pour mesurer l'eau prélevée par les arbres. L'agroforestérie aujourd'hui, Volume 2, 3: 7-9

Ong, C.K. 1991. The interactions of light, water and nutrients in agroforestry systems. In: Avery, M.E., Cannell, M.G.R., and Ong, C.K. (Editors). Biophysical Research in Asian Agroforestry. Winrock International, U.S.A, pp 107-124..

Picasso, G. 1984. Synthèse des résultats acquis en matière de recherches sur le karité au Burkina Faso de 1950 à 1958. Rapport IRHO, 45 p.

Poirée, M., Ollier, Ch. 1971. Irrigation. Les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages . 4è Edition, Editions Eyrolles, Paris-V, France, 455 p.

Poschen, P., 1986. An evaluation of *Acacia albida* based agroforestry systems. Agroforestry Systems 4: 129-143.

Poulain, J.F., Arrivets, J. 1971. Effet des principaux éléments fertilisants autres que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base (sorgho, mil, maïs)

au Sénégal et Haute-Volta. Séminaire CSTR/OUA. Dakar 7/71. Rapport IRAT/H.V., 31p. multigr, cité par Nouvelet (1992).

Rasendra, P. 1997. Caractérisation de la compétition pour l'eau dans un système agroforestier: Conséquence pour la modélisation. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Technologue en Agronomie, Université Poincaré, Nancy, 56p.

Radosevich, R.R., Holt, J.S., 1984. Weed Ecology: Implications for vegetation Management. John Wiley and sons Inc., New York, 265 p.

Riou, G. 1990. L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux. Edition MASSON, Paris, France, 222 p.

Roose, E. 1978. Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux issu de granite sous une savane arborée du plateau Mossi (H.V) Gonsé, campagnes 1968 à 1974, ORSTOM, Paris, 121p, cité par Nouvelet (1992).

Ruysen, B. 1957. Le karité au soudan. *Agronomie Tropicale* 1: 143-178.

Somirriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guayava* L.). trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 6: 153-162.

Sanou, J., CAO, T., Bastide, B., Ouédraogo, S.J. 1999. Variabilité de quelques caractères juvéniles chez le karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.). ^{Cuo} INERA/DPF, Ouaga, Burkina Faso, 17 p.

Sanou, S. 1996. Etude des sols et leurs potentialités pastorales au sahel Burkinabè, cas de la zone de Katchari. Mémoire de fin d'études, Institut du Développement Rural, option Agronomie, Université Polytechnique de Bobo, 78 p.

Sessouma, G.K. 1988. Cours de physiologie végétale en deuxième année à l'Institut du Développement Rural, 103 p.

Singh, B, Khandelwa, R.B. et Singh, B. 1993. Response of groundnut to phosphatic fertilizer and their mode of application with and without gypsum on yield, quality and P uptake. *Journal of Indian Society of Soil Science* 41: 383-384.

Sivakumar, M.V.K, Wallace J.S., Renard C., Giroux C. 1991. Préface. In: Sivakumar, M.V.K., Wallace, J.S., Renard, C., Giroux, C.(Editors). Soil water balance in the sudano-sahelian zone. International Association of Hydrological Sciences Publications 199: VII-VIII.

Szott, L.T., Fernandes, E.C.M. and Sanchez, P. 1991. Soil-plant interaction in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45: 127-152.

- Thorpe, M.R., Saugier, B., Auger, S., Berger, A., Methy, M. 1978.** Photosynthesis and transpiration of an isolated tree: model and validation. *Plant, Cell and Environment* 1: 269-277.
- Tian, G., Kang, B.T. 1994.** Evaluation of phytotoxic effects of *Gliricida sepium* (Jacq) Walp prunings on maize and copea seedlings. *Agroforestry Systems* 26: 316-367.
- Tilander, Y., Ouédraogo, G. and Youngma, F., 1995.** Impact of tree coppicing on tree-crop competition in parkland and alley farming systems in semi-arid Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 30: 363-378.
- Tiquet, J.P.B. 1985.** Les arbres de brousse au Burkina Faso. Collection "appui au monde rural" série tropique 2, 95 p.
- Vandenbelt, R.J., 1992.** *Faidherbia albida* (Del.) Chev. In the West African semi-arid tropics. ICRISAT/ICRAF, Niamey, Niger, 206 p.
- Von MAYDELL, .H.J. 1983.** Arbres et arbustes du sahel, leurs caractéristiques et leurs utilisations, Schriftenreihe der G.T.Z. (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), No 147, Eschborn, Allemagne, 531 p.
- Wiersum, K.F, 1991.** Soil erosion and conservation in agroforestry systems. In: . Avery, M.E, Cannell, M.G.R. and Ong, C.K. (Editors). *Biophysical research in Asian Agroforestry*. Winrock International, U.S.A, pp 209-230..
- Yadav, J.P., Sharma, K.K. et Kanna, P. 1993.** Effect of *Acacia nilotica* on mustard crop. *Agroforestry Systems* 21: 91-98.
- Young, A. 1986.** Effects of trees on soils. In: Prinsley, R.T. and Swift, M.J. (Editors.). *Amelioration of soil by trees*. Commonwealth Science Council, London,UK, pp 10-19.
- Zerbo, J.L., 1987.** Expérimentation de techniques de production de plants d'arbres utilisés en agroforesterie traditionnelle: cas du karité, *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn. F.) Hepper. Mémoire, Institut du Développement Rural, Université Ouaga, 75 p.
- Zhao, L. 1991.** Biological control of insect pests and plant diseases in agroforestry systems. In: M.E., Avery, M.G.R., cannell and C.K., Ong (Ed.). *Biophysical Research in Asian Agroforestry*. Winrock International,U.S.A., pp. 73-90.
- Zongo, J.D. 1977.** L'amélioration génétique du sorgho grain. Mémoire de fin d'études D.A.A. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, 6, France, 55 p.

Annexes

I. Analyse de variance avec GentStat Release 7.1 du nombre de feuilles de cinq provenances Ouest Africaines de karité à Gonsé, Burkina Faso.

Analysis of variance

Variate:
Nb_feuilles

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Provenance		4 3402839	850710		5.87 <.001
Residual		45 6518980	144866		
Total		49 9921819			

II. Analyse de variance avec Minitab du poids de matière sèche du sorgho

Analysis of variance for poids MS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prov	4	1279407	1279407	319852	3.98	0.006
Zone	2	242272	219190	109595	1.37	0.264
Prov*zone	8	415240	415240	51905	0.65	0.735
Error	57	4575467	4575467	80271		
Total	71	6512386				