

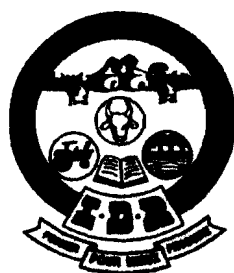
BURKINA FASO

UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



Mem-A
1210
Dia

MENTION BIEN

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

en vue de l'obtention du
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION: Agronomie

THEME: Influence du phosphore, de l'azote et du houppier sur les rendements du sorgho (*Sorghum bicolor*), les fractions du phosphore et l'activité des microorganismes du sol d'un parc agroforestier de la zone soudanienne du Burkina Faso.

Présenté par: Baba-Galley DIARRA

Maîtres de stage: Dr Zacharia GNANKAMBARY

Dr Jules BAYALA

Directeur de mémoire : Pr H. Bismarck NACRO

N: -2009/AG

JUIN 2009

DEDICACE

A :

La mémoire de mon père Ibrahim DIARRA,

Ma mère Djélika TRAORE,

Mon oncle Arona DIARRA et son épouse

Mariama qui ont toujours cru en moi et m'ont

soutenu jusqu'à ce jour,

Tous ceux qui œuvrent pour le développement

durable et la prospérité de l'agriculture au

FASO.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	II
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES.....	VIII
REMERCIEMENTS.....	IX
RESUME	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 :.....	4
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I. Généralité sur l'agroforesterie	4
1.1 Définition.....	4
1.2 Les interactions entre arbres et cultures dans les systèmes agroforestiers.....	5
II Généralité sur <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R.Br. ex G. Don	6
2.1 Botanique	6
2.2 Ecologie	7
2.3 Fonction et usage	7
III. Généralité sur <i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. f.	8
3.1 Botanique	8
3.2 Ecologie	8
3.3 Fonction et usage	9
IV. Composition chimique des feuilles du karité et du néré	9
V. Biologie du sol.....	10
VI. Généralités sur le phosphore et l'azote	11
6.1 Le phosphore	11
6.2 L'azote.....	13
VII. La respiration du sol.....	14
7.1 Définition et généralités	14
7.2 Facteurs influençant la respiration du sol	14
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES	16

I.	Description du site d'étude	16
1.1	Situation géographique.....	16
1.2	Climat et végétation	16
1.3	Les sols du site d'étude	17
II.	Matériel d'étude	18
2.1	Le matériel végétal	18
2.2	Les fertilisants utilisés.....	18
III.	Méthodologie	18
3.1	Dispositif expérimental	19
3.2	Les paramètres agronomiques	20
3.3	Les paramètres d'étude du sol	21
3.3.1	Prélèvement des échantillons de sol.....	21
3.3.2	Détermination des caractéristiques chimiques du sol.....	21
-	Détermination du pH.....	21
-	Détermination du carbone total	22
-	Dosage du phosphore total	22
-	Dosage du Phosphore assimilable.....	23
3.3.3	Le fractionnement du phosphore.....	23
3.3.4	Mesure de la respiration microbienne du sol.....	25
3.4	Analyses statistiques	28
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION		29
I.	Caractéristiques chimiques des sols	29
1.1	Résultats	29
1.2	Discussion.....	31
1.3	Conclusion.....	32
II.	Rendement du sorgho sous les deux espèces	32
2.1	Rendement grain	32
2.2	Rendement matière sèche	33
2.3	Discussion.....	34
2.4	Conclusion.....	35
III.	Les formes et fractions du phosphore dans le sol agroforestier de Saponé	36
3.1	Effet du houppier du karité et du néré sur les teneurs en phosphore du sol.....	36
3.2	Effet de la fertilisation sur les teneurs en phosphore.....	36

3.3	Effet du houppier sur les fractions du phosphore.....	38
3.4	Effet de la fertilisation minérale sur les fractions du phosphore du sol.....	39
3.5	Effet comparé des deux espèces sur les formes et fractions du phosphore.....	41
3.6	Influence de l'activité microbienne sur les fractions du phosphore du sol.....	42
3.7	Discussion.....	43
3.8	Conclusion.....	46
IV.	Activité respiratoire du sol	47
4.1	Analyse des courbes de la respiration du sol	47
4.1.1	La respiration de base.....	47
4.1.2	Interprétation des courbes de la respiration du sol	47
4.1.2.1	Influence du néré.....	48
4.1.2.2	Influence du karité.....	52
4.1.3	Phosphore et azote disponibles pour les microbes	55
4.2	Discussion.....	56
4.3	Conclusion.....	58
	CONCLUSION GENERALE	60
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62
	ANNEXES.....	71

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BUNASOLS	:	Bureau National des Sols
CNRST	:	Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique
CIFOR	:	Center for International Forestry Research
DPF	:	Département des productions forestières
FAO	:	Fonds des Nations Unies pour l'Agriculture
GRN/SP	:	Gestion des Ressources Naturelles/ Système de production
ICRAF	:	International Council for Research in Agroforestry
IDR	:	Institut du Développement Rural
INERA	:	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
MO	:	Matière organique
MS	:	Matière sèche
TSP	:	Triple superphosphate
UPB	:	Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

MENTION BIEN

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Concentration en nutriments, lignine, cellulose et phénol des feuilles de <i>Vitellaria paradoxa</i> et <i>Parkia biglobosa</i> de Saponé au Burkina Faso	9
Tableau 2 : caractéristiques chimiques et physiques du sol de saponé à une profondeur de 0 – 15 cm.	18
Tableau 3 : Fractionnement du phosphore selon la méthode Hedley.....	24
Tableau 4 : quantité des nutriments additionnés au sol pour le test respirométrique.....	27
Tableau 5 : Effet du houppier du karité et du néré sur les caractéristiques chimiques du sol..	29
Tableau 6a : Influence des fertilisants sur quelques caractéristiques chimiques du sol sous le houppier du néré.....	30
Tableau 6b : Influence des fertilisants sur quelques caractéristiques chimiques du sol sous le houppier du karité.....	31
Tableau 7 : Effet de la fertilisation minérale appliquée sous le karité et le néré sur le rendement grain du sorgho	33
Tableau 8: Effet de la fertilisation minérale appliquée sous le karité et le néré sur le rendement matière sèche du sorgho	34
Tableau 9: Effet du houppier du karité et du néré sur les teneurs en phosphore du sol	36
Tableau 10 : Effet de la fertilisation sur les formes du phosphore sous le karité.....	37
Tableau 11 : Effet de la fertilisation sur les formes du phosphore sous le néré (<i>Parkia biglobosa</i>).....	38
Tableau 12 : Effet du houppier sur les fractions du phosphore.....	39
Tableau 13 : Effet de la fertilisation sur les fractions du phosphore du sol sous le karité	40
Tableau 14 : Effet de la fertilisation minérale sur les fractions du phosphore sous le néré	40
Tableau 15 : Teneur en P-total et P-assimilable du sol prélevé sous le houppier du karité et du néré	41
Tableau 16 : Teneur des fractions du phosphore du sol prélevé sous le houppier du karité et du néré	42

Tableau 17 : Fractions du P (mg kg^{-1}) avant et après incubation du sol prélevé sous et hors houppier du néré.	42
nd = non disponible	42
Tableau 18 : Fractions du P (mg kg^{-1}) avant et après incubation du sol prélevé sous et hors houppier du karité.	43
Tableau 19 : Effet du houppier sur la respiration de base exprimée en $\text{mg-CO}_2 \text{ j}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de sol.	47
Tableau 20: Effet du houppier du karité et du néré sur le phosphore et l'azote disponibles pour les microorganismes du sol.	56

MENTION BIEN

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : composition microbienne du sol selon Gobat <i>et al.</i> , 2003.....	11
Figure 2: Pluviosité mensuelle à Saponé en 2007 et 2008.....	17
Figure 3: Représentation schématique des parcelles recevant les traitements par arbre. Les zones représentent les parcelles recevant les traitements.....	20
Figure 4. Modèle de la cinétique de la respiration des microorganismes du sol avant et après l'addition des substrats.....	26
Figure 5. Cinétique de la respiration du sol prélevé sous et hors houppier du néré (a) et du karité (b) après addition du glucose (C) seul.....	48
Figure 6 : Cinétique de la respiration des microorganismes des sols prélevés dans les parcelles situées hors et sous houppier du néré et ne recevant aucune fertilisation minérale.....	49
Figure 7 : Cumul de CO ₂ dégagé pendant 21 jours après addition des nutriments aux sols prélevés hors et sous houppier du néré et du karité.....	51
Figure 8 : Cinétique de la respiration des microorganismes des sols prélevés dans les parcelles situées hors et sous houppier du karité et ne recevant aucune fertilisation minérale.....	53
Figure 9 : Cinétique de la respiration des microorganismes des sols prélevés dans les parcelles recevant l'application d'urée et de TSP situées sous le houppier du karité.....	54
Figure 10 : Cumul de CO ₂ dégagé pendant 21 jours après addition des nutriments aux sols prélevés sous houppier du karité dans le traitement recevant au champ la fertilisation azotée et phosphatée «TNP».....	55

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est l'aboutissement de dix mois de recherche dans le domaine de l'agroforesterie et spécifiquement, les caractéristiques chimiques et biologiques du sol à travers l'association arbres – cultures. Ce travail a été possible grâce à plusieurs personnes. En ces lignes, j'exprime ma profonde gratitude :

- Au Pr. NACRO H. Bismarck, notre directeur de mémoire pour son esprit critique qui a jalonné les grandes parties de ce mémoire. Il a consacré son temps pour ce travail malgré ses multiples occupations ;
- A Tout le corps enseignant de l'IDR pour nous avoir assuré une formation de qualité ;
- Au Dr. GNANKAMBARY Zacharia, chercheur à l'INERA/Kamboinsé, notre maître de stage pour l'encadrement qu'il nous a assuré et aussi pour son soutien matériel ;
- Au Dr. BAYALA Jules, chercheur au Département Production Forestière de l'INERA (DPF), notre co-maître de stage, pour nous avoir assuré un encadrement scientifique efficace et facilité certaines activités sur le terrain ;
- Au Dr ILSTEDT Ulrick de l'Université Suédoise des Sciences Agricoles (SLU) de Umeå en Suède, pour nous avoir octroyé un soutien financier ;
- Au Pr. SEDOGO P. Michel, chercheur à l'INERA/Kamboinsé pour nous avoir accepté dans ce laboratoire ;
- Aux MM: ZOUGRANA Apollinaire, RAMDE Martin, KABORE Jean-Paul, OUEDRAOGO Alain, DOUAMBA Gérard, ainsi qu'à Mme OUEDRAOGO Antoinette et, qui nous ont assisté pendant les différentes manipulations en laboratoire.
- A M. OUANDAOGO Noufou responsable technique au laboratoire Sol-Eau-Plante de Kamboinsé, pour ses conseils lors des analyses de laboratoire ;
- A M. MOYENGA Momini pour son assistance particulière lors des analyses de laboratoire et surtout son apport à la réalisation du fractionnement du phosphore ;
- A M. BAZIE Hugues pour son assistance lors des expérimentations sur le terrain et ses conseils en tant qu'ainé ;

- A Mlle NARE Alice pour son assistance au cours du test respirométrique ;
- Aux camarades stagiaires de Kamboinsé (POUYA Mathias, ZONGO Nongma et SANON Basirou) pour le soutien qu'ils nous ont apporté pour la réalisation de ce mémoire ;
- Aux nombreux amis de Bobo dont je ne pourrai citer tous les noms ;
- A la famille SENOU à Bobo pour son soutien lors de notre séjour à Bobo ;

A toute ma famille et à tous ceux qui m'ont toujours soutenu durant mon parcours scolaire et académique.

MENTION BIEN

RESUME

Dans le contexte actuel de dégradation continue des sols et de coût exorbitant des intrants, les parcs agroforestiers représentent dans la plupart des espaces agricoles du Burkina Faso une alternative à la dégradation du sol. Dans la zone soudanienne et plus précisément dans le département de Saponé ce système est très répandu et les espèces dominantes sont *Vitellaria paradoxa* (karité) et *Parkia biglobosa* (néré). La présente étude a été conduite dans le but d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale et du houppier du karité et du néré sur les performances du sorgho, les fractions du phosphore (P) et l'activité des microorganismes du sol. Pour ce faire, une expérimentation au champ a été menée dans le parc agroforestier de Bonogo (Saponé). Le dispositif expérimental utilisé est un carré latin avec 4 traitements en 4 répétitions. Les traitements sont constitués d'un apport d'engrais minéraux : i) apport d'azote (TN) sous forme d'urée à la dose de 50 kg N ha^{-1} ; ii) apport de phosphore (TP) sous forme de TSP à la dose de 17 kg P ha^{-1} ; iii) apport de N+P (TNP) et iv) sans apport (control=T0). Après les récoltes, des échantillons composites de sol ont été prélevés et soumis à différentes analyses.

Les rendements grain du sorgho obtenus sont de 452 ± 200 et 411 ± 203 respectivement sous le karité et le néré. Les meilleurs rendements grain ont été obtenus avec le traitement TN avec $524 \pm 218,3 \text{ kg ha}^{-1}$ et $599 \pm 218,3 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivement sous le karité et le néré. Le dosage du P total, P-Bray et P-Olsen n'a indiqué aucune différence significative sous et hors houppier des arbres par contre les teneurs en P-Olsen ont été significativement ($P < 0,001$) supérieures sous le karité en comparaison à celles obtenues sous le néré. Les traitements (TP et TNP) ont occasionné une augmentation des teneurs du P total et du P assimilable par rapport au contrôle (T0). Les teneurs des différentes fractions du P ont été plus élevées sous les houppiers que hors houppiers. Quantitativement, la fraction P-résine a été plus faible que celle de la fraction P-NaOH donnant l'ordre suivant: P-résine < P-NaHCO₃ < P-HCl < P-NaOH.

L'activité des microorganismes, évaluée à travers la respiration du sol, a été réalisée en laboratoire par incubation d'échantillons de sol. Pour ce qui concerne la limitation de N et P à la respiration microbienne du sol, il est ressorti qu'un ou deux pics initiaux ont été observés après addition de C+P et/ou N. L'addition de C+N a entraîné un flux initial de CO₂ plus important que l'addition de C+P, indiquant ainsi que dans ces sols l'azote (N) limite plus la vitesse initiale de respiration microbienne. Par ailleurs, les résultats ont montré que les éléments nutritifs sont plus disponibles sous les houppiers que hors houppiers.

Mots clés : Parc agroforestier, respiration microbienne, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, éléments militants.

ABSTRACT

In the context of continuous soil degradation and the exorbitant cost of inputs, agroforestry parkland represents in most agricultural landscapes of Burkina an alternative to soil degradation. In the Sudanese zone, specifically in the department of Saponé, this system is widespread and *Vitellaria paradoxa* (karité) and *Parkia biglobosa* (nééré) are the main tree species. The aim of the present study was to assess the effect of mineral fertilizers and the crown of karité and nééré on sorghum performances, soil phosphorus (P) fractions content and soil microorganism's activity. The fieldwork was carried out in parkland of Bonogo (Saponé). The experimental design is a Latin square with 4 treatments and 4 replicates, placed under the tree crowns and another treatment set up outside the tree crown. The treatments are: i) nitrogen input as urea at the rate of 50 N kg ha⁻¹ (TN); ii) application of phosphorus as TSP at the rate of 17 P kg ha⁻¹ (TP); iii) input of both N+P (TNP) and iv) without fertiliser input (control, T0). The treatment set up out of the tree crown is without any fertiliser application (referred to as absolute control).

After sorghum harvest, soils were sampled for the different analyses. Sorghum grain yield was 452±200 and 411±203 kg ha⁻¹ respectively under the karité and nééré. The best grain yield is achieved with TN treatment with 524± 300 ha kg⁻¹ and 599± 211 kg ha⁻¹ under the karité and the nééré, respectively. The content in the total P, P-Bray and P-Olsen doesn't indicate significant difference under and outside the tree crown, although the contents are higher under the trees. On the other hand, P-Olsen is significantly higher under the karité than under the nééré. TSP application (TP and TNP) increase P-Total and P-available content compare with the control (T0). The contents of the different fractions of the P are higher under the tree crown than outside the crown. Quantitatively, the P-membrane fraction is the lowest, while the P-NaOH fraction is the most important. The contents in P of the different fractions are ranked from the lowest to the highest: P-membrane <P-NaHCO₃ <P-HCl <P-NaOH.

Microorganism's activity, estimated through soil respiration, has been conducted in the laboratory by incubating soil sample. Concerning the limitation of P and N to soil microbial respiration, one or two peaks are observed after addition of C+ P and/or N. The addition of C+N leads to a more important CO₂ flux than the addition of C+P, indicating that in these soils, N limits the initial soil microbial respiration rate. Another, the results shows that the nutrients are more available under than outside tree crown.

Keywords: Nitrogen; soil phosphorus fractionation; *Parkia biglobosa*; microbial respiration; sorghum; *Vitellaria paradoxa*.

INTRODUCTION GENERALE

En zone semi-aride de l'Afrique de nombreux facteurs contribuent à la faible performance des systèmes de production agricole. Parmi ces facteurs on peut citer la baisse de la fertilité du sol, la mauvaise répartition des pluies et la faible utilisation des engrais minéraux et organiques (Breman et De Wit, 1983 cité par Bationo et *al.*, 2007). Par ailleurs, le raccourcissement de la durée des jachères, le surpâturage, la surexploitation des ressources en bois, l'érosion et plus globalement le changement climatique, contribuent à la baisse de la fertilité du sol et par conséquent aboutissent à une production non durable (Bationo et *al.*, 2008). Cette forte pression sur les ressources, du fait de l'intensification de l'agriculture, entraîne toujours une baisse du niveau de fertilité du sol (Sedogo, 1981 et 1993).

La dégradation de la fertilité du sol est l'une des contraintes majeure à la production céréalière en Afrique Sub-saharienne. Cette dégradation du sol est largement associée à la désertification de la terre de culture. En Afrique Sub-saharienne la fertilité du sol est aussi associée à l'épuisement de la fertilité du sol (principalement la teneur en azote, en phosphore et en matière organique), qui est la menace majeure à la sécurité alimentaire (Bationo et *al.* 2004). En effet, dans la zone soudano sahélienne, l'azote (N) et le phosphore (P) sont les deux principaux éléments limitant de la production, tandis que le faible taux de matières organiques est à l'origine de la mauvaise structure et du faible taux de rétention d'eau (Kessler et Geerling, 1994). Stoorvogel et *al.*, (1993) mentionnent qu'au Burkina Faso, les estimations effectuées en 1983 montrent que sur près de 6,7 millions d'hectares de terres cultivées, les pertes totales d'éléments minéraux étaient estimées à 95 000 tonnes de N, 28 000 tonnes de P₂O₅ et 79 000 tonnes de K₂O, soit l'équivalent de 80 milliards de FCFA d'engrais NPK.

Ainsi, pour améliorer les rendements des cultures et assurer une production agricole durable, les producteurs ont recours aux engrais minéraux. Avec la libéralisation du commerce imposée par le Programme d'Ajustement Structurel, le coût des engrais minéraux a augmenté à un niveau inaccessible pour les petits paysans. Dans cette situation, comment augmenter et maintenir les rendements des cultures afin de faire face aux besoins d'une population sans cesse croissante. Ainsi, le maintien ou l'amélioration de la fertilité du sol devient l'issue majeure pour la recherche et la production agricoles. Mais cette recherche doit être axée sur les pratiques accessibles par les paysans. Pour faire face à une telle situation, l'agroforesterie peut être une alternative pour la restauration de la fertilité des sols de même qu'une augmentation et un maintien de la production (Bationo et *al.* 2004). La capacité de n'importe quel système

agroforestier à améliorer le cycle des éléments nutritifs dépend essentiellement des paramètres tels que la faune du sol, les conditions environnementales (température, humidité et l'aération) et des facteurs de gestion (Bationo et al. 2004). Les changements climatiques induits par la présence des arbres favorisent l'activité biologique. En effet, plusieurs études ont montré que la teneur en matière organique est plus importante sous le houppier des arbres qu'en dehors (Bayala et al. 2002 ; Gnankambary, 2008). Les effets positifs des arbres sur la fertilité des sols ont été démontrés par diverses études. En effet, Bayala et al. (2003) ont rapporté qu'une utilisation des émondes issues de la taille de *Vitellaria paradoxa* Geartn.C.F. comme litière a permis d'augmenter le rendement grain du mil de 120% et les matières sèches de 43% dans le plateau central au Burkina Faso.

Les sols tropicaux ont généralement un niveau de régénération de la fertilité assez bas, et le phosphore est souvent fortement fixé par l'aluminium et le fer du sol le rendant difficilement accessible aux plantes et aux microorganismes. Des études ont été réalisées par divers auteurs afin d'estimer la limitation des substances nutritives à l'activité des microorganismes (Nordgren, 1992 ; Ilstedt, 2003 ; 2005 ; Teklay et al., 2006), mais très peu d'informations existent concernant les effets des ligneux et des fertilisants inorganiques sur l'activité microbienne du sol (Gnankambary et al., 2008).

En présence d'énergie (source de carbone) disponible, l'activité des microorganismes peut être limitée par le déficit en éléments minéraux majeurs (N, P, K). Dans un écosystème agroforestier où la teneur en matière organique est élevée sous les arbres, ce déficit peut être moindre. Ainsi une meilleure compréhension des interactions entre les espèces ligneuses et les substances nutritives, plus précisément leurs impacts sur les cultures et sur l'activité microbienne, permettra d'améliorer les bases théoriques et l'application pratique des stratégies de gestion du sol dans les systèmes parcs agroforestiers. C'est dans ce cadre que notre étude a été conduite autour du thème : « *Influence du phosphore, de l'azote et du houppier sur les rendements du sorgho, les fractions du phosphore et l'activité des microorganismes du sol d'un parc agroforestier de la zone soudanienne du Burkina Faso* ».

L'objectif général de cette étude était d'évaluer les performances du sorgho sous les houppiers du karité et du néré et le potentiel de la respiration des microorganismes du sol lorsque ceux-ci sont associés avec un apport de carbone en combinaison avec l'azote et/ou le phosphore.

Les objectifs spécifiques sont :

- évaluer l'effet du houppier du karité et du néré sur le rendement du sorgho;
- estimer l'influence du karité et du néré sur la respiration des microorganismes et sur la productivité du sorgho;
- d'évaluer la disponibilité de l'azote et du phosphore dans le parc agroforestier;
- de déterminer la relation entre la disponibilité du phosphore et de l'azote sur l'activité microbienne sous et hors du houppier des arbres.

Cette étude est réalisée autour des hypothèses suivantes :

1) Le rendement du sorgho est plus élevé sous le houppier des ligneux que hors des houppiers du fait de la plus grande fertilité sous les arbres.

2) En présence de source d'énergie (carbone) la respiration microbienne est limitée par le P et N du fait de la pauvreté des sols tropicaux en ces éléments. Cette activité microbienne est plus intense sous que hors des ligneux du fait du taux élevé de matière organique sous les ligneux.

3) L'application des engrais minéraux au champ augmente la respiration des microorganismes du sol.

Le présent mémoire s'articule en trois chapitres. Le premier est consacré à la synthèse bibliographique, le second présente les matériels et méthodes d'étude et enfin le troisième chapitre porte sur les résultats et la discussion.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur l'agroforesterie

Selon Breman et Kessler (1995), l'agroforesterie est une option d'un intérêt certain pour les pays en développement, au regard de la prise de conscience accrue des problèmes écologiques soulevés par les monocultures ainsi que de la pénurie d'aliments et de combustibles ligneux dont souffre un grand nombre d'entre eux.

Dans les régions semi-arides d'Afrique de l'Ouest, la plupart des agriculteurs considèrent les arbres comme une partie intégrante du système de culture ; de ce fait ils ont maintenu au cours des siècles le système traditionnel d'utilisation des terres, celui des «parcs agroforestiers» où des arbres parsèment les champs (Boffa, 2000). Les arbres disséminés jouent une fonction écologique fondamentale pour la conservation du sol et de l'eau et pour la protection de l'environnement.

L'agroforesterie est un trait commun des paysages de la zone Soudano-Sahélienne de l'Afrique depuis plusieurs générations, cela du fait des nombreux avantages de ce système qui sont entre autre le rehaussement de la fertilité du sol, l'amélioration de l'utilisation de l'eau par la limitation des ruissellements, de l'évaporation et du drainage.

1.1 Définition

L'agroforesterie s'est imposée comme science vers la fin des années soixante-dix. L'une des premières définitions la décrivait comme un système de gestion durable des terres (King et Chandler, 1978). Cette définition fut complétée plus tard par la précision que la raison justifiant le développement de l'agroforesterie était d'obtenir une production plus élevée, plus diversifiée et/ou plus durable que normalement réalisable par d'autres modes d'utilisation des terres, grâce à une exploitation combinée des ressources forestières, agricoles et/ou d'élevage (Lundgren, 1982). Ainsi, l'ICRAF retient que « l'agroforesterie est un terme collectif pour des systèmes et technologies d'utilisation des terres où des ligneux pérennes (arbre, arbustes, arbrisseaux, sous-arbrisseaux et par assimilation palmier et bambou) sont cultivés délibérément sur des terrains utilisés par ailleurs pour la culture et/ou l'élevage dans un arrangement spatial ou temporel, et où existe des interactions à la fois écologiques et économiques entre les ligneux

et les autres composantes du système ». Même si l'on admet actuellement que les systèmes agroforestiers ne sont pas durables a priori, l'agroforesterie continue d'être considérée comme "la technologie idéale de développement durable, parce que fournissant le combustible ligneux, améliorant la productivité agricole, facilitant la survie des petites exploitations et générant l'emploi et le revenu" (Breman et Kessler, 1991).

Une perspective de production agricole accrue et/ou plus durable est particulièrement bénéfique pour les pays en développement qui n'ont pas la possibilité d'importer les intrants pour augmenter et améliorer leurs récoltes. En tant que "technologie agricole durable à faible apport externe", l'agroforesterie pourrait constituer un élément de solution au problème. Des résultats intéressants ont été obtenus dans les régions tropicales humides, notamment dans les cultures en couloirs avec des légumineuses telles que *Leucaena leucocephala* (Kang, 1993).

1.2 Les interactions entre arbres et cultures dans les systèmes agroforestiers



Dans un système agroforestier, la présence de l'arbre peut présenter des effets positifs comme négatifs. En dépit de quelques compétitions existantes entre l'arbre et la culture pour certains éléments (substances nutritives, lumière, etc.), l'élément ligneux joue un rôle important dans la conservation et la régénération des sols ainsi que la mise à la disposition des cultures, les éléments minéraux indispensables à la croissance et au rendement. En effet, Alexandre (2002) souligne que si le paysan maintient des arbres qui réduisent le rendement des cultures, c'est qu'il en tire un certain avantage.

La compétition pour l'eau entre arbres (Berger et *al.* 1996) et entre arbre et culture a très souvent été évoquée dans les modèles de fonctionnement et d'aménagement des savanes. Pourtant, de nombreux auteurs ont montré que dans les milieux semi-arides les arbres favorisent non seulement les facteurs microclimatiques (Bernhard-Reversat, 1982) mais augmentent aussi la diversité et la production (Grouzis et *al.*, 1998). On peut donc considérer que les arbres augmentent la production des cultures et des herbages à travers les pratiques agroforestières et sylvo-pastorales (Kessler et Breman, 1991).

Le rôle de l'arbre dans cette relation est varié mais son apport potentiel réside dans l'amélioration de la fertilité du sol. Grouzis et *al.* (1998), démontrent que la matière organique est de 2 à 5 fois plus élevée pour l'horizon de surface (0 à 10 cm) et 1,5 fois, pour l'horizon plus profond (50 cm), sous les ligneux que dans la zone située hors du houppier. Les teneurs en N

sont de même deux (2) fois plus élevées sous la couronne des arbres pour l'horizon de surface. Young (1986) (cité par Bazié, 2006) constate que ces poches de fertilité constatées dans l'environnement immédiat des arbres sont dues à l'amélioration des processus biologiques qui accompagnent le transfert vers les sols des éléments nutritifs, accumulés dans les arbres. Ces éléments étant libérés par la décomposition de la litière, l'exsudation et la décomposition des racines et par le lessivage des éléments nutritifs déposés sur les feuilles.

Le taux d'humidité sous le houppier est plus important, pourtant la quantité de précipitations arrivant au sol est plus faible de 13 % par rapport à l'extérieur en raison de l'interception par le feuillage de l'arbre. Nizinski et *al.*, (1992) attribuent ce constat à l'écoulement le long du tronc, processus aboutissant à une meilleure infiltration. Ainsi, le sol reste sensiblement plus humide et présente par ailleurs un dessèchement ascendant. Ce microclimat sous les ligneux s'explique par une réduction de l'évapotranspiration sous couronne et surtout de la compensation partielle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la transpiration de l'arbre et d'un fonctionnement inverse des racines superficielles en périodes sèches qui en émettent dans le milieu.

L'ombrage de l'arbre diffuse et mobile gêne peu les cultures et protège ainsi le sol et les cultures du rayonnement direct d'où un amoindrissement des températures sous la couronne par rapport à l'extérieur. Grouzis et *al* (1998) montrent qu'au moment du maximum de la température ambiante un écart de 6 °C a pu être observé entre les deux biotopes. De même, un écart de 5°C a pu être enregistré entre la température du sol à 10 cm de profondeur sous et hors couvert ligneux.

II Généralité sur *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex G. Don

2.1 Botanique

L'un des arbres caractéristiques des parcs arborés des champs de culture en Afrique soudanienne, le néré est un grand arbre de la famille des Mimosaceae. C'est une légumineuse ne fixant pas l'azote atmosphérique. L'arbre atteint 15 à 20 m de hauteur avec une large cime étalée en parasol. Le tronc, court et robuste avec un diamètre d'environ 1,6 m, est recouvert d'une écorce grisâtre et striée, ce qui donne un aspect plus ou moins écaillé à l'arbre adulte (Bonkougou, 1987, Arbonnier, 2004). Les feuilles vert foncé, biparipennées avec 14 à 30 paires de pinnules plus ou moins opposées avec chacune 50 à 70 paires de folioles de 1 à 1,5

cm de long et 3 mm de large ; les jeunes arbres et les rejets de souches ont des feuilles plus grandes (Maydell, 1992).

La floraison a lieu au cours de la partie chaude de la saison sèche (février-mars) sur des arbres entièrement ou partiellement defeuillés. Les inflorescences en capitules sphériques de 4 à 5cm, ont des pédoncules longs de 10 à 30 cm qui pendent à l'extrémité des branches de l'arbre.

La fructification de l'arbre commence à l'âge de 8 ou 10 ans, mais il ne serait encore qu'un petit arbre; il n'atteindrait sa taille définitive (maximum) qu'entre 30 et 50 ans (Bonkougou, 1987). Les fruits sont des gousses longues de 25 à 30 cm, larges de 15 à 20 mm, aplaties, brun foncé à maturité; contenant des graines noires aplaties semblables à de grosses lentilles, entourées d'une pulpe farineuse jaune à maturité qui remplit toute la gousse.

La production varierait entre 25 et 100 kg de gousses par arbre, avec des proportions suivantes par fruits: 43% d'exocarpe, 39% de pulpe, et 18% de graines. Chevalier (1910), cité par Bonkougou (1987) notait que les productions sont très variables d'un arbre à l'autre et seraient beaucoup plus élevées dans les terrains cultivés que dans les savanes ou les jachères.

2.2 Ecologie

Arbre souvent dominant dans la zone soudanienne et des forêts sèches, le territoire du néré s'étend de la savane soudanienne à la savane Guinéenne. Il se répand du Sénégal au Cameroun et s'étend jusqu'au sudan. Il est cultivé en Amérique tropicale et aux Indes occidentales (Arbonnier, 2004). Les peuplements de néré se situent presque entièrement dans une bande entre 5°N et 15°N, et s'étendent en longitude depuis la côte atlantique en Afrique de l'Ouest jusqu'en Ouganda en Afrique de l'Est, soit approximativement entre le 18^{ème} degré de longitude Ouest et le 30^{ème} degré de longitude Est (Bonkougou, 1987).

2.3 Fonction et usage

La pulpe fraîche est douce (jusqu'à 60% de sucre) et comestible. Lorsqu'elle est fermentée, elle donne une boisson rafraichissante. Les graines riches en matière grasse et en protéines sont transformées en un fromage végétal de goût relevé (*soumbala*) et utilisé comme assaisonnement des sauces (Maydell, 1992). Il fait l'objet d'un commerce local surtout au Burkina et au Mali. La pulpe jaune produit une farine aux multiples usages. Les feuilles s'utilisent pour soigner les brûlures et les hémorroïdes après avoir été débarrassées du pétiole. L'écorce entre dans divers remèdes par exemple contre les coliques violentes accompagnées de

vomissements, contre la diarrhée, la stérilité, les bronchites, etc. (Maydell, 1992). La grande valeur alimentaire du fruit du néré est aujourd'hui confirmée par diverses analyses chimiques qui montrent que la pulpe est riche en saccharose et constitue un excellent aliment énergétique, et que la graine est riche en protides et lipides (Bonkougou, 1987).

III. Généralité sur *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f.

3.1 Botanique

Arbre spontané de la zone soudano-sahélienne d'Afrique, il a été décrit pour la première fois par le célèbre explorateur Mungo Park au cours d'une de ses traversées en 1796 dans la région de Ségou au Mali. Ligneux de la famille des Sapotaceae, l'arbre fut d'abord dénommé *Vitellaria paradoxa* en 1805 par Gaertner, puis *Bassia parkii* en 1837 par G. Don. En 1865, Kotschy en fit un genre particulier sous le nom de *Butyrospermum*, en référence au fait que les graines (amandes) contiennent du beurre (Bonkougou, 1987). La dénomination *Vitellaria paradoxa* est la plus vulgarisée et utilisée de nos jours.

C'est un arbre à feuilles caduques de 15 m de haut environ, atteignant rarement 25 m. Il est trapu avec une cime sphérique ou hémisphérique (Maydell, 1992). Le port général de l'arbre est variable, et peut se ramener à quelques types principaux qui sont le port en « boule », le port en « balai ou parasol » et le port intermédiaire « semi dressé » (Bonkougou, 1987). Les feuilles sont simples, entières et allongées. Le limbe est long de 12 à 15cm et large de 4 à 7cm avec un bord ondulé. Le pétiole est long de 5 à 15cm. Les jeunes feuilles sont plus ou moins rougeâtre et finement pubescentes, mais deviennent vert foncé et plus ou moins glabre avec l'âge et selon les variétés. L'écorce est particulièrement épaisse, liégeuse, profondément crevassée en plaques rectangulaires. De même que les pétioles et rameaux blessés, la tranche rose pâle exsude un latex blanc (Maydell, 1992).

3.2 Ecologie

Espèce caractéristique de la zone soudanienne (sub-soudanienne, soudano-sahélien, et soudano-guinéen), le karité est présent dans une bande qui s'étend de la haute Gambie au haut du Nil, du 16^{ème} degré de longitude Ouest au 34^{ème} degré de longitude Est. Il préfère les sols argileux secs et sableux avec une bonne couche d'humus, il évite toutes les stations marécageuses, soumises aux inondations prolongées, les sols argileux humides et lourds ou les cours d'eau. Un sol riche en humus et moyennement humide accélère sa croissance (Maydell,

1992, Bonkougou, 1987). Au Burkina Faso, le karité est présent sur tout le territoire à l'exception de la partie sahélienne au Nord du 14° Nord (Tiquet, 1985).

3.3 Fonction et usage

Le produit principal du karité est son beurre, extrait de l'amande, qui joue un rôle économique important dans plusieurs régions. La mise en valeur de cette ressource varie beaucoup et reste par endroit extensive. Ce beurre s'emploie localement dans la cuisine, la médecine en particulier pour les pommades ou comme cosmétique. Les extraits de racines sont utilisés pour des bains des nourrissons et ont des vertus curatives. Les écorces, les racines de même que les feuilles ont encore d'autres emplois curatifs (Maydell, 1992 ; Arbonnier, 2004 ; Bayala et al. 2005).

IV. Composition chimique des feuilles du karité et du néré

La composition chimique des feuilles des deux types de ligneux constituant le parc agricole de Saponé, est résumée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Concentration en nutriments, lignine, cellulose et phénol des feuilles de *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* de Saponé au Burkina Faso

Composants (%±SE)	Feuilles de karité	Feuilles de néré
C	48,44± 0,5	50,39± 0,21
N	1,56± 0,04	2,20± 0,1
P	0,18± 0,01	0,24± 0,01
K	0,43± 0,01	0,22± 0,02
Mg	0,11± 0,01	0,12± 0,01
Ca	1,63± 0,14	2,36± 0,22
Lignine	15,74± 4,28	20,78± 1,3
Cellulose	18,99± 0,66	16,26± 0,8
polyPhénol	5,91± 0,07	5,51± 0,28

Source (Bayala et al., 2005)

V. Biologie du sol

La population du sol est nombreuse, variée et en équilibre. En effet, dans un mètre carré de sol couvert en permanence d'herbe, vivent en moyenne 260 millions d'êtres vivants (Gobat *et al.* 2003). Soltner (1995), montre que le poids de matière vivante à l'hectare qui serait de l'ordre de 2,5 tonnes, peut varier selon l'importance des apports organiques, aliments des animaux et de la flore du sol. Ces organismes se distinguent en plusieurs groupes selon leurs fonctionnalités. Ainsi Brussaard (1998), identifie quatre (4) groupes qui sont :

- Les micro-organismes rhizosphériques. Ce sont les mycorhizes, les bactéries fixatrices d'azote atmosphérique, les champignons pathogènes des plantes, les nématodes parasites.
- Les organismes décomposeurs ou transformateurs de la litière. Ce groupe réunit la majorité de la mésofaune ainsi que les gros arthropodes saprophages de litière et les larves d'insectes au régime saprophage.
- Les ingénieurs de l'écosystème. Ce groupe est formé par les termites et vers de terre, responsable des galeries et de l'apport d'éléments profonds en surface et inversement.
- Les microarthropodes. Ils sont formés par les invertébrés de petite taille représentés principalement par les protozoaires et les nématodes.

Pieri (1989), distingue classiquement la macrofaune (vers, termites, larves d'insectes, etc.), la mésofaune (acariens, symphyles, collemboles, etc.), et les microorganismes (bactéries, les actinomycètes, champignons). Parmi les micro-arthropodes, les acariens et les collemboles sont les plus abondants et jouent probablement le rôle le plus important dans la décomposition de la litière.

Les habitants du sol ainsi énumérés assurent un recyclage de la matière organique. Ils décomposent la matière organique, libérant les éléments minéraux nutritifs nécessaires au développement des racines et à la croissance des végétaux (Gobat *et al.* 2003).

La macrofaune et la mésofaune transforment progressivement les résidus végétaux restitués au sol. Elles les consomment pour leurs besoins trophiques et libèrent d'importantes quantités d'excréta qui s'intègrent au stock de matière organique humifiée stable des sols. Ces transformations relèvent du processus d' « humification ».

Les microorganismes utilisent la matière organique « libre » (cadavres de la macrofaune et mésofaune, résidus végétaux de petites tailles). Il faut souligner que la phase ultime de la décomposition est due aux micro-organismes et non aux invertébrés.

Le rôle de la microflore dans la décomposition est démontré par l'importante perte de poids de la litière en l'absence de microfaune. L'activité microbienne est maximale dans la litière fraîche. Lorsque les substances facilement dégradables sont utilisées, cette activité décroît et devient plus faible lorsque la litière est âgée de plusieurs semaines (Bernhard-Reversat, 1982).

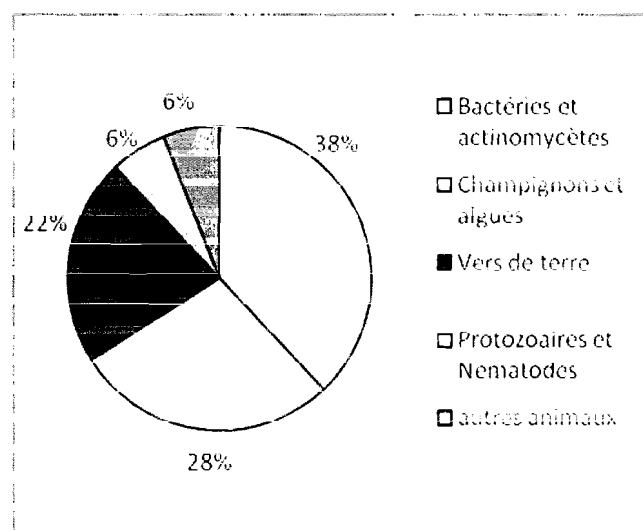


Figure 1 : composition microbienne du sol selon Gobat et *al.*, 2003

VI. Généralités sur le phosphore et l'azote

6.1 Le phosphore

Le phosphore (P) est considéré, après l'azote, comme l'élément nutritif le plus limitant des rendements agricoles dans la majorité des sols tropicaux d'Afrique. La faible disponibilité du phosphore dans la plupart des sols des savanes Ouest Africaine est le problème majeur à la production des cultures (Nwoke et *al.*, 2003).

Le phosphore joue un grand nombre de rôle dans la nature. Il est l'un des nutriments primaires obligatoires à la production agricole. Les composés phosphatés interviennent dans l'accumulation et la libération de l'énergie indispensable au métabolisme cellulaire, à la formation de la graine, au développement du système racinaire et à la maturation des cultures

(Soltner, 1994). En plus de ce rôle lié au végétal, le P permet l'accroissement de la biomasse et de l'activité des microorganismes (Sawadogo, 2002).

Le phosphore est un élément naturellement présent dans l'environnement, les organismes vivants, l'eau et dans les sols. Dans la nature il est généralement présent sous forme organique et minérale (Soltner, 1994). Selon la nature du sol (acide ou basique) les ions phosphates dans la solution du sol peuvent être sous forme H_2PO_4^- (condition acide) ou sous forme de HPO_4^{2-} (condition alcaline) (Demers, 2008). Le phosphore est absorbé par la plante pendant la phase de croissance végétative et sera stocké pendant la reproduction par la suite dans les graines (Marschner, 1995). La carence des cultures en P se traduit par un retard de croissance et une chlorose des feuilles. Barber (1995) suggère pour une croissance optimale des cultures, une concentration d'environ 0,2 ppm de phosphore dans la solution du sol.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sont pour la plupart très déficient en phosphore. En effet, Lompo et *al.* (2008), constatent que les teneurs en P total dans les sols non cultivés sont faibles (autour de 200mg kg^{-1}). Les teneurs en P assimilable se situant autour de 1,7 et $5,6\text{ mg kg}^{-1}$.

Plusieurs facteurs expliquent la faiblesse des teneurs en P et sa disponibilité pour les plantes. Le pH, la nature des constituants du sol, la capacité d'échange cationique (CEC), le fer (Fe), l'aluminium (Al), le calcium échangeable (Ca), le magnésium (Mg) et la teneur en matière organique (MO) sont, entre autres, les éléments influençant la disponibilité du P dans les sols ferrugineux tropicaux (Pieri, 1989 ; Soltner, 1994). Sedogo en 1981 attribue cette carence des sols ferrugineux tropicaux en P à la nature du substratum géologique et son évolution au cours de la formation du sol. Lompo et *al.*, (2008) notaient que la déficience des sols des régions arides et semi-arides en P était liée à la pauvreté du matériau originel en minéraux de réserve et également à leur faible teneur en P organique.

Ainsi, pour augmenter le niveau de fertilité du P des sols afin d'accroître la production agricole, un apport de phosphore sous forme d'engrais minéral (hydrosoluble) est indispensable (Kolawole et *al.*, 2007). Cependant cette fertilisation minérale doit être effectuée en tenant compte d'un certain nombre de facteurs (le type de sol, la culture, l'eau, les conditions climatiques) (FAO, 1984 et 1995), afin d'en réduire les risques de pertes qui peuvent être considérables (Demers, 2008).

La mise en évidence des différentes fractions du P dans le sol peut être effectuée en laboratoire par plusieurs méthodes d'extraction. Les méthodes classiques fréquemment utilisées sont celles permettant l'extraction du P disponible aux plantes. Ce sont la méthode de Bray, la méthode d'Olsen et Mehlich 3 (Indiati et al., 1999). Des méthodes fondées sur l'extraction sélective des formes solubles et des formes fixées sur les constituants du sol sont utilisées pour l'estimation du P inorganique et organique du sol. Les méthodes de Chang et Jackson (1957) et Hedley et al., (1982) en sont deux de ces méthodes. La méthode de fractionnement du P élaboré par Hedley et al., (1982) a pour but de séparer les formes inorganiques et organiques du P en fractions variant selon leur disponibilité aux plantes. Elle permet ainsi de quantifier le P inorganique labile, le P inorganique lié au Ca, au Fe et à l'Al, de même que le P organique sous des formes plus stables (Cross et al., 1995; Demers, 2008).

6.2 L'azote

L'azote est un facteur important de croissance et de rendement des cultures (Bationo et al., 2008). Il est indispensable à la croissance et au développement des plantes du fait de son rôle dans la synthèse des protéines et des exigences importantes des plantes en azote comparativement aux autres éléments (Fosu et al., 2008).

Dans le sol, l'azote existe sous la forme minérale et organique. La composante organique est la plus abondante et est lentement minéralisée par les bactéries en ammonium inorganique et en nitrate qui constituent les formes utilisables par les plantes (Fosu, 2008). Les ions NH_4^+ sont en majorité fixés dans les interstices des couches argileuses, réduisant leur disponibilité. Un apport d'engrais minéral est donc indispensable pour soutenir la production. Le sulfate d'ammonium ($[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$) du fait de son action acidifiant est remplacé par l'urée vulgarisé dans tout le pays (Gros, 1974 cité par Yougbaré, 2008). Sedogo (1981 et 1993) montre qu'un chaulage ou un apport de fumure organique est indispensable pour corriger la baisse de pH engendré par la fertilisation minérale azotée. Cependant Bonzi (2002) indique que la conjugaison de ces deux pratiques (chaulage et fumure organique) active la dégradation de la fertilité azotée du sol accroissant ainsi les pertes pouvant atteindre 70 kg N ha^{-1} .

VII. La respiration du sol

7.1 Définition et généralités

La respiration du sol est la principale voie du flux de carbone de l'écosystème terrestre. Elle a longtemps été considérée comme un processus strictement hétérotrophique, fonction de la température et de l'humidité (Michael et Beverly, 2005).

Derroire et *al.* (2002), montrent que le phénomène de respiration du sol résulte en réalité d'une part de la respiration racinaire (composante autotrophe) et d'autre part de l'activité des organismes décomposeurs de la litière (composante hétérotrophe). La production de gaz carbonique (CO₂) du sol résulte de l'oxydation de la matière organique du sol par les micro-organismes hétérotrophiques et la respiration des racines des plantes (Jensen, 1996). Elle représente le flux majeur dans le cycle global du carbone, et est en grande partie alimentée par les résidus de cultures et plantes auxquels elle est fermement liée. En effet, Li et *al.* (2003), dans une expérimentation sur une plantation et forêt secondaire concluent que l'exclusion des racines, de la litière et la réduction de la biomasse microbienne réduit sensiblement le flux de CO₂ à la surface du sol.

Ce phénomène respiratoire entraîne ainsi la libération de grandes quantités de carbone sous forme de CO₂ durant la décomposition de la litière du sol. Les apports de carbone via la litière et les racines retournent dans l'écosystème et sont principalement contrôlés par la production primaire des plantes (Li et *al.* 2003). Ainsi, ce processus joue un important rôle dans le cycle global du carbone (Siyon et *al.* 2004).

La minéralisation de la matière organique fraîche et réfractaire dépend de la température, des conditions hydriques, de la quantité et de la qualité de la matière organique. La décomposition est contrôlée par les caractéristiques écophysiologicals de la faune du sol, qui reflète l'ajustement des propriétés physiques et chimiques de l'environnement. Tous ces processus conduisent à la libération du CO₂ à travers la surface du sol. Ce processus est défini comme étant la respiration totale du sol (Kutsch et *al.*, 2001).

7.2 Facteurs influençant la respiration du sol

Bien qu'il soit connu que le flux du CO₂ du sol est sensible aux variables environnementales telles que la température du sol, l'humidité, la texture, le pH, le carbone total, et l'azote total (Raich et *al.*, 1992 ; Siyon et *al.*, 2004), la gestion des activités forestières

telle que les feux de brousse et la forme des arbres peut également transformer l'environnement pédologique et affecter largement les flux de CO₂. En effet, ces activités sont la cause de la baisse de l'aération du sol (réduction de la porosité), donc une mauvaise croissance racinaire de même qu'une baisse de l'activité microbienne (Poff, 1996).

L'impact de la température sur le flux du CO₂ a été étudié par plusieurs auteurs. Ainsi Blanke (1996) indique qu'au lever du soleil la respiration du sol qui est de 2,8 mol CO₂ m⁻² s⁻¹ augmente à 8,4 mol CO₂ m⁻² s⁻¹ à 15h. Il a été montré qu'une élévation de la température de 10°C entraîne une augmentation deux fois plus importante de la respiration du sol (Laisné, 2007).

Derroire et *al.* (2002), constatent que les corrélations antérieurement observées entre la teneur en carbone du sol et la respiration, ainsi qu'entre les données cartographiques des arbres et les variations spatiales de la respiration, laissent présager que la respiration est liée à l'apport de matière organique (litière et racines mortes) et donc à la productivité primaire locale. L'importance et la nature du peuplement forestier sont donc des facteurs à considérer. La surface terrière est l'une des variables influant significativement sur la respiration du sol. En effet, plus la surface terrière augmente, plus la densité racinaire est forte et le feuillage dense, donc la litière produite sera plus importante, et par conséquent la respiration est plus intense (Derroire et *al.*, 2002).

En plus de ces facteurs physiques, plusieurs études menées au laboratoire ont montré que l'insuffisance d'éléments minéraux affecte la respiration du sol. Nordgren (1992) remarque que l'analyse de la dégradation du glucose et de l'acide glutamique au laboratoire est plus rapide en présence d'azote et du phosphore. L'addition d'une petite quantité de MgSO₄ (0,32 à 1,6 mg de sulfure/100g de sol) augmente sensiblement le taux d'oxydation du glucose (Stotzky et *al.*, 1961 cité par Nordgren, 1992). Cet auteur rapporte ainsi que l'addition de l'azote et du phosphore en présence de glucose entraîne une augmentation instantanée de la respiration du sol.

La limitation de ces éléments minéraux à la respiration du sol est fonction du type de sol c'est-à-dire de sa composition chimique initiale. Teklay et *al.* (2006) en mesurant la respiration du sol du Sud de l'Ethiopie concluent que l'activité des microorganismes est plus limitée par la disponibilité de l'azote. Dans le cas des sols tropicaux, le phosphore s'est avéré être l'élément le plus indispensable à l'efficacité de l'activité microbienne du sol (Ilstedt et *al.*,

2003; Ilstedt et Singh, 2005, Gnankambary et *al.*, 2008). Ce constat dérive logiquement de la pauvreté en phosphore de la plupart des sols tropicaux (Bationo et *al.*, 2004).

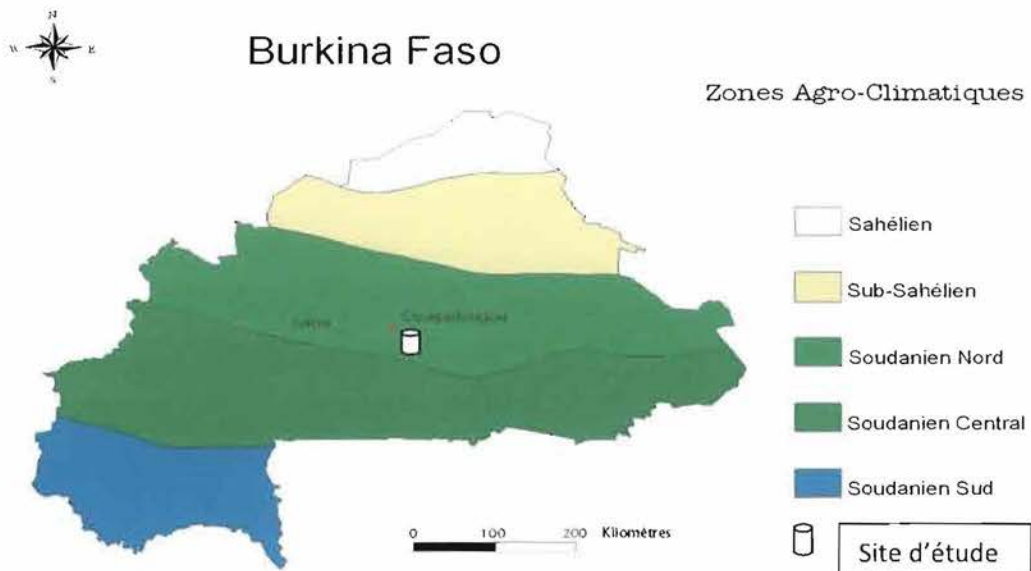
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

I. Description du site d'étude

1.1 Situation géographique

L'étude a été conduite dans un parc agroforestier du village de Bonogo situé dans le département de Saponé (localité située à 35 km au Sud de Ouagadougou) dans la province du Bazèga. Bonogo a une latitude de 12°03' Nord, une longitude de 1°43' Ouest et une altitude de 200m.

Carte 1 : Localisation du site d'étude de Bonogo (Saponé), Burkina Faso
Source : Guinko (1984)



1.2 Climat et végétation

Selon le découpage phytogéographique du Burkina Faso effectué par Guinko (1984), le village de Bonogo est localisé dans la zone Nord Soudanienne (Carte 1). La pluviosité est unimodale avec une moyenne annuelle de 720 mm et est irrégulièrement répartie dans le temps

et dans l'espace. La saison hivernale s'étend sur six (06) mois, de mai à septembre. La répartition mensuelle de la pluviométrie des deux dernières années (2007 et 2008) est indiquée par la figure 2. L'évapotranspiration annuelle (ETP_{penman}) du site est de 1963 mm.

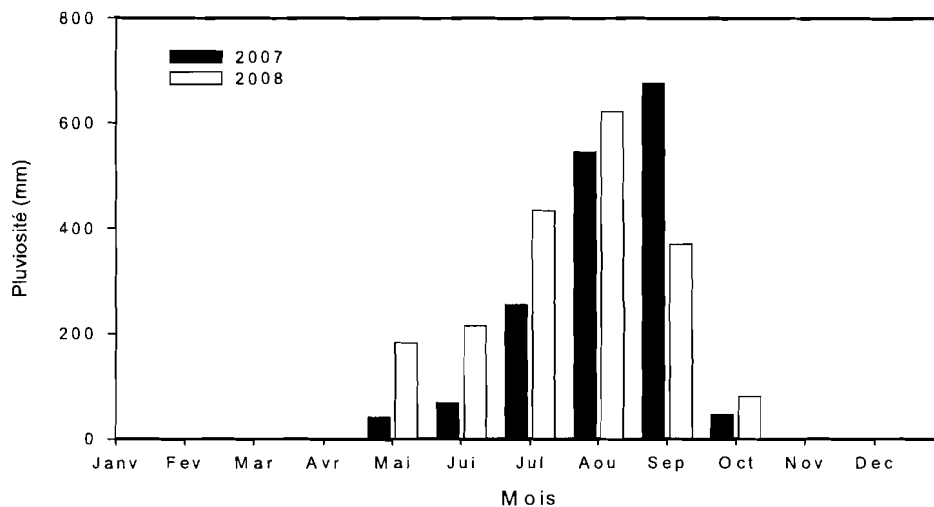


Figure 2: Pluviosité mensuelle à Saponé en 2007 et 2008. Source : Bazié H. (non publiées)

Le régime thermique dans la province du Bazèga est identique à celui du Kadiogo. Les moyennes mensuelles des températures indiquent un maximum de 34,9°C (entre avril et mai) et un minimum de 21,5°C (Sivakumar et Gnoumou, 1987 cité par Bayala et *al.*, 2003).

La description de la végétation du site d'étude a fait ressortir que sur le plan de la composition spécifique de la végétation, 35 espèces, 27 genres et 17 familles ont été recensés sur une aire de 59 ha de champs cultivés (Bayala, 2002). L'espèce dominante est le karité avec une fréquence relative de 58% et une densité de 9 individus à l'hectare. Le néré est la deuxième espèce dominante avec une fréquence relative de 8% et une densité de 1,2 individu par hectare. La strate arbustive est en générale formée de *Piliostigma thonningii* ; *Piliostigma rufescens* ; *Combretum* sp ; *Acacia* sp. et *Guiera senegalensis*. Les herbacées dominant sont le *Loudetia togoensis* ; *Andropogon gayanus* et *Cymbopogon giganteus*.

1.3 Les sols du site d'étude

Selon la classification FAO (1988), la majorité des sols du site de l'étude sont de types ferrugineux tropicaux sur matériaux sableux. Ces sols sont pauvres dans leur ensemble et se caractérisent par un taux de MO variant de 0,6 à 2%, une faible teneur en éléments totaux, une

faible capacité d'échange cationique et un pH moyennement acide (Bunasols, 1997). Ces sols ont une profondeur utile assez faible (60 cm en moyenne) avec des propriétés physiques à une profondeur de 0-15 cm indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : caractéristiques chimiques et physiques du sol de saponé à une profondeur de 0 – 15 cm.

Caractéristique du sol	Proportions
Argile	7%
Limon total	19%
Sable total	74%
Matière organique	0,8%
Azote (N)	0,3 mg kg ⁻¹
Bases échangeables	< 2,5 cmol kg ⁻¹

Source : Bayala et *al.*, 2002

II. Matériel d'étude

2.1 Le matériel végétal

- ✓ Les espèces ligneuses concernées dans cette étude sont le *Parkia biglobosa* et *Vitellaria paradoxa* qui sont les plus dominants dans les parcs agroforestiers de Saponé (Bayala et *al.*, 2002).
- ✓ La spéculiation utilisée est une variété locale de sorgho (*Sorghum bicolor*), semée dans la deuxième quinzaine du mois de juin 2008 à un écartement de 0,8 X 0,4 m sous les 8 arbres sélectionnés.

2.2 Les fertilisants utilisés

Les engrais minéraux utilisés sont : l'urée [(NH₂)₂CO, 46% N] appliqué à la dose de 50 kg ha⁻¹ et le triple superphosphate (TSP, 46% de P₂O₅), appliqué à la dose de 17 kg ha⁻¹.

III. Méthodologie

3.1 Dispositif expérimental

Il est important de noter que notre travail s'insère dans le cadre d'une étude intégrant plusieurs paramètres et traitements. Le dispositif général de l'étude dans lequel notre étude s'insère est présenté sur la figure 3. Le dispositif expérimental est un dispositif en carré latin installé sous le ligneux avec huit (8) traitements et huit (8) répétitions. En plus des parcelles installées sous le houppier des arbres, une parcelle placée hors du houppier a été retenue. Dans notre étude, nous avons retenu quatre (4) traitements et quatre (4) répétitions (chaque arbre représentant une répétition). Au total, nous avons sélectionné huit (08) arbres dont quatre (04) karités et quatre (04) nérés. La sélection des différents arbres s'est faite en collaboration avec les producteurs partenaires.

L'essai a été installé après une projection orthogonale du houppier au sol et la zone d'influence de chaque arbre a été subdivisée en secteurs auxquels ont été attribués les 4 traitements. Des diguettes en terre ont été réalisées pour border chaque parcelle afin d'éviter une quelconque contamination entre les traitements. Les traitements ont consisté en l'application d'engrais minéraux avec quatre (04) niveaux de fertilisation :

- i) Application d'azote sous forme d'urée à la dose de 50 kg ha^{-1} (TN), dosant pour 46% de N,
- ii) Application de phosphore sous forme de TSP à la dose de 17 kg ha^{-1} , dosant pour 46% de P_2O_5 (TP),
- iii) Application combinée d'azote et de phosphore à la dose de 50 kg d'urée et 17 kg de TSP (TNP) (dosant pour 46% de N et 46% de P_2O_5),
- iv) Sans apport de fertilisant (control = T0).

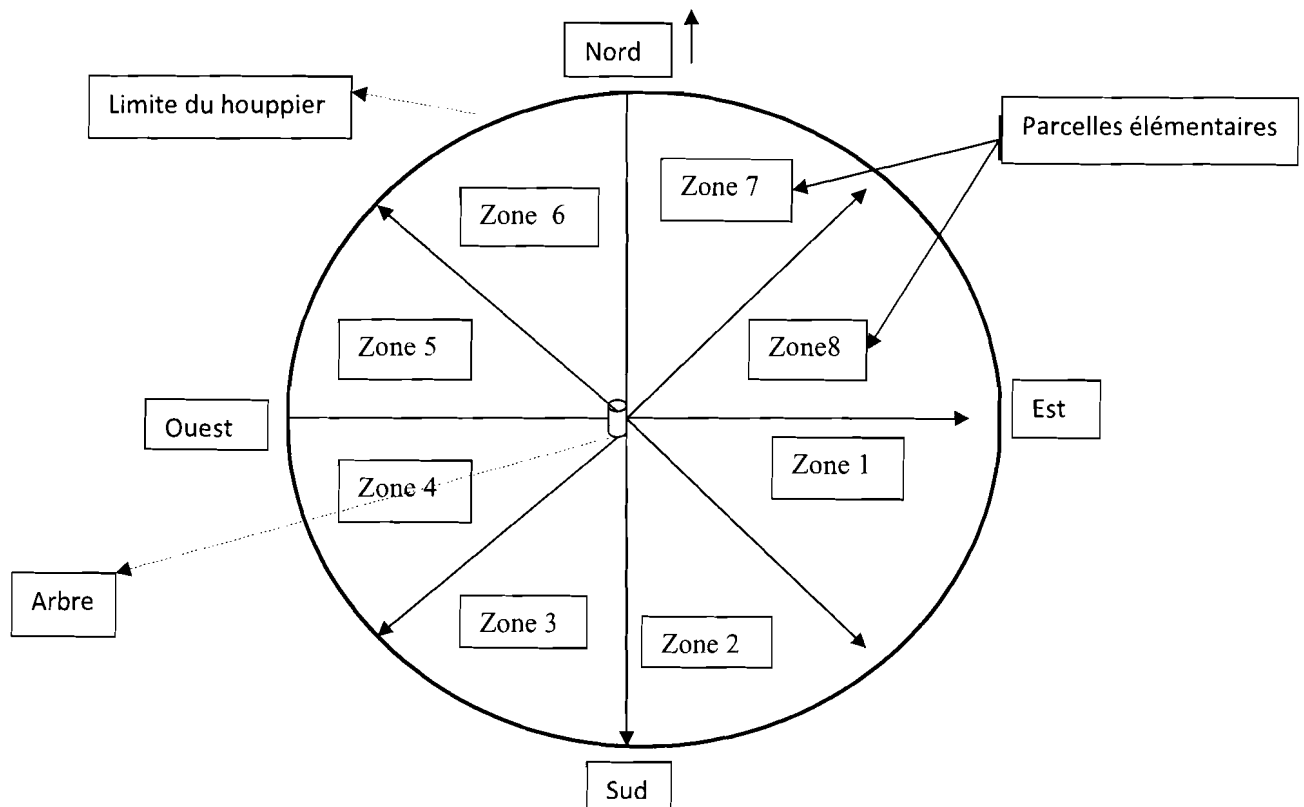


Figure 3: Représentation schématique des parcelles recevant les traitements par arbre. Les zones représentent les parcelles recevant les traitements.

3.2 Les paramètres agronomiques

MENTION BIEN

La variété locale de sorgho utilisée pour l'expérimentation a été semée dans la deuxième quinzaine du mois de juin 2008 à un écartement de 0,8 X 0,4 m sous les arbres et dans tout le champ du paysan.

La récolte a été effectuée par parcelle entière dans la deuxième quinzaine du mois de novembre 2008.

Les paramètres suivants ont été considérés à la récolte :

- Nombre de poquets par parcelle
- Le nombre total d'épis par parcelle
- Le poids de tous les épis par parcelle
- Le poids de 30 épis pris aléatoirement par parcelle
- La longueur des 30 épis par parcelle
- Le poids des grains des 30 épis

- Le poids de mille grains
- Poids frais des tiges par parcelle
- Poids sec des tiges par parcelle

A partir des paramètres déterminés, les variables agronomiques suivantes ont été déterminées :

➤ **Le rendement grain (RG)**

Le rendement est en général apprécié par le poids des grains secs par unité de surface. En effet, le rendement grain est déterminé à partir des paramètres recueillis sur les parcelles élémentaires et extrapolé à l'hectare. Ce rendement est déterminé par la formule suivante :

$$\mathbf{RG \text{ (kg/ha)} = [(Nbre \text{ d'épis} \times \text{ poids des grains de 30 épis})/30] \times 10000 / \text{surface de la parcelle}}$$

➤ **Le rendement matière sèche (RMS)**

Le rendement matière sèche est apprécié par le poids de la paille sèche par unité de surface. Il est calculé par la formule suivante :

$$\mathbf{RMS \text{ (kg/ha)} = (\text{poids sec des tiges} / \text{surface de la parcelle}) \times 10000}$$

3.3 Les paramètres d'étude du sol

3.3.1 Prélèvement des échantillons de sol

Un échantillon composite obtenu à partir de quatre (4) points de prélèvement a été fait pour chaque traitement. Les échantillons ont été prélevés après les récoltes en décembre 2008 à la profondeur de 0-10 cm à l'aide d'une tarière de 6 cm de diamètre. Les échantillons de sol ont été tamisés à 2 mm puis une partie de ce dernier est tamisée à 0,5 mm et utilisés pour les différentes analyses dans le laboratoire sol-eau-plante de Kamboinsé.

3.3.2 Détermination des caractéristiques chimiques du sol

- Détermination du pH

La mesure du pH du sol (réalisé dans un rapport sol/solution de 1/2,5 selon les normes Afnor, 1981) a été déterminée après agitation pendant 1 h de 20 g d'échantillon de sol tamisé à 2 mm dans 50 ml d'eau distillée pour le pHeau et 50 ml d'une solution molaire de KCl pour le pHKCl. Le pH a été mesuré au pH-mètre HANNA à électrodes en verre.

- Détermination du carbone total

La méthode Walkley-Black (1934) a été utilisée pour déterminer la teneur des sols en carbone. La méthode consiste en une oxydation à froid du carbone du sol avec un excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) de normalité 1N en présence d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. L'excès du bichromate est dosé en retour avec le sel de Mohr [$Fe(SO_4)_2(NH)_2$] en présence d'indicateur coloré (phénolphtaléine). Les taux de carbone (C) et de matière organique (MO) sont obtenus par les formules suivantes:

$$C \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{10 - V \times T}{PE} \times 3,9 \quad (1)$$

Avec $T = 10/V'$ ($10 =$ volume de $K_2Cr_2O_7$ pour le blanc et $V' =$ volume de sel de Mohr utilisé pour le dosage du blanc).

T= titre du sel de Mohr

V= volume du sel de Mohr pour le dosage de l'échantillon (ml)

PE= prise d'essai de sol (g)

Et

$$MO \text{ (\%)} = C(\text{mg kg}^{-1}) \times 0,1724 \quad (2)$$

- Dosage du phosphore total

Pour déterminer les teneurs en P total, les échantillons de sol sont minéralisés, selon la méthode de Kjeldhal, à l'aide d'une solution acide H_2SO_4 concentrée en présence de catalyseur au sélénium et H_2O_2 . Les teneurs en phosphore total sont ensuite déterminées dans les minéralisats à l'aide d'un colorimètre automatique SKALAR (Segmented flow analyser, model SANplus 4000-02, Skalar Hollande). Pour le dosage du P, la méthode au molybdate est utilisée. Le molybdate d'ammonium et le potassium antimoine tartrate réagissent en milieu acide avec l'acide ascorbique en formant un complexe coloré en bleu en présence de P dont

l'absorbance est mesurée à 880 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de P dans le milieu.

Le principe de l'auto analyseur est basé sur la densité optique. Il est muni d'un traceur effectuant des courbes au passage des échantillons. L'amplitude des courbes est proportionnelle à la concentration des éléments analysés. Les valeurs des amplitudes sont comparées à des valeurs étalons, puis on détermine la concentration des éléments à partir d'une régression linéaire.

- **Dosage du Phosphore assimilable**

Pour la détermination des formes de P assimilable, nous avons utilisé les méthodes classiques, à savoir la méthode Bray II (Bray et Kurtz, 1945) et la méthode Olsen (Olsen et *al.*, 1954).

- **Bray**: (Bray *et al.*, 1945). Cette méthode consiste à extraire à un pH= 3,5 les formes de phosphore solubles dans les acides, en grande partie celle liée au calcium et une portion liée à l'aluminium et au fer par l'acide chlorhydrique (HCl) en présence de fluorure d'ammonium (NH₄F). Le rapport prise d'essai de sol/ solution d'extraction de 1/7 a été utilisé et le mélange est agité durant 05 minutes. Les filtrats obtenus sont alors dosés au colorimètre à 880 nm en présence d'indicateur du Phosphore (molybdate d'ammonium + acide ascorbique).

- **Olsen**: cette méthode comme la précédente, extrait avec du Bicarbonate de sodium (NaHCO₃ 0,5N) au pH= 8,5 les formes de P disponibles reliées au calcium, à l'aluminium et au fer. Le rapport de la prise d'essai de sol/solution d'extraction de 1/20 a été utilisé. Le mélange ainsi obtenu est porté en agitation pendant 30 minutes et dosé dans les mêmes conditions que le Bray.

3.3.3 Le fractionnement du phosphore

Le fractionnement du P a été réalisé selon la méthode Hedley (Hedley, 1982), qui consiste en une extraction séquentielle des différentes fractions du P du sol à l'aide de différents réactifs. Les différentes étapes de la procédure sont indiquées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Fractionnement du phosphore selon la méthode Hedley (1982)

Etape	Procédé d'extraction	Fraction	Pools de P extrait
1	4g de sol sont mis en agitation pendant 16h dans 20 ml d'eau distillée avec 2 membranes anioniques saturées au bicarbonate. Les membranes ont une superficie de 2 cm ² (1 cm × 2 cm). Pour libérer le P fixé par les membranes, celles-ci sont retirées et agitées dans 20 ml de HCl 0,5 N pendant 30 minutes.	Membrane-P	P aisément échangeable (P disponible pour les plantes)
2	Le culot précédent est agité pendant 16 h dans 20 ml de NaHCO ₃ 0,5 N tamponnée à pH 8,5. Après centrifugation et filtration, le P est déterminé dans le filtrat.	NaHCO ₃ -P	P faiblement adsorbé
3	Le culot précédent est agité pendant 16 h dans 20 ml de NaOH 0,1 N tamponnée à pH 8,5. Après centrifugation et filtration, le P est déterminé dans le filtrat.	P-NaOH	P lié au Fe et à Al (P disponible à moyen terme pour les plantes)
4	Le culot précédent est agité pendant 16 h dans 20 ml de HCl 1,0 N. Après centrifugation et filtration, le P est déterminé dans le filtrat.	P-HCl	P lié au Ca
5	Minéralisation	Pi résiduel	P stable et insoluble

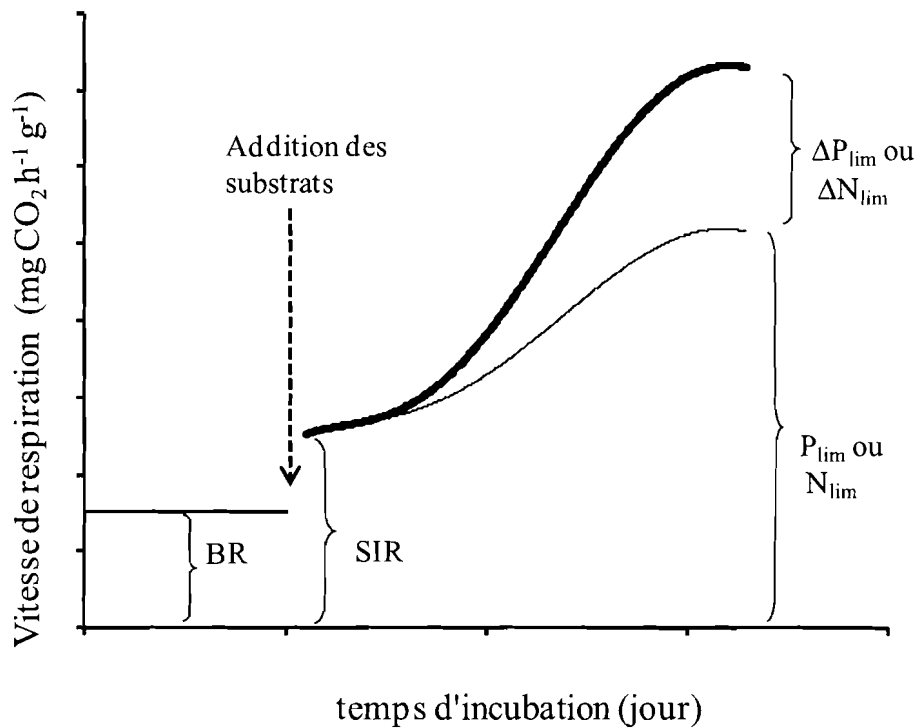
Le P ainsi extrait est dosé dans les différents filtrats à l'aide d'un colorimètre manuel (Spectronic D20) par la méthode au molybdate d'ammonium. Les ions phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium, en présence d'antimoine, pour former un complexe phosphomolybdique jaune. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en un composé bleu qui permet un dosage colorimétrique à une longueur d'onde de 880 nm.

3.3.4 Mesure de la respiration microbienne du sol

Dans cette activité, nous avons utilisé les échantillons de sol prélevés dans les traitements « control » et « TNP » appliqué sous le houppier du karité et le traitement « hors houppier » du karité. Pour le néré, seuls les échantillons prélevés dans le traitement « control » sous le houppier et le traitement « control » hors houppier ont été considérés.

L'activité des microorganismes du sol, mesurée par le dégagement du gaz carbonique (C-CO₂ dégagé), a été évaluée par la méthode du test respirométrique. Brièvement, vingt cinq grammes (25 g) de sol humidifié au 2/3 de la capacité maximale de rétention d'eau du sol ont été placés dans un bocal d'un litre à fermeture hermétique et contenant un piège à CO₂, constitué de 10 ml de soude (NaOH) 1N et un flacon d'eau distillée pour maintenir l'humidité du milieu. Un blanc constitué uniquement d'un flacon contenant de la soude (NaOH) et d'un autre contenant l'eau distillée est placé dans les mêmes conditions pour tenir compte de la carbonisation initiale de la soude. Les bocaux ont été incubés dans une étuve à 28±2°C. Le CO₂ dégagé et piégé dans la soude est quotidiennement dosé par titrimétrie, avec de l'acide chlorhydrique (HCl) 1N en présence de phénolphthaléine (indicateur coloré). Au moment du dosage, 3 ml de chlorure de baryum 30% (BaCl₂) ont été ajoutés à la solution de soude pour précipiter le CO₂ piégé. La solution de soude est renouvelée après chaque dosage.

Un modèle décrit par Nordgren (1992) pour analyser les courbes de la respiration du sol et adapté par Gnankambary et al. (2008) a été utilisé dans cette étude pour évaluer la limitation de N et de P sur l'activité des microorganismes du sol (figure 4).



ΔP_{lim} = différence entre P_{lim} et flux maximum de CO₂ due à l'addition de ΔP

ΔN_{lim} différence entre N_{lim} et le flux maximum de CO₂ due à l'addition de ΔN

BR = Respiration de Base ; SIR = Respiration induite par le substrat

Figure 4. Modèle de la cinétique de la respiration des microorganismes du sol avant et après l'addition des substrats.

Le sol a été incubé pendant cinq jours pour stabiliser la vitesse de respiration des microorganismes du sol. La respiration de base (BR) a été ensuite calculée en faisant la moyenne des mesures journalières des trois jours précédant l'application des nutriments. Puis la respiration induite par le substrat (SIR) a été mesurée par l'application de substrat en i) glucose (C), ii) de C plus azote (C+N), iii) de C plus du phosphore (C+P), iv) de C plus N plus une petite quantité de P (C+N+ ΔP) et v) de C plus P plus une petite quantité de N (C+P+ ΔN).

Les quantités des nutriments apportés sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Quantité des nutriments additionnés au sol pour le test respirométrique

Traitements	Quantité de nutriment ajouté		
	Glucose (g)	(NH ₄) ₂ SO ₄ (mg)	KH ₂ PO ₄ (mg)
C	0,3	0	0
C+N	0,3	49	0
C+P	0,3	0	7,5
C+N+ΔP	0,3	49	0,5
C+P+ΔN	0,3	3	7,5

Dans l'addition « C », l'activité des microorganismes du sol est limitée par N et P. Par contre, dans « C+N » et « C+P » l'activité des microorganismes est limitée respectivement par P et N. Le maximum de la vitesse de respiration du sol obtenu avec l'addition C+N et C+P (abrégié respectivement par P_{lim} et N_{lim} dans la figure 4) reflètent les quantités disponibles de P et N pour la croissance des microorganismes lorsque les autres nutriments ne sont pas limitant. L'addition d'une petite quantité de N (ΔN) à la courbe N_{lim} entraîne une augmentation du maximum de la vitesse de respiration. La différence entre N_{lim} et le maximum obtenu après addition de ΔN est désignée par ΔN_{lim} . Similairement, L'addition d'une petite quantité de P (ΔP) à la courbe P_{lim} entraîne une augmentation du maximum de la vitesse de respiration. La différence entre P_{lim} et le maximum obtenu après addition de ΔP est désignée par ΔP_{lim} .

L'accroissement du maximum de la vitesse de respiration consécutive à l'addition de quantités connues de nutriment (ΔN et ΔP) a été utilisée par Nordgren (1992) comme standard interne pour déterminer les quantités de N et P disponibles pour les microorganismes du sol selon les équations suivantes

$$N \text{ disponible pour les microorganismes } (\mu\text{g kg}^{-1}) = \frac{\Delta N \times N_{lim}}{\Delta N_{lim} \times PE}$$

Dans cette équation, PE est le poids de l'échantillon de sol, et ΔN (μg), ΔN_{lim} ($\mu\text{g CO}_2 \text{ j}^{-1} \text{ g}^{-1}$) et N_{lim} ($\mu\text{g CO}_2 \text{ j}^{-1} \text{ g}^{-1}$) sont tels que définis dans le texte.

$$P_{\text{disponible pour les microorganismes}} (\mu\text{g kg}^{-1}) = \frac{\Delta P \times P_{\text{lim}}}{\Delta P_{\text{lim}} \times PE}$$

Dans cette équation, PE est le poids de l'échantillon de sol, et ΔP (μg), ΔP_{lim} ($\mu\text{g CO}_2 \text{j}^{-1} \text{g}^{-1}$) et P_{lim} ($\mu\text{g CO}_2 \text{j}^{-1} \text{g}^{-1}$) sont tels que définis dans le texte.

La quantité de CO_2 dégagé (Q) par jour est obtenue par la formule suivante :

$$Q (\text{mg}) = (V1 - V2) \times 2,2$$

V1 = volume d'acide chlorhydrique utilisée pour le dosage du blanc

V2 = volume d'acide chlorhydrique utilisée pour le dosage de l'échantillon

3.4 Analyses statistiques

Les données issues des différentes études ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le Modèle Général Linéaire (MGL) avec le logiciel Minitab (V. 14) pour Windows (Minitab Inc). La séparation des moyennes est effectuée par le test de Tukey au seuil de 5%.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Caractéristiques chimiques des sols

1.1 Résultats

Les caractéristiques chimiques des différents échantillons de sol indiquées dans les tableaux 5 et 6 montrent que la composition chimique du sol est fonction de la présence ou de l'absence du houppier et de la fertilisation minérale. Bien que la présence du houppier permet une légère augmentation de la teneur des éléments dosés il faut noter que l'analyse de variance n'indique pas une différence significative entre la teneur de ces éléments sous et hors du houppier des espèces étudiées. Le pH des sols sous et hors houppiers, compris dans la gamme des pH acide ($\text{pH} < 7$), varient de 6,15 à 6,57.

Outre la matière organique (MO), le P-total, P-assimilable et le pH sont numériquement important sous le karité par rapport au néré.

La teneur en MO est algébriquement plus élevée sous le néré que sous le karité sans pour autant être significatif (tableau 5).

MENTION BIEN

Tableau 5 : Effet du houppier du karité et du néré sur les caractéristiques chimiques du sol

Espèces		P total (mg kg^{-1})	P-Bray (mg kg^{-1})	MO (%)	pHeau	pHKCl
Karité	Sous Houppier	91,7±27,3a	7,01±3,57a	1,15±0,16a	6,57±0,08a	5,65±0,12a
	Hors Houppier	76,4±27,9a	6,3±3,33a	1,05±0,04a	6,24±0,12a	5,37±0,13a
Néré	Sous Houppier	82,6±7,9a	3,77±0,81a	1,44±0,04a	6,34±0,07a	5,57±0,14a
	Hors Houppier	66,1±9,5a	2,83±0,36a	0,96±0,16a	6,15±0,05a	5,28±0,05a
Probabilité	P > 0,05	P > 0,05	P > 0,05	P > 0,05	P > 0,05	P > 0,05

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

Les fertilisants minéraux appliqués sous les houppiers ont également induit une variation sur les caractéristiques chimiques du sol. Sous le néré, les teneurs les plus élevées en P-total ont été obtenues avec TNP (95,01 mg kg⁻¹) et TP (90,88 mg kg⁻¹). Avec ces mêmes traitements, les valeurs en P assimilable sont respectivement de 14,5 mg kg⁻¹ et 11,68 mg kg⁻¹. Sous le karité, seule la parcelle recevant le TSP (TP) est supérieure au control pour le P-total. L'application des différents traitements a tendance à augmenter l'acidité des sols, surtout l'apport d'urée (TN) (tableaux 6a et 6b).

Tableau 6a : Influence des fertilisants sur quelques caractéristiques chimiques du sol sous le houppier du néré.

Traitements	P-total (mg kg ⁻¹)	P-Bray (mg kg ⁻¹)	MO (%)	pHeau	pH KCl
T0	78,49±15,82a	3,77±1,63a	1,43±0,33a	6,34±0,14a	5,57±0,28a
TN	66,09±13,49a	3,96±1,11a	1,6±0,47a	6,21±0,16a	5,41±0,17a
TP	90,88±8,26a	11,68±4,67b	1,23±0,34a	6,31±0,13a	5,46±0,16a
TNP	95,01±28,62a	14,51±6,94b	1,69±0,21a	6,13±0,25a	5,45±0,28a
Probabilité	P > 0,05	P < 0,01	P > 0,05	P > 0,05a	P > 0,05

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

Tableau 6b : Influence des fertilisants sur quelques caractéristiques chimiques du sol sous le houppier du karité

Traitements	P-total (mg kg ⁻¹)	P-Bray (mg kg ⁻¹)	MO (%)	pHeau	pH KCl
T0	85,92± 54,59a	7,01± 7,14a	1,15 ± 0,33a	6,56± 0,16a	5,65± 0,22a
TN	70,22± 43,46a	5,37± 4,01a	1,40± 0,49a	6,29± 0,2a	5,44±0,25a
TP	128,06± 73,08a	30,06± 11,01b	1,33± 0,34a	6,34± 0,2a	5,56± 0,21a
TNP	82,61± 35,69a	19,55± 10,32c	1,39± 0,48a	6,3± 0,22a	5,43± 0,22a
Probabilité	P > 0,05	P < 0,01	P > 0,05	P > 0,05	P > 0,05

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

1.2 Discussion

Les caractéristiques chimiques des sols du parc agroforestier de Bonogo indiquent que les teneurs des éléments déterminés sont identiques sous et hors des houppiers des deux espèces concernées. Plusieurs études réalisées dans le cadre de la détermination des potentialités des systèmes agroforestiers dans l'amélioration de la fertilité des sols ont montré par contre que la présence du houppier entraînait une augmentation des caractéristiques chimiques (Grouzis et *al.*, 1998 et 2006; Boffa et *al.* 2000; Bayala et *al.*, 2002 et 2003). Les teneurs moyennement élevées sous les houppiers sont liées à des facteurs intrinsèques ou extrinsèques à l'arbre. En effet la teneur élevée en éléments nutritifs (MO, N et P) du sol sous les houppiers est largement liée à la chute du feuillage des arbres (Belsky et *al.*, 1989). Grouzis et *al.* (1998), attribuent cette fertilité sous les houppiers à la décomposition de la végétation herbacée développée sous le houppier.

La teneur élevée en P sous les houppiers peut s'expliquer par la coexistence entre les ligneux et la faune, du fait que les houppiers servent souvent d'abris pour l'avifaune, qui contribue ainsi à la fertilité du sol par les déjections rejetées.

Les légères diminutions du pH sous le néré par rapport au karité peuvent être lié au taux élevé d'azote sous son houppier, dû à une minéralisation importante favorisée par la symbiose

mycorhizienne développée au niveau de son système racinaire (Tomlinson et *al.*, 1995). L'élévation du pH par la suite de la fertilisation minérale a aussi été constaté par diverses études. En effet, Sedogo (1993) souligne qu'une fertilisation minérale prolongée peut entraîner une acidification des sols.

1.3 Conclusion

Les résultats des analyses chimiques ont mis en évidence l'intérêt de ces ligneux dans les paysages agricoles, leurs capacités à améliorer modérément la fertilité chimique du sol (P, C, pH) sous et aux environs de leur houppier. L'application de fertilisants minéraux phosphatés (TP et TNP) permet la recapitalisation du phosphore du sol.



II. Rendement du sorgho sous les deux espèces

2.1 Rendement grain

Le rendement grain du sorgho obtenu à l'issue de cette expérimentation est indiqué dans le tableau 7. Le rendement grain du sorgho a été plus élevé sous le karité comparé au néré (tableau 7), mais cette différence n'est pas statistiquement significative au seuil de 5% ($P > 0,05$). Le rendement au niveau des parcelles témoin (T0), sans fertilisant, a été de $452 \pm 200 \text{ kg ha}^{-1}$ et $411 \pm 203 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivement sous le karité et sous le néré.

La fertilisation azotée (traitements TN et TNP) a entraîné une augmentation des rendements grain du sorgho comparativement au control (T0) pour les deux espèces. Par contre, les rendements ont été faibles avec à la fertilisation phosphatée seule (TP) (tableau 7). La fertilisation azotée a entraîné une légère hausse de la production sous le néré que le karité. Par exemple le TN a donné $599 \pm 211 \text{ kg ha}^{-1}$ et $524 \pm 300 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivement sous le néré et le karité (tableau 7).

Tableau 7 : Effet de la fertilisation minérale appliquée sous le karité et le néré sur le rendement grain du sorgho à Saponé

Traitements	Rendement grain (kg ha ⁻¹) (±SE)	
	Karité	Néré
T0	452± 200a	411± 203a
TN	524± 300a	599± 211a
TP	366± 196a	217± 114a
TNP	485± 203a	506± 255a
Probabilité	P > 0,05	P > 0,05

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

T0 = aucun apport, TN = application d'urée, TP = application du TSP, TNP = application d'urée + TSP ; SE = Erreur standard

2.2 Rendement matière sèche

De même que le rendement grain, la production de matière sèche n'a pas montré de différence significative sous les deux espèces au seuil de 5%. Cependant les parcelles témoins sans traitement montrent que la production de matière sèche est quantitativement plus élevée sous le néré (756±328 kg ha⁻¹) que sous le karité (671±296 kg ha⁻¹).

L'apport de l'urée (TN) et de l'urée en plus du TSP (TNP) permettent une augmentation (non significative) de la production de matière sèche sous ces deux espèces, tandis que les parcelles traitées au TSP (TP) uniquement indiquent de part et d'autre une quantité de matière sèche inférieure au témoin (T0). L'application de l'urée seule permet une production plus élevée sous le karité que sous le néré, tandis que l'association urée + TSP (TNP) donne une production plus élevée sous le néré (Tableau 8).

Tableau 8: Effet de la fertilisation minérale appliquée sous le karité et le néré sur le rendement matière sèche du sorgho à Saponé

Traitements	Rendement matière sèche (kg ha ⁻¹) ±SE	
	Karité	Néré
T0	671 ± 296a	756 ± 328a
TN	956 ± 692a	831 ± 418a
TP	519 ± 304a	396 ± 190a
TNP	744 ± 237a	925 ± 364a
Probabilité	P > 0,05	P > 0,05

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

2.3 Discussion

Les rendements grain et matière sèche du sorgho sous le houppier du karité et du néré sont similaires. Ce résultat est en désaccord avec Bayala et *al.*, (2002) qui ont rapporté que le rendement grain et matière sèche du mil (*Pennisetum glaucum*) étaient plus élevés sous le karité comparativement au néré. Il semble donc que l'apport de fertilisant permet de compenser la force de l'ombre sous le néré en comparaison avec le karité qui a un houppier dont l'ombre est moins nocive expliquant la meilleure performance observée sous cette dernière espèce par Bayala et *al.* (2002) en l'absence d'apport de fertilisant. En effet les parcelles ayant reçu l'urée et l'urée en association au TSP ont des rendements plus élevés sous le néré par rapport au karité (Tableau 7). Le niveau de fertilité minérale sous le houppier du néré peut s'expliquer par une exportation des feuilles hors du houppier par le vent du fait de leur faible densité par rapport aux feuilles du karité. Le niveau de fertilité minérale sous le houppier du néré peut s'expliquer par une exportation des feuilles hors du houppier par le vent du fait de leur faible densité par rapport aux feuilles du karité. La faiblesse des rendements sous le néré peut s'expliquer aussi par une perte des éléments nutritifs surtout l'azote ou une auto-utilisation du P due à la présence d'une symbiose endomycorrhizienne qui favoriserait une exploitation plus importante du P existant par l'arbre, réduisant ainsi sa disponibilité aux cultures (Tomlinson et

al. 1995). La perte de l'azote estimée sous le néré peut s'expliquer par une décomposition rapide des litières de néré suivie de l'absence d'immobilisation, d'où sa perte par lessivage (Smithson, 2001 ; Bayala *et al.*, 2003 ; Bayala *et al.*, 2005).

Il convient aussi de noter que le rendement est en général bas sous ces deux espèces par rapport au rendement moyen du sorgho qui est d'environ de 800 kg ha⁻¹ en culture normale (Trouche *et al.*, 2001). Cette situation peut s'expliquer par les phénomènes de compétitions accrues pour certains éléments entre les ligneux et les cultures céréalières. Certains auteurs attribuaient la baisse de rendement à la compétition pour les éléments minéraux ; mais l'application de fertilisants effectuée dans notre étude laisse présager les mêmes déficits de rendement. La pluviométrie de la zone est un facteur non négligeable pouvant également expliquer la faible productivité du sorgho. Dans les conditions normales de pluviométrie de la région de savane d'Afrique de l'Ouest, les rendements du mil peuvent être réduits de 35% sous le karité (Maiga, 1987 cité par Bayala *et al.*, 2002). Ong *et al.* (1999) affirment que dans les régions semi-arides, le chevauchement considérable entre les racines des arbres et des récoltes dans les premiers mètres du sol implique une rivalité pour la nutrition en eau et éléments nutritifs entre les cultures et la plupart des arbres dans un système agroforestier.

MENTION BIEN

L'influence de l'ombre peut être le fait le plus marquant de la réduction de la production par le manque de lumière pour une photosynthèse satisfaisante. En effet des études récentes sur l'effet du néré et du karité sur la production du mil et sorgho ont montré que l'ombrage excessif réduit la production du sorgho sous les houppiers du karité et du néré respectivement de 50 et 70% (Kessler, 1992), des céréales et des herbacés en général (Boffa *et al.*, 2000, Grouzis *et al.*, 2006). La taille du houppier réalisée sur ces deux espèces à Saponé a permis une augmentation des rendements grains et matières sèches respectivement de 466 ± 55 kg ha⁻¹an⁻¹ et 1533 ± 134 kg ha⁻¹ an⁻¹ sous des arbres non taillés à 507 ± 49 kg ha⁻¹ an⁻¹ et 2033 ± 236 kg ha⁻¹ an⁻¹ sous des arbres entièrement taillés (Bayala *et al.*, 2002).

2.4 Conclusion

Les résultats obtenus montrent que les rendements grain et matière sèche du sorgho sont similaires sous les houppiers du néré et karité. La fertilisation minérale permet une légère variation quantitative de la production. Le rendement grain sous ces deux houppiers est bas comparativement à la production normale du sorgho dans les champs.

III. Les formes et fractions du phosphore dans le sol agroforestier de Saponé

3.1 Effet du houppier du karité et du néré sur les teneurs en phosphore du sol

Les teneurs en P-total et P-disponible (P-Bray II et P-Olsen) sont consignées dans le tableau 9.

L'examen de ce tableau montre que les teneurs en P-total sont plus élevées sous le houppier des deux espèces par rapport aux parcelles placées hors du houppier des arbres. Les teneurs en P-total sont plus élevées sous le karité (85,92 mg kg⁻¹) que sous le néré (78,49 mg kg⁻¹). Les teneurs du P disponible (Bray II et Olsen) sont également plus élevées sous les houppiers par rapport aux parcelles placées en dehors de l'influence du houppier. Les analyses statistiques n'ont cependant révélé aucune différence significative ($P > 0,05$).

Tableau 9: Effet du houppier du karité et du néré sur les teneurs en phosphore du sol à Saponé au Burkina Faso

Formes de P	Karité		Néré	
	Sous Houppier	Hors houppier	Sous Houppier	Hors houppier
P-total (mg kg ⁻¹)	85,92±27,91 ^a	76,42±27,3 ^a	78,49±7,91 ^a	66,09±9,53 ^a
P-Bray II (mg kg ⁻¹)	7,01±3,57 ^a	6,27±3,33 ^a	3,77±0,81 ^a	2,83±0,36 ^a
P-Olsen (mg kg ⁻¹)	29,75± 3,66 ^a	29,08±0,55 ^a	17,59±1,56 ^b	16,58±1,28 ^b

Les valeurs affectées de la même lettre sur la même ligne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5%.

3.2 Effet de la fertilisation sur les teneurs en phosphore

La fertilisation minérale a induit une variation des teneurs des divers pools de P sous les deux espèces (Tableaux 10 et 11).

Sous le karité, l'application des différents engrais minéraux a permis une hausse des teneurs du P disponible (Bray II et Olsen) comparativement au control. La teneur en P

disponible (Bray II) au niveau du traitement à l'urée (TN) ($5,35 \text{ mg kg}^{-1}$) a été inférieure à celle du control ($7,01 \text{ mg kg}^{-1}$). Quant au pool de P total seule l'application du TSP a induit une augmentation substantielle de la quantité de phosphore dans le sol avec $128,06 \text{ mg kg}^{-1}$ contre $85,92 \text{ mg kg}^{-1}$ de P total pour le control. Les teneurs en P total pour les autres traitements sont de 70,22 et $82,62 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivement pour TN et TNP (Tableau 10). Les teneurs les plus élevées ont été obtenues avec le traitement TP. Celui-ci a entraîné une augmentation des teneurs de P total, de P-Bray et de P-Olsen de 42%, 23% et 12% respectivement par rapport au control. L'analyse de variance n'a révélé de différence significative qu'au niveau des formes assimilables du phosphore (P Bray).

Tableau 10 : Effet de la fertilisation sur les formes du phosphore sous le karité

Traitements	P total (mg kg^{-1})	P assimilable (mg kg^{-1})	
		Bray II	Olsen
T0	$85,92 \pm 18,14^a$	$7,01 \pm 3,57^a$	$29,75 \pm 3,66^a$
TN	$70,22 \pm 21,72^a$	$5,35 \pm 2,01^a$	$31,43 \pm 2,92^a$
TP	$128,06 \pm 36,54^a$	$30,06 \pm 5,51^b$	$41,86 \pm 5,82^a$
TNP	$82,62 \pm 17,84^a$	$19,55 \pm 5,16^c$	$36,14 \pm 3,31^a$

Les valeurs affectées d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Dans le cas du néré, la fertilisation minérale a entraîné une augmentation des quantités de P sauf avec l'application de l'urée (TN) où le P total ($66,09 \text{ mg kg}^{-1}$) est faible par rapport au control ($78,49 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tableau 11). Les teneurs les plus élevées sous le houppier du néré pour les différentes formes de P sont obtenues avec l'application de l'urée + TSP (TNP).

Tableau 11 : Effet de la fertilisation sur les formes du phosphore sous le néré (*Parkia biglobosa*)

Traitements	P total (mg kg ⁻¹)	P assimilable (mg kg ⁻¹)	
		Bray II	Olsen
T0	78,49± 15,52 ^a	3,77± 1,63 ^a	17,59 3,13 ^a
TN	66,09± 13,49 ^a	3,96± 1,13 ^a	19,28± 4,19 ^a
TP	90,9± 28,62 ^a	11,68± 4,67 ^b	19,96± 4,19 ^a
TNP	95,01± 8,26 ^a	14,50± 6,94 ^b	22,33± 2,34 ^a

Les valeurs affectées d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

3.3 Effet du houppier sur les fractions du phosphore

Les résultats du fractionnement du P du sol par la méthode d'Hedley (1982) sont présentés dans le tableau 12. Les différentes fractions de P sont plus élevées sous le karité que sous le néré. Quantitativement, la fraction extraite par les membranes (P-membrane) est la plus faible tandis que la fraction à la soude (P-NaOH) est la plus élevée tant au niveau du karité qu'au niveau du néré. Les fractions de P labile (P-membrane, P-NaHCO₃ et P-NaOH) ont des teneurs plus élevées hors du houppier que sous le houppier au niveau du karité. Par contre, c'est l'inverse qui est constaté au niveau du néré pour toutes les fractions. Des différences statistiquement significatives entre le néré et le karité ($P < 0,05$) ne sont observées qu'au niveau des fractions extraites au NaHCO₃.

Tableau 12 : Effet du houppier sur les fractions du phosphore

Fractions du P	Karité		Néré	
	Sous houppier	Hors houppier	Sous houppier	Hors houppier
P -membrane (mg kg ⁻¹)	1,24 ±0,42a	1,24 ±0,42a	0,79 ±0,42a	0,66 ±0,42a
P-NaHCO ₃ (mg kg ⁻¹)	4,78 ±1,08a	5,32 ±1,08a	2,14 ±1,08b	2,00 ±1,08b
P-NaOH (mg kg ⁻¹)	21,32 ±5,32a	19,96 ±5,32a	14,97 ±5,32a	10,03 ±5,32a
P-HCl (mg kg ⁻¹)	15,26 ±7,22a	13,55 ±7,22a	3,78 ±7,22a	3,11 ±7,22a

Les valeurs affectées d'une même lettre dans la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

3.4 Effet de la fertilisation minérale sur les fractions du phosphore du sol

L'effet de la fertilisation minérale sur les teneurs de différentes fractions du P du sol est présenté dans les tableaux 13 et 14. Les fractions extraites par les membranes sont toujours en quantité moins importante que les autres fractions. Par contre, celles extraites avec NaOH sont les plus grandes.

Sous le houppier du karité et du néré l'application du TSP (traitements TP et TNP) a significativement augmenté les teneurs en P extrait par les membranes comparativement aux traitements sans application de P (control et TN). La fertilisation n'a entraîné aucune différence statistiquement significative pour les autres fractions.

Sous le houppier du karité les plus faibles teneurs pour toutes les fractions sont obtenues avec le traitement TN et les plus élevées avec l'application du TSP (tableau 13).

Tableau 13 : Effet de la fertilisation sur les fractions du phosphore du sol sous le karité

Traitements	Fractions du phosphore en mg kg ⁻¹			
	P-membrane	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-HCl
T0 (control)	1,24± 1,18 ^a	4,78± 2,73a	21,32± 12,04a	15,26± 22,51a
TN	1,11± 1,27a	4,51± 1,96a	19,41± 10,5a	7,63± 6,57a
TP	6,29± 3,14b	8,46± 3,17a	31,48± 15,04a	30,39± 19,24a
TNP	2,70± 1,82c	6,69± 1,44a	21,59± 14,14a	24,47± 18,39a

Les valeurs affectées d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Sous le néré le traitement au TSP + urée (TNP) a permis une augmentation des teneurs de toutes les fractions comparativement au control (tableau 14). Le TP a donné une fraction de P-NaOH dont la teneur (14,84 mg kg⁻¹) est inférieure à celle du control (14,97 mg kg⁻¹). Il en est de même avec l'application de l'urée (TN) au niveau de la fraction extraite au NaHCO₃ (1,87 mg kg⁻¹) en comparaison au control (2,14 mg kg⁻¹). L'application de l'urée n'a pas entraîné de variation pour la fraction de P-membrane qui est égale à celle du control (tableau 14).

Tableau 14 : Effet de la fertilisation minérale sur les fractions du phosphore sous le néré

Traitements	Fractions du phosphore en mg kg ⁻¹			
	P-membrane	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-HCl
T0 (control)	0,79± 0,26a	2,14± 1,31a	14,97± 4,52a	3,78± 2,89a
TN	0,79± 0,26a	1,87± 0,31a	18,16± 7,81a	5,14± 3,07a
TP	1,71± 0,43b	2,94± 1,27a	14,84± 4,64a	11,22± 6,03a
TNP	2,1± 0,89c	3,21± 1,15a	20,19± 3,12a	18,65± 16,32a

Les valeurs affectées d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

3.5 Effet comparé des deux espèces sur les formes et fractions du phosphore

Les tableaux 15 et 16 présentent les teneurs des différents pools de phosphore sous le karité et le néré.

L'examen du tableau 15 indique que les teneurs des différentes formes de P sont plus importantes sous le karité par rapport au néré. Les teneurs en P assimilable (P-Bray et P-Olsen) sont significativement plus élevées sous le karité comparativement au néré (tableau 15). Par contre, la teneur en P total est plus élevée sous le karité ($91,71 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$) que sous le néré ($82,62 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$), mais cette différence n'est pas significative.

Tableau 15 : Teneur en P-total et P-assimilable du sol prélevé sous le houppier du karité et du néré

Espèces	P total (mg kg^{-1})	P assimilable (mg kg^{-1})	
		Bray II	Olsen
Karité	$91,71 \pm 27,91^a$	$15,49 \pm 1,69^a$	$34,79 \pm 1,58^a$
Néré	$82,62 \pm 7,91^a$	$8,48 \pm 1,69^b$	$19,79 \pm 1,58^b$
Probabilité P	P > 0,05	P < 0,01	P < 0,001

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Les teneurs des différentes fractions du phosphore sont de même plus importantes sous le houppier du karité que sous le néré. En effet, le tableau 16 indique que les fractions de P-membrane et P-NaHCO₃ sont significativement plus élevées sous le karité comparativement au néré. Les autres fractions que sont le P-NaOH et le P-HCl qui sont respectivement de $23,45 \pm 2,49 \text{ mg kg}^{-1}$ et $19,44 \pm 3,51 \text{ mg kg}^{-1}$ sous le karité et de $17,04 \pm 2,49$ et $9,69 \pm 3,51 \text{ mg kg}^{-1}$ sous le néré ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (tableau 16).

Tableau 16 : Teneur des fractions du phosphore du sol prélevé sous le houppier du karité et du néré

Espèces	Fractions du phosphore (mg kg ⁻¹)			
	P-membrane	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-HCl
Karité	2,84 ±0,37a	6,11 ±0,47a	23,45 ±2,49a	19,44 ±3,51a
Néré	1,35 ±0,37b	2,54 ±0,47b	17,04 ±2,49a	9,696 ±3,51a
	P < 0,01	P < 0,001	P > 0,05	P > 0,05

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

3.6 Influence de l'activité microbienne sur les fractions du phosphore du sol

Afin d'évaluer l'impact de l'activité des microorganismes du sol sur le stock des différentes fractions du phosphore, nous avons effectué un second fractionnement du P à la fin du test respirométrique. Les échantillons concernés sont ceux n'ayant pas reçu une addition de P pendant l'incubation à savoir les additions « C », et « C+N ». Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 17 et 18.

Tableau 17 : Fractions du P (mg kg⁻¹) avant et après incubation du sol prélevé sous et hors houppier du néré.

Fractions	position	avant le test respirométrique	après le test respirométrique		% de réduction	
			sol+C	sol+C+N	sol+C	sol+C+N
P-membrane	sous houppier	0,83	0,34	0,51	59,0	38,4
	hors houppier	0,66	0,00	0,26	100	61,1
P-NaOH	sous houppier	15,75	13,54	nd	14,1	nd
	hors houppier	11,17	8,44	9,23	24,5	17,4
P-HCl	sous houppier	4,32	3,04	3,21	29,6	25,7
	hors houppier	3,78	2,37	2,28	37,46	39,69

nd = non déterminé

Tableau 18 : Fractions du P (mg kg^{-1}) avant et après incubation du sol prélevé sous et hors houppier du karité.

Fractions	position	avant le test respirométrique	après le test respirométrique		% de réduction	
			sol+C	sol+C+N	sol+C	sol+C+N
P-membrane	sous houppier	1,55	nd	1,37	nd	11,60
	hors houppier	1,55	0,86	0,68	44,75	55,80
P-NaOH	sous houppier	23,03	19,43	19,96	15,64	13,33
	hors houppier	23,39	17,69	19,26	32,28	17,66
P-HCl	sous houppier	19,47	15,55	15,89	20,14	18,41
	hors houppier	17,37	12,68	15,38	27,01	11,44

nd = non déterminé

L'examen des résultats montre une baisse générale des teneurs initiales du P des diverses fractions des sols prélevés sous ou hors houppier des deux espèces. La diminution de la teneur initiale des différentes fractions varie en fonction des substrats apportés. Elle est en effet plus importante avec l'addition de C uniquement qu'avec C+N. Le pourcentage de réduction des différentes fractions de P est plus important hors des houppiers qu'en dessous aussi bien avec le karité qu'avec le néré. Parmi les différentes fractions, la fraction extraite aux résines est celle qui a été la plus affectée par l'activité des microorganismes. Le pourcentage de réduction des différentes fractions du P est plus important sous le néré que sous le karité (tableaux 17 et 18).

3.7 Discussion

D'une manière générale les résultats de cette étude ont montré que les teneurs en P (P-total et P-assimilable) ne sont pas statistiquement différentes sous et hors du houppier des arbres. Cependant ces teneurs sont légèrement plus élevées sous les arbres qu'au niveau des parcelles situées hors de l'influence des houppiers. Plusieurs auteurs ont aussi rapporté les potentialités des ligneux à améliorer la fertilité du sol sous et à proximité de leurs environnement (Breman et *al.*, 1992; 1995 ; Bayala et *al.*, 2002; Gourzis et *al.*, 1998). Nos résultats peuvent s'expliquer par une quantité importante de MO sous les arbres due à l'accumulation de la litière des feuilles et des détritiques de racines mortes. En effet, l'analyse des échantillons de sol a révélé que la teneur en MO était plus élevée sous le houppier des arbres qu'en dehors du houppier (tableau 5). L'abondance de MO (source de carbone) active le

métabolisme des microorganismes qui minéralisent cette litière entraînant ainsi une augmentation de la teneur en élément disponible (Kolawole et *al.*, 2007).

Le stock de P-total est légèrement plus élevé sous le karité comparativement au néré. Cela pourrait s'expliquer par la composition chimique différente des pièces végétatives (feuilles et brindilles) de ces deux espèces. Cependant, Bayala et *al.* (2005) après analyse des feuilles de karité et de néré de même que les brindilles de néré ont trouvé que les feuilles de néré étaient plus riches en P par rapport au karité (Tableau 1). Une des hypothèses plausible pour expliquer nos résultats pourrait être l'exportation des litières du néré par le vent hors du houppier du fait du faible poids des feuilles. Une deuxième explication serait que le néré exploite plus le P du fait de sa nature légumineuse (Tomlinson et *al.*, 1995 ; Bayala et *al.*, 2002).

La fertilisation phosphorée appliquée sous le houppier des ligneux a augmenté le stock de P total sauf dans le cas du traitement TNP sous le karité. Shaheen et *al.* (2007), Demers et *al.* (2008) et Lompo et *al.* (2008) ont aussi rapporté sur différents types de sol que l'application de fertilisants minéraux et organo-minéraux améliorerait le stock de P dans le sol par rapport au témoin sans apport. L'application de l'urée tout seul a entraîné par contre une baisse du P total par rapport au control (Tableau 10 et 11), ce qui pourrait s'expliquer par une plus grande exportation par les plantes de cet élément. La réduction du stock initiale de P total au niveau du karité après traitement au TNP peut être liée à une plus grande disponibilité du P en présence d'urée.

En ce qui concerne le P assimilable (P-Bray II et P-Olsen), l'analyse statistique a montré que les quantités sont significativement plus élevées sous le karité que sous le néré. La teneur du P-Olsen est plus élevée que celui du P-Bray. Cela peut être dû à un taux important de bases et surtout de calcium (Ca) sous ces arbres à l'image de la teneur des feuilles en cet élément (Tableau 1). La différence entre ces deux formes de P est surtout liée à la force d'extraction des réactifs utilisés par ces deux méthodes. Shaheen et *al.* (2007) affirmaient que les acides dilués dans la solution de Bray n'étaient pas en mesure d'extraire le P lié au Ca du fait de leur neutralisation par les bases, entraînant ainsi une faible capacité d'extraction du P.

Le P assimilable est également en quantité plus élevée sous ces espèces qu'en dehors. La teneur de MO sous ces ligneux peut justifier ce constat. La corrélation de Pearson a donné une corrélation positive et hautement significative entre le P-Bray (0,27 et $p < 0,0001$) et le P-Olsen (0,28 et $p < 0,0001$) avec la MO (Annexe 1). La matière organique au cours de sa minéralisation

produit des anions organiques qui, par complexation avec le fer (Fe) et l'aluminium (Al), conduisent à une libération du P retenu aux colloïdes du sol (Shaheen *et al.*, 2007; Demers, 2008; Lompo *et al.*, 2008).

Le fractionnement du P a révélé que les fractions extraites aux membranes sont quantitativement les plus faibles tandis que les fractions extraites au NaOH (P-NaOH) présentaient les teneurs les plus élevées. La même tendance fut rapportée par Kolawole et Tian (2007) sur des alfisols au Nigéria. Des tendances similaires ont aussi été rapportées par Demers (2008) en fractionnant différents types de compost. Le P labile (P-membrane et P-NaHCO₃) représente 9,76 % du P-total sous le karité et 4,71 % sous le néré. Ce sont les fractions les plus biodisponibles aux plantes car représentant le phosphore en solution (P-membrane) ou faiblement lié aux constituants du sol (P-NaHCO₃). Toutes les fractions de P extraites varient en fonction des divers fertilisants minéraux apportés, conclusions auxquelles sont parvenus plusieurs auteurs (Kolawole *et al.*, 2007 et Lompo *et al.*, 2008).

Le P-membrane est considérablement affecté par l'application du TSP qui fait accroître sa teneur de plus de 100% par rapport au témoin. Gagnon et Simard (2003), cité par Demers (2008), ont montré effectivement que les fractions de P en solution sont les plus affectées par des apports de fumier et de compost et d'amendements phosphatés. Ceci s'explique par la compétition entre les anions organiques issus de la décomposition des amendements organiques et les ions PO₄³⁻ pour les sites de fixation des anions, donc réduisant ainsi la fixation des ions PO₄³⁻ labile. Il s'en suit donc une augmentation de la teneur en PO₄³⁻ labile suite à la fertilisation (Garapin, 1989 cité par Lompo *et al.*, 2008).

Le P-NaOH (P lié au Fe et Al) est la fraction la plus importante quelles que soient l'espèce végétale et la position par rapport au houppier. Plusieurs auteurs dont Scherer et Shama (2002) sur des luvisols, Shaheen et Tian (2007) sur des Alfisols et Lompo *et al.* (2008) sur des lxisols et les Ferralsols ont abouti aux mêmes conclusions. C'est une forme moyennement disponible, liée au Fe et Al, qui contribue à la réserve de P disponible aux plantes. La forte concentration de cette fraction peut s'expliquer par une teneur importante en sesquioxides libre de fer ou d'aluminium, ou par la nature acide du pH des sols de notre étude (Nwoke *et al.*, 2003). Ce résultat est démontré par une corrélation positive ($r=0,42$ et $p<0,001$) entre le P-NaOH et le pH eau. Il en est de même avec la matière organique ($r=0,46$ et $p<0,001$) (annexe 1).

Le P-HCl (P lié au Calcium) est la seconde plus importante fraction extraite. Elle est relativement plus faible hors des houppiers avec une valeur moyenne de $8,33 \text{ mg kg}^{-1}$. La teneur réduite de cette fraction par rapport au P-NaOH est liée au pH acide des sols et par conséquent à une quantité moindre de Ca dans ces sols. Ces constats sont confirmés par une corrélation plus élevée entre le P-NaOH et le pH eau qu'entre le P-HCl et le pH eau ($r=0,33$ et $p<0,05$). Cette concentration plus élevée sous les arbres qu'à l'extérieur peut être liée au taux important de MO sous les arbres. En effet une corrélation positive existe entre le P-HCl et la MO. Lompo et al. (2008) constatent ainsi que les teneurs les plus élevées de P-Ca (P lié au calcium) sont obtenues avec l'application de la fumure minérale forte. Shaheen et al. (2007) ont rapporté l'existence d'une corrélation positive entre P-HCl et les argiles, la MO et la capacité d'échange cationique.

Le fractionnement réalisé à la suite du test respirométrique a révélé une réduction des teneurs initiales du P au sein des différentes fractions. Cela se justifie par l'utilisation du P par les microorganismes comme source d'énergie et élément entrant dans la synthèse des cellules. La fraction P-membrane étant une forme labile de P, très disponible aux microorganismes, justifie la réduction importante de sa teneur initiale (Demers, 2008). L'utilisation du P par les microorganismes est plus importante en présence de C que de C+N. Cela s'explique probablement par l'utilisation préférentielle de N, comme la montra le flux initial de CO_2 important après addition de C+N au cours du test de respiration.

L'utilisation microbienne du P est plus importante sous le néré du fait de la proportion en phosphore inférieur sous son houppier. Ces résultats confirment bien les conclusions selon lesquelles, le P est limitant sous le néré. En effet, au cours du test respirométrique le flux initial de CO_2 sous le néré était important en présence de C+P.

3.8 Conclusion

Les résultats obtenus confirment l'hypothèse selon laquelle les diverses fractions du phosphore sont plus élevées sous les houppiers des arbres. Quantitativement les fractions labiles (disponibles aux cultures) sont plus faibles que les fractions moyennement disponibles, liées aux substrats du sol (P-NaOH et P-HCl). Les fractions labiles (P-membrane et P- NaHCO_3) sont significativement plus élevées sous le karité que sous le néré. Parmi les diverses

fractions extraites sous comme hors du houppier des arbres, la fraction P-NaOH est la plus importante.

IV. Activité respiratoire du sol

4.1 Analyse des courbes de la respiration du sol

4.1.1 La respiration de base

La respiration de base, calculée comme la moyenne du dégagement du CO₂ des trois jours précédant l'addition des nutriments est consignée dans le tableau 19.

La respiration de base est significativement plus importante sous le houppier des arbres qu'en dehors. Elle est de même plus importante sous le karité que sous le néré. L'application de N et P sous le houppier du karité n'a pas induit une augmentation significative de la respiration de base ($1,51 \pm 0,47 \text{ mg-CO}_2 \text{ j}^{-1} \text{ g}^{-1}$) par rapport au control.

Tableau 19 : Effet du houppier sur la respiration de base exprimée en $\text{mg-CO}_2 \text{ j}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de sol (\pm déviatiion standard), (Les sols proviennent du traitement « control » sans apport de fertilisants).

	Sous houppier	Hors houppier
Karité	$1,48 \pm 0,27$	$0,99 \pm 0,24$
Néré	$0,92 \pm 0,30$	$0,62 \pm 0,14$

ATTENTION BIEN

4.1.2 Interprétation des courbes de la respiration du sol

Les courbes traduisant l'évolution du dégagement du CO₂ avant et après ajout des nutriments (glucose, N et/ou P) sont présentées dans les figures 5 à 10.

4.1.2.1 Influence du néré

L'addition du glucose (C) seul augmente le flux journalier de CO_2 avec un maximum de $2,49 \text{ mg-CO}_2 \text{ j}^{-1}$ atteint au 10^{ème} jour hors du houppier et de $3,23 \text{ mg-CO}_2 \text{ j}^{-1}$ atteint dès le 1^{er} jour sous le houppier (figure 5a).

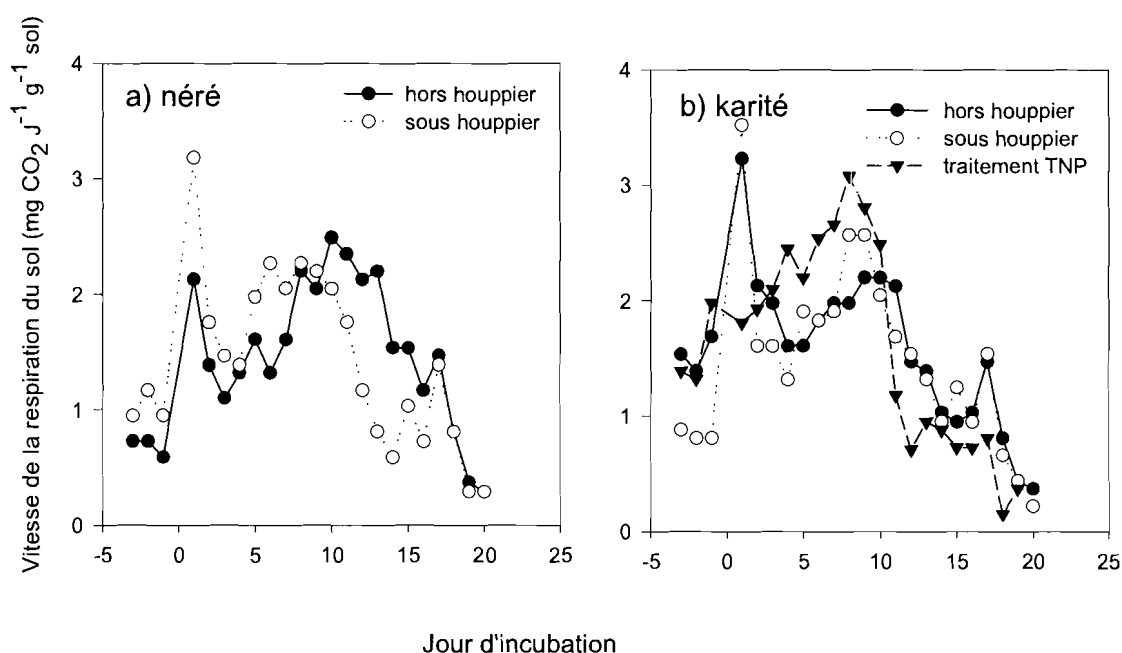


Figure 5. Cinétique de la respiration du sol prélevé sous et hors houppier du néré (a) et du karité (b) après addition du glucose (C) seul.

L'addition du C et de l'azote (C+N) aux échantillons de sol prélevés hors du houppier du néré entraîne une augmentation de la vitesse de dégagement du CO_2 marquée par une croissance microbienne. Le maximum de la respiration est de $3,42 \text{ mg-CO}_2 \text{ j}^{-1} \text{ g}^{-1}$ et est atteint le 5^{ème} jour après apport des nutriments (figure 6a).

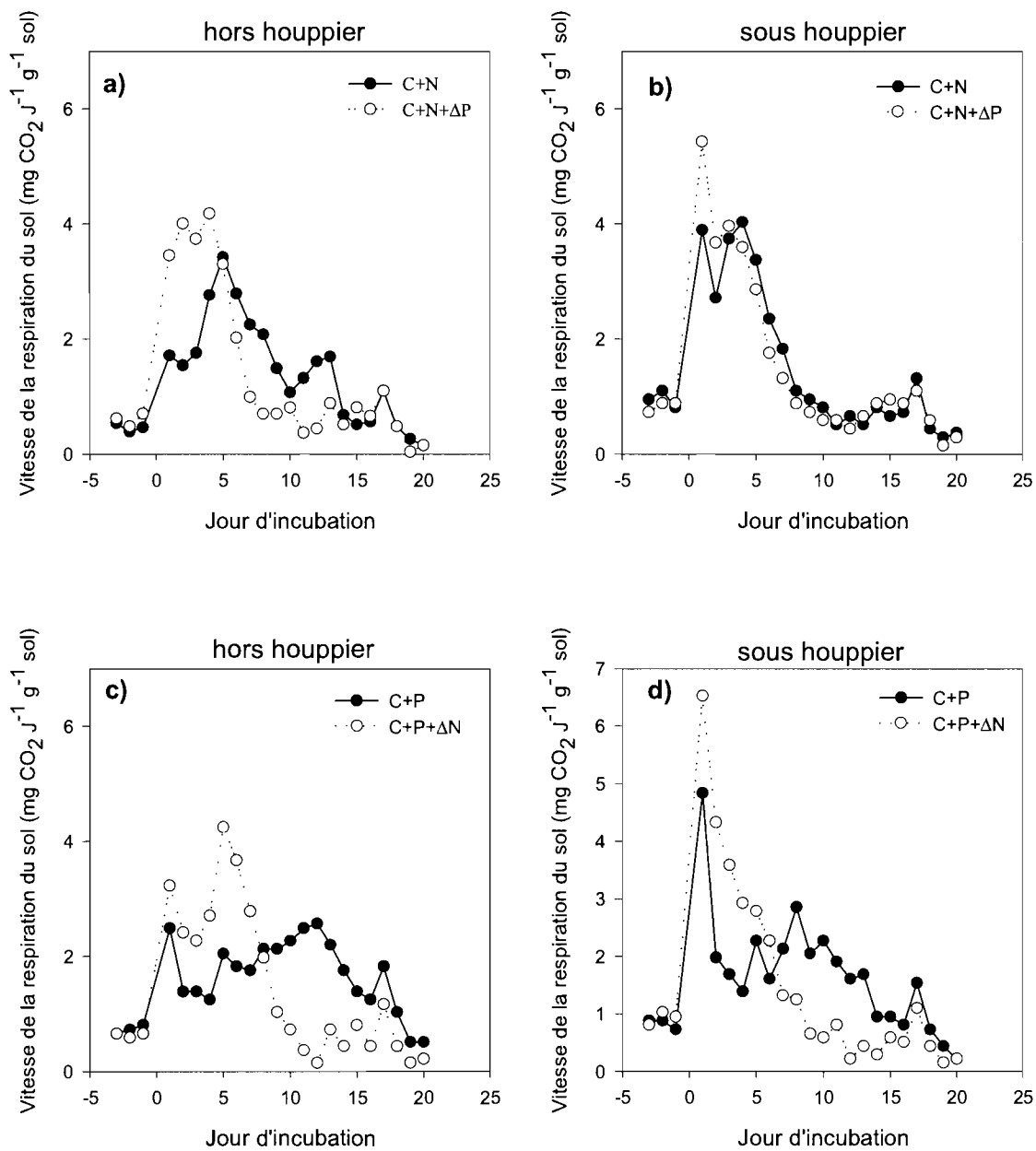


Figure 6 : Cinétique de la respiration des microorganismes des sols prélevés dans les parcelles situées hors et sous houppier du néré et ne recevant aucune fertilisation minérale.

Sous le houppier du néré, l'ajout de C+N permet d'observer les mêmes phénomènes. Cependant le maximum de la respiration est plus élevé (4,03) et apparaît un jour avant (4^{ème} jour) comparativement au hors houppier (figure 6b).

L'addition d'une petite dose de P à la courbe C+N (C+N+ΔP) induit une vitesse de respiration microbienne encore plus importante sous comme hors du houppier (figure 6a et 6b). Le maximum dans ce cas apparaît un jour avant et est plus élevé comparativement à l'addition de C+N seule. Après l'apparition de ce maximum une phase de diminution de la vitesse de dégagement du CO₂ intervient jusqu'au 12^{ème} jour hors du houppier et jusqu'au 16^{ème} jour sous le houppier. Un dégagement moins important de CO₂ est observé vers les derniers jours avec l'apparition d'un pic au 17^{ème} jour.

L'addition du glucose et du phosphore (C+P) induit une vitesse de dégagement de CO₂ plus importante sous les houppiers des arbres (figures 6c et 6d). Des pics d'amplitudes différentes sont observés avec un maximum de CO₂ dégagé hors du houppier de 2,57 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ atteint le 12^{ème} jour. Sous le houppier, le maximum est de 4,84 57 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ et est atteint dès le 1^{er} jour.

L'adjonction d'une faible dose d'azote (C+P+ΔN) entraîne une augmentation du maximum de la respiration hors du houppier (4,25 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹) comparée au C+P seul. Ce maximum est atteint le 5^{ème} jour. Sous le houppier le flux de CO₂ est encore plus important que hors du houppier. A la suite de ce maximum, un faible dégagement de CO₂ est observé vers la fin de l'expérience, matérialisant ainsi un pic au 17^{ème} jour.

Il faut noter qu'à partir du 8^{ème} jour le flux de CO₂ pour la courbe de C+P est au dessus de celle de C+P+ΔN jusqu'à la fin de l'expérience (figure 6c et 6d).

Le cumul du CO₂ dégagé à partir de l'addition des nutriments jusqu'au 21^{ème} jour est indiqué sur les figures 7a et 7b. Avec les échantillons prélevés hors du houppier, le plus petit cumul est observé avec l'addition de C+N (29,71 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹) et plus élevé avec l'addition C+P (34,69 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹). Quant aux échantillons de sol prélevés sous le houppier, le cumul minimum est obtenu avec l'addition de C seul (30,95 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹) et maximum avec l'addition de C+P (34,47 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹).

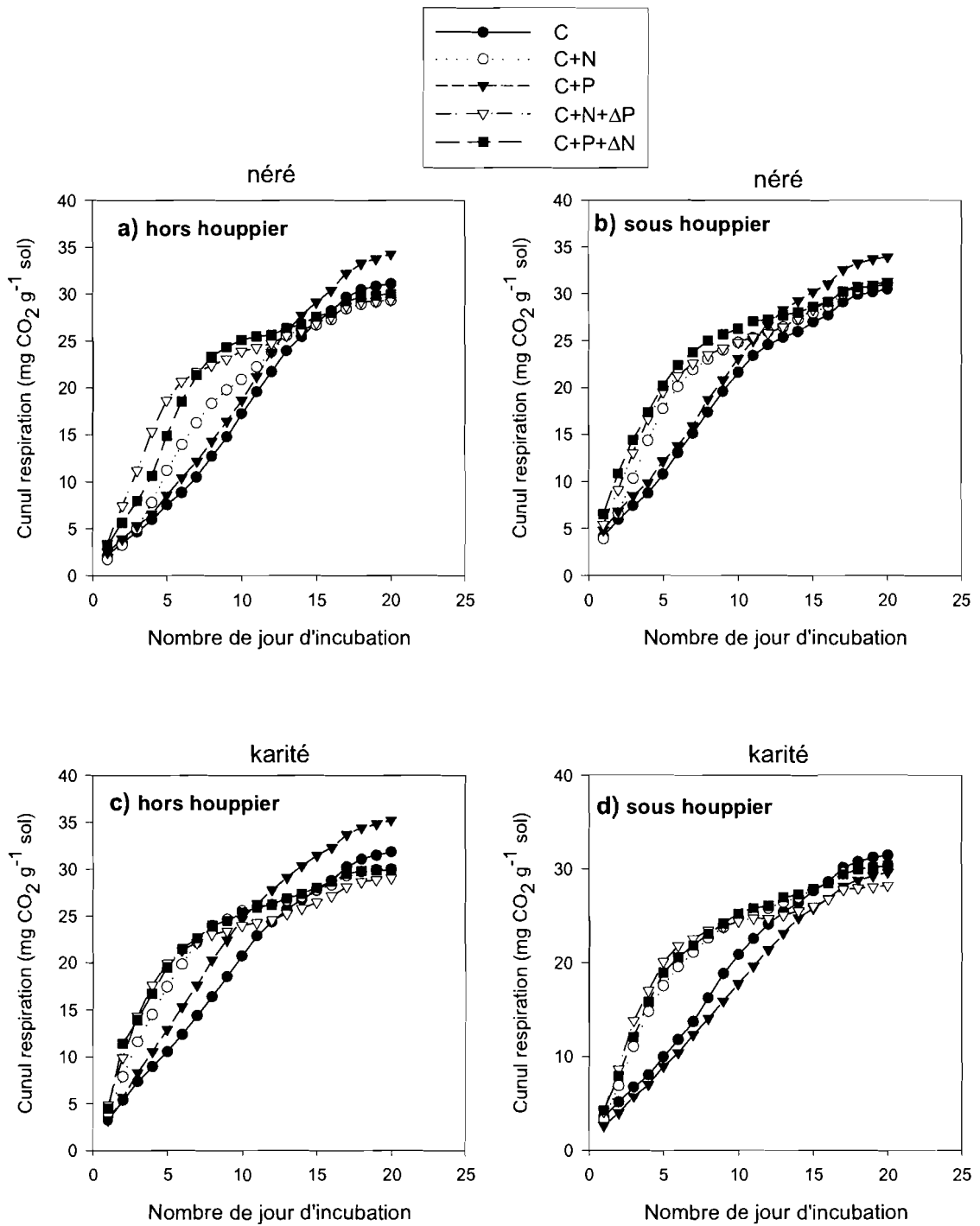


Figure 7 : Cumul de CO₂ dégagé pendant 21 jours après addition des nutriments aux sols prélevés hors et sous houppier du nééré et du karité.

4.1.2.2 Influence du karité

L'addition du glucose seul (C) au sol prélevé hors du houppier et sous le houppier entraîne une augmentation de la vitesse de dégagement du CO₂ avec un pic obtenu dès le 1^{er} jour et un second apparaissant entre le 5^{ème} et 8^{ème} jour (figure 5b). L'addition du C aux échantillons de sol recevant l'application au champ de l'urée et le TSP (TNP) montre une vitesse de dégagement de CO₂ plus élevé entre le 4^{ème} et le 10^{ème} jour comparativement au sol sans fertilisation (figure 5b).

L'addition du glucose et de l'azote (C+N) au sol prélevé hors et sous le houppier du karité entraîne l'apparition d'un maximum atteint respectivement au 2^{ème} et le 3^{ème} jour et est respectivement de 3,96 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ et de 4,18 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ (figures 8a et 8b). L'ajout d'une petite dose de P (C+N+ΔP) augmente la vitesse de dégagement de CO₂. Le maximum est de 4,69 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ avec les échantillons prélevés hors du houppier et est atteint le 2^{ème} jour (figure 8a). Avec les sols prélevés sous le houppier, ce maximum est atteint au 3^{ème} jour avec une vitesse de 5,35 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ (figure 8b).

L'addition du glucose et du phosphore (C+P) entraîne également une augmentation de la vitesse de respiration microbienne mais avec des flux plus faibles comparativement à l'ajout de C+N (figure 8c et 8d). La plus grande quantité de mg-CO₂ est émise dès le 1^{er} jour avec 2,96 mg mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ et 3,10mg mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ respectivement sous et hors du houppier.

L'addition d'une petite dose de N (C+P+ΔN) entraîne une augmentation sensible de la respiration microbienne. Le maximum de la respiration microbienne intervient le 2^{ème} jour sous et hors du houppier du karité et est de 4,5mg mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ et de 7,63mg mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ respectivement hors et sous le houppier (figure 8c et 8d).

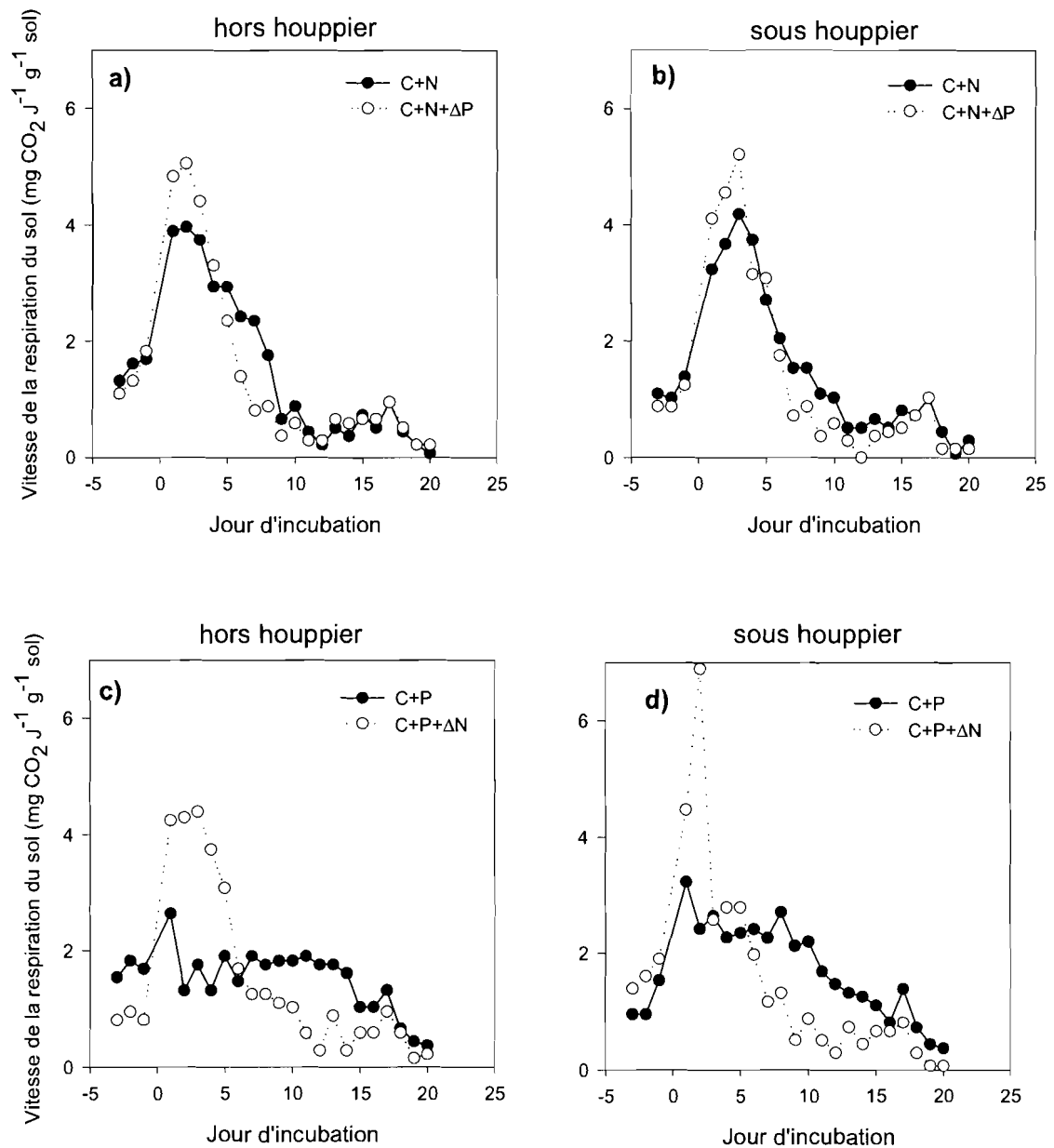


Figure 8 : Cinétique de la respiration des microorganismes des sols prélevés dans les parcelles situées hors et sous houppier du karité et ne recevant aucune fertilisation minérale

Avec les échantillons de sol prélevés dans les parcelles du traitement « TNP », la vitesse de dégagement du CO₂ est plus élevée comparativement à celle observée avec le sol du traitement sans fertilisation. Les courbes obtenues avec les additions « C+N » et « C+N+ΔP » sont quasiment confondues. Cependant les maximums diffèrent avec un flux de CO₂ plus important avec l'addition de « C+N+ΔP » (figure 9a).

Avec la fertilisation au champ, le maximum de CO₂ dégagé est de 4,47 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ (atteint le 1^{er} jour) et de 7,26 mg-CO₂ j⁻¹ g⁻¹ (atteint le 2^{ème} jour) avec l'ajout respectivement de « C+P » et « C+N+ΔN (figure 9b).

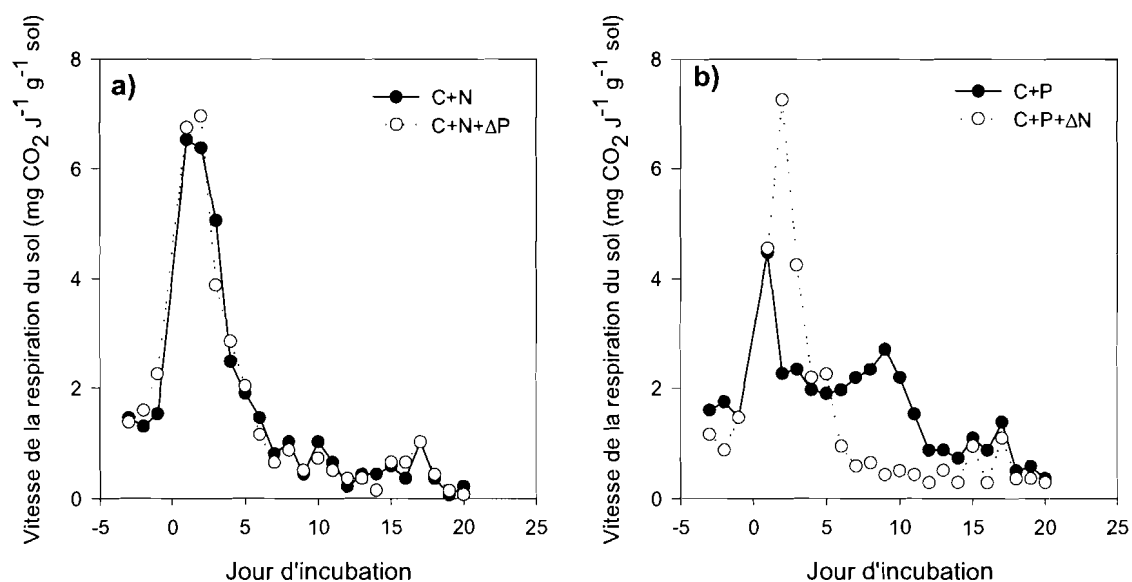


Figure 9 : Cinétique de la respiration des microorganismes des sols prélevés dans les parcelles recevant l'application d'urée et de TSP situées sous le houppier du karité.

D'une manière constante, les courbes du cumul de CO₂ dégagé indiquent un point d'inflexion autour du 11^{ème} jour (figures 7 et 10). Avant ce point, les courbes des additions « C » et « C+P » sont quasiment confondues et sont en dessous des autres. Par contre après ce point, la courbe « C+P » est au dessus des autres courbes et l'addition « C+N » a induit les plus faibles quantités de CO₂ dégagé.

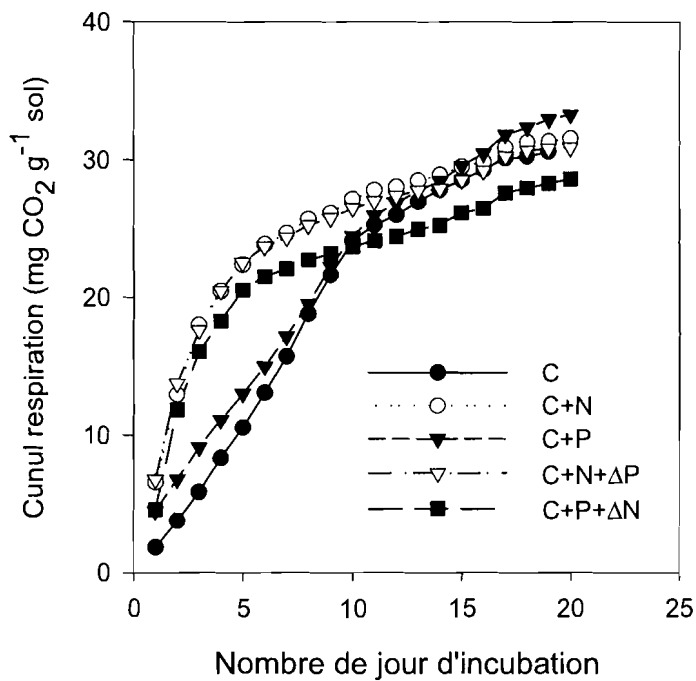


Figure 10 : Cumul de CO₂ dégagé pendant 21 jours après addition des nutriments aux sols prélevés sous houppier du karité dans le traitement recevant au champ la fertilisation azotée et phosphatée «TNP».

4.1.3 Phosphore et azote disponibles pour les microbes

Les quantités de P utilisables par les microorganismes du sol sont comprises entre 5 et 8 mg-P kg⁻¹ sol et représentent entre 6% et 10% du P-total du sol (tableau 20). L'application du TSP au champ (traitement TNP) augmente drastiquement le P disponible pour les microbes à 26,17 mg-P kg⁻¹ sol, ce qui représente 31,7% du P total. La plus petite quantité de P utilisable par les microbes est trouvée avec les échantillons prélevés sous le houppier du néré. Quant à N disponible pour les microbes, les valeurs sont plus faibles que celles du P et sont comprises entre 0,26 mg-N kg⁻¹ sol trouvé avec les échantillons prélevés sous le karité à 0,47 mg-N kg⁻¹ sol pour les échantillons prélevés sous le néré (tableau 20). L'application de l'urée au champ (traitement TNP) a ici aussi augmenté N disponible pour les microbes.

Tableau 20: Effet du houppier du karité et du néré sur le phosphore et l'azote disponibles pour les microorganismes du sol.

Les valeurs entre parenthèses représentent le pourcentage par rapport au P-total.

	Karité			Néré	
	Sous houppier	Hors houppier	Traitement TNP	Sous houppier	Hors houppier
Phosphore disponible pour les microorganismes (mg-P kg ⁻¹ sol)	7,15 (8,3%)	6,35 (8,3%)	26,17 (31,7%)	5,08 (6,5%)	7,94 (9,5%)
Azote disponible pour les microorganismes (mg-N kg ⁻¹ sol)	0,26	nd	0,62	0,47	0,38

4.2 Discussion

Dans le parc agroforestier à karité et à néré, la mesure de la respiration de base (BR) indique que la présence du houppier favorise la respiration des microorganismes du sol. L'une des raisons serait les teneurs élevées des éléments accessibles aux microorganismes du sol (carbone et substances nutritives) observés sous le houppier (Kessler, 1997 et Bayala et *al.*, 2006). Les déjections des oiseaux et des petits ruminants recherchant l'ombre pourraient contribuer à augmenter les teneurs en éléments utilisables par les microorganismes du sol. Gnankambary et *al.*, (2008) ont abouti aux mêmes conclusions dans le parc agroforestier à karité et à *Faidherbia albida* dans la zone sud soudanienne du Burkina. Traoré et *al.*, (2007) ont aussi rapporté une plus grande activité microbienne sous diverses espèces d'Acacia comparé aux espaces hors influence de leur houppier.

La vitesse initiale de respiration des microorganismes du sol après addition de glucose (C) est plus importante que la respiration de base. Cela signifie que le C, utilisé pour la synthèse des cellules, et comme source d'énergie, est un facteur primordial dans l'activité des microorganismes. En effet, l'addition de N et P sans C n'a entraîné aucune réponse des microorganismes (courbes non présentée). La baisse continue de la vitesse de dégagement du CO₂ témoigne de l'épuisement du stock de C. Plusieurs auteurs ont obtenu des résultats similaires après addition de substrat (Ilstedt et *al.*, 2005, Tekley et al. 2005, Gnankambary et *al.*, 2008). De même, Nordgren (1992) observe que l'ajout du glucose seul au sol induit une augmentation exponentielle de la respiration initiale suivie d'un plateau dont l'importance dépend de la quantité de nutriment disponible. Ilstedt et *al.*, (2005) constatent que l'activité des

microorganismes hétérotrophes est limitée surtout par la disponibilité et la qualité du carbone, dont l'utilisation est conditionnée par la disponibilité des éléments nutritifs principalement N et P.

L'addition du C en combinaison avec N et/ou P induit un accroissement de la vitesse de la respiration avec des maxima apparaissant à différents temps selon les substrats, ce qui traduit une limitation à la fois de N et du P à l'activité des microorganismes des sols étudiés.

Le maximum de la vitesse de la respiration microbienne des sols prélevés dans le parc agroforestier était plus élevée avec l'addition « C+N » qu'avec l'addition « C+P », indiquant que dans ces sols, l'azote était plus limitant comparativement au P. En plus, les maxima de la vitesse de respiration des microorganismes du sol et le cumul des courbes de la respiration du sol sont plus faibles avec l'addition « C+P » c'est-à-dire en condition où N est limitant qu'avec l'addition « C+N » donc en condition limitée par le P. Des études en cours sur des Lixisols de Saria au Burkina Faso menées par Ouattara K. et Gnankambary Z. (données non publiées) pour évaluer l'influence du labour et des amendements organiques et minéraux sur les rendements des cultures et les propriétés biologiques ont montré des résultats similaires. Tekley et al. (2006) travaillant sur des Andosols d'Éthiopie ont rapporté que ces sols sont uniquement limités par N. Par contre, les études de Gnankambary et al. (2008), menées à Dossi (Burkina Faso) dans les parcs à karité et à *Faidherbia albida*, (sur des Régosol et Cambisol), et ceux de Ilstedt et al. (2003) avec des Acrisols de Malaisie ont clairement indiqué que dans ces sols, c'est plutôt le P qui est l'élément limitant à la respiration des microorganismes du sol. Par exemple, dans les études de Gnankambary et al., (2008), le maximum observé avec l'addition « C+P » apparaît à 80 h après addition des nutriments, tandis qu'avec l'addition « C+N », le maximum apparaît 46h plus tard comparativement à « C+P ».

Avec les échantillons prélevés sous le néré, l'addition de P (en combinaison avec C) a entraîné une augmentation plus importante de la vitesse de respiration des microorganismes comparativement à l'addition de N suggérant que dans cette partie le P est plus limitant que N. Par contre, l'inverse est observé avec le karité impliquant ainsi que N est plus limitant que P sous le karité. Bayala et al., (2003) avaient aussi rapporté les mêmes constats de limitation de P et N pour la production du mil. De plus les valeurs de N et P disponibles pour les microorganismes (tableau 19) confortent nos conclusions.

Les courbes respirométriques montrent aussi que la limitation du P à l'activité des microorganismes du sol est moindre avec le karité comparativement au néré. Ce résultat

s'explique par les teneurs des fractions labiles du P (P-membrane et P-NaHCO₃), donc facilement assimilables par les microorganismes du sol et aussi en P-total dans la zone d'influence du karité comparativement à celle du néré.

La vitesse de respiration des microorganismes du sol montrent qu'avec l'addition des substrats (C+N et C+P), l'activité des microorganismes est plus importante sous le houppier des arbres qu'en dehors, suggérant alors que la limitation des nutriments est plus importante hors des houppiers. Les analyses des échantillons de sols confirment en effet que les teneurs en P et en MO sont plus élevées sous le houppier des arbres.

L'addition des nutriments P (C+P et C+P+ΔN) et N (C+N et C+N+ΔP) sur les échantillons de sol entraîne des courbes d'allure différentes. Toutefois, l'ensemble des courbes de respiration indique un pic d'amplitude moyenne au 17^{ème} jour. Ce pic pourrait s'expliquer par la dégradation de substances organiques récalcitrantes telles que les lignines qui sont en teneur importante dans les feuilles des deux espèces (tableau 1). Les études précédentes faisaient cas de deux pics qui correspondaient à la réponse microbienne à deux pools de nutriments, le 1^{er} correspondant à une petite fraction de N rapidement disponible et le second, à la fraction de N la plus importante qui est lentement disponible (Teklay et al., 2006). Gnankambary et al. (2008) remarquent que cette seconde fraction de N peut être l'ion ammonium (NH₄⁺) fixé sur les interstices des particules argileuses, ou provenant de la matière organique réfractaire difficilement disponible. Ces mêmes auteurs attribuaient ces pics, par ailleurs, à l'existence de différents types de communauté microbienne (celle préalablement existante et celle induite par l'addition du glucose et des substances nutritives).

Les pics supplémentaires observés dans notre étude peuvent être dus à des artefacts durant le test d'incubation. Une augmentation de la température par exemple se traduisait également par une augmentation du flux de CO₂ du sol (Jensen et al., 1996 et Thibault, 2007).

4.3 Conclusion

L'activité microbienne estimée à partir du flux du CO₂ du sol a montré que cette activité est plus importante sous les ligneux. Les résultats montrent que hors des houppiers et sous le houppier du karité l'azote (N) est l'élément le plus limitant à l'activité microbienne. Cependant sous le houppier du néré le P est l'élément limitant l'activité des microorganismes. Les résultats indiquent en effet que les quantités de P et N immédiatement disponibles aux

microorganismes sont plus importantes sous le karité que hors de son houppier. Cependant le P est plus disponible hors que sous le houppier du néré.

CONCLUSION GENERALE

Dans le contexte actuel de pauvreté et de dégradation continue de la fertilité des terres, l'adoption de techniques régénératrices de la fertilité et moins coûteuses est indispensable. La pauvreté des sols en matière organique, en phosphore et en azote constitue les contraintes majeures de la production agricole au Burkina Faso et particulièrement dans la localité de Saponé. Le parc agroforestier constitue de nos jours l'alternative à la fertilisation minérale dans le paysage agricole de Saponé. Les espèces ligneuses les plus représentatives de ce mode d'exploitation dans cette localité sont le néré et le karité.

La présente étude avait pour objectifs d'évaluer les performances du sorgho sous le karité et le néré, la contribution de ces ligneux à l'amélioration des différentes fractions du phosphore et la limitation des éléments minéraux (N et P) à la respiration microbienne en présence du carbone.

Nos résultats ont montré que:

- ❖ Le rendement du sorgho est plus élevé sous le houppier du karité comparativement au néré. Le rendement grain était en moyenne de 452 kg ha^{-1} sous le karité et de 411 kg ha^{-1} sous le néré. Par contre le rendement matière sèche était plus élevé sous le houppier du néré que sous le karité. Il était de 756 kg ha^{-1} et de 671 kg ha^{-1} respectivement sous le néré et le karité. Toutefois, ces différences n'étaient statistiquement significatives.
- ❖ Les fertilisants minéraux appliqués sous ces deux espèces ont présenté des effets variables. L'application de l'urée seule (TN) et l'urée en combinaison avec le TSP (TNP) ont entraîné une augmentation des rendements aussi bien sous le karité que sous le néré comparativement au control (T0). Cependant ces deux traitements (TN et TNP) ont un effet plus significatif sous le néré que sous le karité. L'application du TSP seul (TP) a donné des rendements (grain et matière sèche) faibles par rapport au control.
- ❖ Ces deux espèces contribuent au stock total du phosphore (P), P assimilable (P Bray et P Olsen) et des différentes fractions de P. En effet, l'analyse des échantillons de sol au laboratoire a montré que les teneurs du P total de même que les différentes fractions de P (P-résine ; P- NaHCO_3 ; P- NaOH et P- HCl) sont plus élevées (non significatif) sous les houppiers qu'au niveau des parcelles situées hors de l'influence des houppiers. Les

analyses de laboratoire montrent aussi que les teneurs du P total et des diverses formes de P dans le sol sont également élevées sous le houppier du karité que sous le néré.

- ❖ La fertilisation minérale phosphatée (TN et TNP) augmente la teneur du P sous ces espèces, avec une augmentation statistiquement significative de la teneur du P assimilable (P-Bray) et des fractions P-résine et P-NaHCO₃, qui représentent le P labile facilement accessible aux plantes.
- ❖ Le flux journalier de CO₂ a été plus important pour les sols prélevés sous les houppiers que ceux prélevés hors des houppiers. Il a été de même plus élevé sous le karité comparativement au néré. L'addition des divers substrats (C, N et P) permet une augmentation considérable de la vitesse initiale de dégagement de CO₂ avec des pics apparaissant à des temps et amplitudes différents. En présence de carbone, la vitesse initiale de dégagement du CO₂ est plus importante avec l'addition de N qu'avec P au niveau du karité. L'inverse est observé au niveau du néré.

Le pool de P accessible aux microorganismes est plus élevé que celui de N. Le P est plus disponible sous le karité tandis que le N est plus disponible sous le néré.

Les conclusions de cette étude viennent réaffirmer les capacités des systèmes agroforestiers à améliorer et à maintenir la fertilité du sol et par conséquent à induire une augmentation de la production. L'activité microbienne plus intense sous les ligneux, permet ainsi une augmentation des teneurs des éléments accessibles aux cultures. Cette étude montre que dans un système agroforestier, l'amélioration de la fertilité des terres par les arbres est fonction de l'espèce ligneuse. Les résultats sur la respiration du sol en fonction du type de gestion (application de fertilisant, présence ou absence d'arbre) des espaces cultivés constituent des données importants dans le débat sur la séquestration du carbone, le mécanisme de développement propre et les changements climatiques. Une telle étude devrait s'étendre à d'autres systèmes et à d'autres conditions environnementales afin de permettre de savoir si les systèmes parcs constituent des puits ou des sources de carbone par un bilan plus global. Cela constituera une avancée significative pour le monde scientifique mais surtout pour les acteurs à la base et les décideurs politiques dans la quête de la promotion de systèmes d'exploitation des terres qui garantissent une gestion saine de notre environnement en contribuant, entre autres, à la réduction du CO₂ dans l'atmosphère.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Alexandre D.Y., 2002.** Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne : Les arbres des champs du plateau central au Burkina Faso. IRD-Karthala. 220p
- **Arbonnier M., 2004.** Trees, shrubs and lianas of West African dry zone. CIRAD-MARGRAF-MNHN. Pp 573
- **Barber, S.A. 1995.** Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. New York, USA, John Wiley & Sons. 2nd edition 384p
- **Bationo A., 2004.** Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa. Academy Science Publishers (ASP) in association with the Tropical Soil Biology and Fertility Institute of CIAT (International Center for Tropical Agriculture). 608p
- **Bationo A., Waswa B., Kihara J., Kimetu J., 2007.** Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. 1091pp
- **Bationo A., Tabo R., Waswa B., Okeyo J, Kihara J., Fosu M. and Kaboré S., 2008.** Synthesis of soil, water and nutrient management research in the Volta Basin. 332p
- **Bayala J., Teklehaimanot Z. and Ouédraogo S. J., 2002.** Millet production under pruned tree crown in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 54, 203 - 214
- **Bayala J., Mando A. et Ouédraogo S. J., 2003.** Managing *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* prunings for crop production and improved soil properties in the Sub-Saharan zone in Burkina Faso. *Arid Land Research and Management* 17, 283-296.
- **Bayala J., Mando A., Ouédraogo S. J. et Teklehaimanot Z., 2005.** Nutrient release from decomposing leaf mulches of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) under semi-arid conditions in Burkina Faso, West Africa. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 533-539.

- **Bayala J., Balesdent J., Marol C., Zapata F., Teklehaimanot Z., Ouedraogo S. J., 2006.** Relative contribution of trees and crops to soil carbon content in a parkland system in Burkina Faso using variations in natural ¹³C abundance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76, 193–201.
- **Bayala J., Ouédraogo S. J., Ong C. K., 2009.** Early growth performance and water use of planted West African provenances of *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn (karité) in Gonsé, Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 75, 117–127
- **Bazié H. R., 2006.** Effet de la fertilization minérale sur la décomposition d'un mélange de feuilles dans un parc agroforestier de BONI. *Memoire IDR/Agronomie UPB-Bobo* ; 60p.
- **Belsky A. J., Amundson R. G., Duxbury J. M., Riha S. J., Ali A. R., Mwonga S. M., 1989.** The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *J. Appl. Ecol.* 26, 1005-1024
- **Berger A., Grouzis M., Fournier C., 1996.** The water status of six woody species coexisting in the sahel (Ferlo Senegal). *Journal of Tropical Ecology* 12, 607 – 627
- **Bernhard-Reversat F., 1982.** Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38, 321- 332.
- **Blanke M. M., 1996.** Soil respiration in an apple orchard. *Environmental and Experimental Botany* 36, 339 – 348
- **Boffa J-M. 2000.** West African agroforestry parklands: key to conservation and sustainable management. *Unasylva* 200, 11-16.
- **Bonkougou E. G., 1987.** Monographie du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.F.) Hepper, espèce agroforestière à usages multiples. 67p.
- **Bonkougou E. G., 1987.** Monographie du néré (*Parkia biglobosa*, jacq. Benth.), espèce agroforestière à usages multiples. IRBET, 49p
- **Bonkougou G. E., Djimé M., Ayuk E. T., Zoungrana I., Tchoundjeu Z. et Niang A., 2002.** Les monographies Sahéliennes N° 11 : L'agroforesterie, un outil performant pour la gestion des ressources naturelles et la lutte contre la désertification au sahel:

Bilan de dix années d'expérience en recherche développement et perspectives. INSAH ; 88p

- **Bonzi M., 2002.** Evaluation et déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre du Burkina Faso: Etude par traçage isotopique ^{15}N au cours d'essais en station et en milieu paysan. Doctorat Sciences Agronomiques INLP. ENSAIA, Nancy, 136 p
- **Breman H. et Kessler J. J., 1995.** Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the Sahelian countries. Springer Verlag, Berlin. 340 p.
- **Breman H. et Kessler J. J., 1997.** The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *European Journal of Agronomy* 7, 25 – 33
- **Brussard L., 1998.** Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied soil Ecology* 9, 123-135.
- **Bunasols, 1997.** Etude morpho-pédologique de la Province du Bazèga. Rapport technique N° 106
- **Cross A. F. et Schlesinger H. W., 1995.** A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Application to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64, 195 – 214
- **Demers I., 2008.** Formes et disponibilité du phosphore de composts utilisés comme amendements de sols agricoles. Mémoire maître ès sciences (M.Sc). Faculté des études supérieures de l'université Laval. 92p
- **Derroire G., Jacq F., Laporte C., Mba C. N., 2002.** Respiration du sol : Recherche de facteurs explicatifs de la respiration du sol dans la forêt de Paracou. *Ecologie des Forêts de Guyane*. 23 p.
- **FAO, 1984.** Fertilizer and plant nutrition guide. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* No. 9. Rome.
- **FAO, 1988.** Revised legend of soils map of the world 1/5 000 000. *Soils resources Report* 60. FAO, Rome.
- **FAO, 1995.** Integrated plant nutrition systems, by R. Dudal & R.N. Roy, eds. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* No. 12. Rome

- **Fosu M. et Tetteh F.M., 2008.** Soil organic matter and nitrogen in Ghanaian soils: A review. In Synthesis of soil, water and nutrient management research in the Volta Basin. 67- 81
- **Gnankambary Z., Bayala J., Malmer A., Nyberg G., Hien V., 2008.** Decomposition and nutrient release from mixed plant litters of contrasting quality in an agroforestry parkland in the south-Sudanese zone of West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 82, 1–13
- **Gnankambary Z., Ilstedt U., Nyberg G., Hien V., Malmer A., 2008.** Nitrogen and phosphorus limitation of soil respiration in two tropical agroforestry parklands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: the effects of tree canopy and fertilization. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 350 – 359
- **Gobat J.M., Aragno M. et Mathey W., 1998.** Le sol vivant: bases de pédologie et de biologie des sols. Coll. Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 523p.
- **Gobat J.M.,** La vie sous vos pieds.
http://www.toutelagriculture.fr/uploads/tx_hhaficar/biologie_sol2.pdf. accédé le 5 octobre 2008
- **Grouzis M. et Akpo E. E., 1998.** Dynamique des interactions entre arbre et herbe en milieu sahélien. Influence de l'arbre sur la structure herbacée. *Acacia au Sénégal* 37 – 46
- **Grouzis M. et Akpo E., 2006.** Interaction arbre – herbe au sahel. *Sécheresse*, 17, 318 – 325
- **Guinko S., 1984.** Contribution à l'étude de la végétation et de la flore de Haute Volta. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III. 318 p.
- **Ilstedt U., Nordgren A., Malmer A., 2000.** Optimum soil water for soil respiration before and after amendement with glucose in humid tropical acrisols and a boreal mor layer. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1591 – 1599

- **Ilstedt U., Giesler R., Nordgren A., Malmer A., 2003.** Changes in soil chemical and microbial properties after a wildfire in a tropical rainforest in Sabah, Malaysia. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 1071 - 1078
- **Ilstedt U. et Singh S., 2005.** Nitrogen and phosphorus limitation of microbial respiration in a tropical phosphorus-fixing Acrisol (Ultisol) compared with organic compost. *Soil Biology and Biochemistry* 37, pp 1407 – 1410
- **Ilstedt U., Singh S., Nordgren A., 2007.** Using perlite as a substrate carrier for measuring microbial available phosphorus by respiration kinetics in soil. *Biology and Fertility of Soils* 43, 503 – 510
- **Jensen L. S., Mueller T., Tate K. R., Ross D. J., Magid J., Nielsen N. E., 1996.** Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ: A comparison of two chamber methods. *Soil Biology Biochemistry* 28, 1297 – 1306
- **Kessler J. J. et Breman H., 1991.** The potential of agroforestry to increase primary production in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Agroforestry Systems* 13, 41 - 62.
- **Kessler J. J., 1992.** The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 17, 97 – 118.
- **Kessler J. J. et Geerling C., 1994.** Le profil de l'environnement du Burkina Faso. Université agronomique de Wageningen, 63 p.
- **King K. F. S. et Chandler M. T., 1978.** The wasted lands; the programme of work of the International Council for Research in Agroforestry. ICRAF, Nairobi
- **Kolawole G. O. et Tian G., 2007.** Phosphorus fractionation and crop performance on an Alfisol amended with phosphate rock combined with or without plant residues. *African Journal of Biotechnology* 6, 1972 – 1978
- **Kutsch W. L., Staack A., Wotzel J., Middelhoff U. et Kappen L., 2001.** Field measurements of root respiration and total soil respiration in an alder forest. *New Phytologist* 150, 157-168

MENTION BIEN
 Burkina Faso

- **Lal R., 1991.** Myths and scientific realities of agroforestry as a strategy for sustainable management for soils in the tropics. In: Stewart BA, *Advances in soil science*, vol. 15. Springer, Berlin Heidelberg New York 15, 91-137
- **Li Y., Xu M., Sun J. O., Cui W., 2004.** Effects of root and litter exclusion on soil CO₂ efflux and microbial biomass in wet tropical forests. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 2111-2114
- **Lompo F., Bonzi M., Bado B. V., Gnankambary Z., Ouandaogo N., Sedogo P. M., Assa A., 2008.** Influence à long terme des modes de gestion de la fertilité sur les états, les formes, les fractions et le bilan du phosphore d'un lixisol du Burkina en culture de sorgho. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 2, 175 – 184
- **Lundgren B., 1982.** Introduction. *Agroforestry Systems* 1, 3-6
- **Mackay A.D. et Syers J.K., 1986.** Effect of phosphate, calcium, and pH on the dissolution of a phosphate rock in soil. *Fertilizers Research.*, 10, 175-184.
- **Marschner H., 1995.** Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press Ltd., Harcourt Brace et Co. Publishers. 2nd edition 889p
- **Marstorp, H., 1997.** Kinetically defined litter fractions based on respiration measurement. *CAB International Driver by Nature: Plant litter quality and decomposition.* 5p
- **Maydell V. H. J., 1992.** Les arbres et arbustes du sahel: leurs caractéristiques et leurs utilisations. GTZ, Eschborn.Germany. 532 p.
- **Michael G. R. et Beverly E. L., 2005.** Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry* 73, 3 – 27
- **Nizinski J., Dayau S., Valancogne C. et Morand D., 1992.** Estimation du flux de sève du kiwi par bilan de chaleur en conditions semi-contrôlées. *Cahier Orstom, série Pédologie.* 2, 373-379
- **Nordgren A., Bääth E., et Söderström B., 1988.** Evaluation of soil respiration characteristics to assess heavy metal effects on soil microorganisms using glutamic acid as substrat. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 949 – 954

- **Nordgren A., 1992.** A method for determining microbially available N and P in an organic soil, *Biology and Fertility of Soils* 13, 195 – 199.
- **Nwoke O. C., Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Osonubi O., Merckx R., 2003.** Assesment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. *Agriculture Ecosystems and Environment* 100, 285 – 294
- **Ong C. K. et Leakey R. R. B., 1999.** Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforestry Systems* 45, 109–129
- **Pieri C., 1989.** Fertilité des terres de savane. Bilan de trente (30) ans de recherches et de développement au sud du Sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD/IRAT (Montpellier). 444 p.
- **Poff R. J., 1996.** Effects of silvicultural practices and wildfire on productivity of forest soils. Pages 477–495 *in* Sierra Nevada Ecosystem Project: final report to Congress, Volume II, assessments and scientific basis for management options. University of California, Davis, California.
- **Raich J. W. et Schlesinger W. H., 1992.** The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44B, 81–99.
- **Sawadogo O., 2002.** L'influence des modes de gestion de la fertilité sur le statut du phosphore d'un sol ferrugineux tropical. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural (IDR). 66p
- **Sedogo M. P., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures. Thèse de Docteur Ingénieur, INPL, Nancy. 195 p.
- **Sedogo M. P., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous cultures : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Docteur Es- Sciences, FAST, Abidjan. 295 p.
- **Shaheen M. S., Tsadilas C. D., Stamatiadis S., 2007.** Inorganic phosphorus forms in some entisoils of Egypt. *Geoderma* 142, 217 – 225

- **Siyan M., Chen J., North M., Erickson E. H., Bresee M., Moine L. J., 2004.** Short term effects of experimental burning and thinning on soil respiration in an old growth mixed-conifer forest. *Environmental Management* 33, 148 – 159
- **Smithson P.C. et Sanchez P. A., 2001.** Plant nutritional problems in marginal soils of developing countries, pp 32 – 68, in Arihara J., Okada K., Srunivasan A. *Plant nutrient acquisition: New perspective*. Springer-Verlag, Tokyo, Japan.
- **Soltner D., 1994.** Les bases de la production végétale. tome 1 : Le sol et son amélioration. *Sciences et techniques agricoles*. 464p
- **Solter D., 1995.** Les bases de la production végétale. tome 2 : le climat. 328p
- **Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A., Janssen B.H., 1993.** Calculating soil nutrient balances at different scales: I. Supra-national scale. *Fert. Res* 35, 227-23
- **Stotzky A., et Norman A. G., 1961.** Factors limiting microbial activities in soil: The effect of sulfur. *Archive Für Mikrobiologie* 40, 370 – 382
- **Teklay T. et Malmer A., 2004.** Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shade-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 777 – 786.
- **Teklay, T., Nordgren, A., Malmer, A., 2006.** Soil respiration characteristics of tropical soils from agricultural and forestry land-uses at Wondo Genet (Ethiopia) in response to C, N and P amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 125–133
- **Tian G., Kang B. T. et Brussard L., 1993.** Mulching effect of plant residues with chemically contrasting on maize growth and nutrient accumulation. *Plant soil* 153: 179-187.
- **Tiquet J. P. B., 1985.** Les arbres de brousse au Burkina Faso. Collection « Appui au monde rural », série « Techniques » n°2. 95p.
- **Tomlinson H., Teklehaimanot Z., Traoré A. et Olapade E., 1995.** Soil amelioration and root symbioses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. In West Africa. *Agroforestry Systems* 30, 145 – 149

- **Tomlinson H., Traoré A., Teklehaimanot Z., 1998.** An investigation of the root distribution of *Parkia biglobosa* in Burkina Faso, West Africa, using a logarithmic spiral trench. *Forest Ecology and Management* 107, 173 – 182
- **Traoré, S., Thiombiano, L., Millogo, J.R., Guinko, S. 2007.** Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. *Applied Soil Ecology* 35, 660-669.
- **Trouche G., Da S., Palé G., Sohero A., Ouédraogo O., Gosso G. D., 2001.** Evaluation participative de nouvelles variétés de sorgho au Burkina. Sélection participative, Montpellier, 5-6 septembre 2001. 36 - 55
- **Yougbaré H., 2008.** Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes dans le bassin versant du Zondoma. Mémoire IDR/Agronomie ; UPB-Bobo, 55p.
- **Young A., 1986.** Effects of trees on soils. In: Prinsley, R.T. and Swift, M.J. (eds). *Amelioration of soil by trees*. Commonwealth science Council, London UK. 10-19.
- **Zomboudré G., Zombré G., Ouédraogo M., Guinko S., 2005.** Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel : cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) dans la zone Est du Burkina Faso. *Biotechnologie Agronomie Société Environnement* 9, 75 – 85

ANNEXES

Annexes 1

Corrélation de Pearson réalisée avec le logiciel Minitab (V.14) montrant les relations entre les différentes formes du phosphore et les caractéristiques chimiques du sol.

Les niveaux de probabilité sont: ns, non significatif; * $P < 0,05$; ** $0,05 < P < 0,001$; et *** $0,001 < P < 0,0001$

	P-Bray	P-Olsen	P- membrane	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-HCl	P-total	pH_eau	pH_KCl
P-Olsen	0,718***								
P-Résine	0,908***	0,718***							
P-NaHCO ₃	0,684***	0,796***	0,672***						
P-NaOH	0,681***	0,674***	0,653***	0,661***					
P-HCl	0,847***	0,658***	0,673***	0,666***	0,785***				
P-total	0,568*	0,468**	0,513**	0,488**	0,731***	0,706***			
pH-eau	0,23 ^{ns}	0,281ns	0,255ns	0,3ns	0,424**	0,328*	0,360*		
pH-KCl	0,358*	0,283ns	0,322*	0,307ns	0,507**	0,434**	0,528***	0,860***	
MO	0,277ns	0,284ns	0,202ns	0,094ns	0,462**	0,376ns	0,338*	-0,143ns	0,159ns

Annexe 2

Caractéristiques dendrométriques des différents arbres concernés par cette étude et surface des zones d'expérimentation

N° d'arbre	Rayon Nord (m)	Rayon Sud (m)	Rayon Est (m)	Rayon Ouest (m)	Rayon Moyen (m)	Surface houppier (m ²)	Surface d'une zone (m ²)
Néré 6	6,8	4,4	6	3,7	5,2	85,7	10,7
Néré 8	8,1	8,72	9	7,9	8,4	223,1	27,9
Néré 9	8,8	8,2	5,6	8,5	7,8	189,8	23,7
Néré 10	7,4	8,5	8,2	8,2	8,1	204,7	25,6
Karité 6	4	4	4,8	3,7	4,1	53,4	6,7
Karité 7	4,1	5,2	4,4	3,6	4,3	58,7	7,3
Karité 9	3,7	5	3,7	3,6	4	50,2	6,3
Karité 12	4,4	6,6	4,8	4,5	5,1	80,9	10,1

Annexe 3

Exemple de résultat d'analyse statistique

25/04/2009 10:34:38

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Retrieving worksheet from file:
'E:\GNANK\Partenaires\Student\Diarra\Stat\fractionnement.xls'
Worksheet was saved on 25/04/2009

Results for: sous houppier

General Linear Model: Bray versus Espèces, Treatment

Factor	Type	Levels	Values
Espèces	fixed	2	Karité, Néré
Treatment	fixed	4	Control, N, NP, P

Analysis of Variance for Bray, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Espèces	1	393.47	393.47	393.47	8.54	0.007
Treatment	3	1613.06	1613.06	537.69	11.67	0.000
Espèces*Treatment	3	357.80	357.80	119.27	2.59	0.076
Error	24	1106.11	1106.11	46.09		
Total	31	3470.44				

S = 6.78882 R-Sq = 68.13% R-Sq(adj) = 58.83%

Unusual Observations for Bray

Obs	Bray	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	5.9009	19.5469	3.3944	-13.6459	-2.32 R
16	44.9947	30.0580	3.3944	14.9368	2.54 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Least Squares Means for Bray

Espèces		Mean	SE Mean
Karité		15.490	1.697
Néré		8.477	1.697
Treatment			
Control		5.387	2.400
N		4.652	2.400
NP		17.026	2.400
P		20.869	2.400
Espèces*Treatment			
Karité	Control	7.007	3.394
Karité	N	5.348	3.394
Karité	NP	19.547	3.394
Karité	P	30.058	3.394
Néré	Control	3.767	3.394
Néré	N	3.956	3.394
Néré	NP	14.505	3.394
Néré	P	11.679	3.394

Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Intervals
Response Variable Bray