

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DE PHOTOS	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ANNEXES.....	viii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	ix
RESUME.....	x
ABSTRACT	xi
CHAPITRE1: INTRODUCTION	1
1.1. CONTEXTE.....	1
1.2. PROBLEMATIQUE	2
1.3. OBJECTIFS	2
1.3.1. Objectif général	3
1.3.2. Objectifs spécifiques	3
1.4. IMPORTANCE DE L'ETUDE.....	3
1.5. LIMITE DE L'ETUDE	3
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTERATURE	3
2.1. DEFINITION ET CARACTERISATION DES TERMES ET CONCEPTS	4
2.1.1. Nodulation.....	4
2.1.2. Fixation d'azote.....	4
2.1.3. Acidité des sols.....	4
2.1.4. Types d'acidités et mesure.....	4
2.1.5. Facteurs influençant la mesure du pH.....	5
2.2. PHENOMENE DE NODULATION	6

2.2.1. Initiation de la nodulation	6
2.2.2. Symbiotes	7
2.2.3. Formation des nodosités.....	7
2.2.4. Phénomènes de reconnaissance.....	8
2.2.5. Infection par les bactéries et initiation des nodosités.....	8
2.2.6. Maturation et sénescence des nodosités	8
2.2.7. Facteurs limitant de la formation des nodosités	8
2.2.8. Fonctionnement des nodosités	9
2.2.9. Symbiosome	10
2.2.10. Nodules ineffectifs et nodules effectifs	10
2.3. FIXATION DE L'AZOTE.....	11
2.3.1. Etapes de la fixation d'azote	11
2.3.2. Classification des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote atmosphérique	11
2.3.3. Cycle de l'azote	12
2.4. CARACTERISATION DES DIFFERENTS TYPES DE SOLS	13
2.4.1. Les sols organiques hydromorphes et tourbeux	13
2.4.2. Les sols faiblement ferrallitiques	15
CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES	15
3.1. CHOIX DES SITES	16
3.1.1. Localisation des sites d'observation.....	16
3.1.2. Climat	18
3.1.2.1. Pluviométrie et Température	18
3.1.2.2. Hydrographie.....	19
3.1.2.3. Végétation	19
3.1.3. Principaux types de sols	19
3.2. MATERIEL VEGETAL	20
3.3. CONDUITE DES OBSERVATIONS	20
3.3.1. Définition des carrés d'observation.....	20

3.3.2. Variables expérimentales	20
3.3.3. Collecte des données	21
3.3.3.1. Comptage des nodules.....	21
3.3.3.2. Prélèvements et conditionnement des échantillons des sols	21
3.4. MESURE DU pH.....	22
3.4.1. Etalonnage du pH-mètre.....	22
3.4.1.1. Etalonnage sur un point.....	22
3.4.1.2. Etalonnage sur deux points	23
3.4.1.3. Etalonnage sur trois points	23
3.4.2. Préparation de l'échantillon	24
3.4.3. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH).....	25
3.5. ANALYSE DES DONNEES	26
CHAPITRE 4 : RESULTATS.....	27
4.1. EVALUATION DU NOMBRE MOYEN DES NODULES TOTAUX ET FONCTIONNELS PAR PLANT DANS LES SOLS	27
4.2. NODULATION DE L'ARACHIDE ET DATE DES OBSERVATIONS	28
4.2.1. Secteur de Bibémi	28
4.2.2. Secteur de Padarmé	29
4.3. MOYENNES DES NODULES TOTAUX PAR SITE ET PAR VARIETE	29
4.3.1. Secteur de Bibémi	29
4.3.2. Secteur de Padarmé	30
4.4. MOYENNES DES PROPORTIONS DE NODULES FONCTIONNELS PAR SITE ET PAR VARIETE	32
4.4.1. Secteur de Bibémi	32
4.4.2. Secteur de Padarmé	33
4.5. ACIDITE DU SOL.....	34
4.5.1. Secteur de Bibémi	34
4.5.2. Secteur de Padarmé	35
4.6. RELATIONS NOMBRE DE NODULES TOTAUX ET pH	36

4.6.1. Secteur Bibémi	36
4.6.2. Secteur Padarmé	37
4.7. RELATIONS PROPORTION DE NODULES FONCTIONNELS ET pH.....	38
4.7.1. Secteur Bibémi	38
4.7.2. Secteur Padarmé	39
CHAPITRE 5 : DISCUSSION.....	40
5.1. VARIATION DU pH ET DIFFERENTS TYPES DE SOLS	40
5.2. COMPORTEMENT DES VARIETES (LOCALES) D'ARACHIDE (<i>Arachis hypogaea</i> L.) SUR LES DIFFERENTS TYPES DE SOLS	40
5.2.1. Nodules totaux.....	40
5.2.2. Nodules fonctionnels.....	41
5.2.3. Proportions des nodules fonctionnels.....	42
5.3. RELATIONS ENTRE LA NODULATION ET LE pH DES SOLS	42
5.3.1. Sur sols hydromorphes organiques et tourbeux	42
5.3.2. Sur sols faiblement ferrallitiques.....	43
CHAPITRE 6 : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	44
BIBLIOGRAPHIE :	45
ANNEXES	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Précipitations mensuelles des secteurs de Bibémi et de Padarmé.....	18
Tableau 2 : Organisation des observations dans les secteurs de Bibémi et de padarmé	22
Tableau 3: Appréciation de l'acidité du sol	26
Tableau 4 : Variation du nombre moyen des nodules totaux et fonctionnels	27

LISTE DE PHOTOS

Photo 1 : Partie souterraine d'un plant d'arachide portant des nodosités	10
Photo 2 : Coupe transversale des nodules effectifs ou fonctionnels	11
Photo 3 : Echantillons de sols tamisés et conditionnés dans des sachets en plastiques	22
Photo 4: Un pH-mètre avec des solutions tampons.....	23
Photo 5 : (a) un distillateur , (b) des solutions de KCl 1M et (c) des échantillons de sols.	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Différentes étapes de la formation des nodules	8
Figure 2 : Cycle de l'azote	13
Figure 3 : Carte montrant la localisation des villages d'étude	17
Figure 4 : Nombre moyen de nodules totaux dans le secteur de Bibémi.....	28
Figure 5: Nombre moyen de nodules totaux dans le secteur de Padarmé	29
Figure 6: Moyenne des nodules totaux pour le secteur de Bibémi	29
Figure 7: Moyenne des nodules totaux par variété dans le secteur de Bibémi	30
Figure 8: Moyenne des nodules totaux pour le secteur de Padarmé	30
Figure 9 : Moyenne des nodules totaux par variété dans le secteur de Padarmé	31
Figure 10 : Moyenne des proportions des nodules fonctionnels pour le secteur de Bibémi....	32
Figure 11 : Moyenne de proportion de nodules fonctionnels dans le secteur de Bibémi.....	32
Figure 12 : Moyenne des proportions de nodules pour le secteur de Padarmé dans.....	33
Figure 13 : Moyenne des proportions des nodules fonctionnels dans le secteur de Padarmé..	34
Figure 14 : Relation entre les moyennes de pH eau dans le secteur de Bibémi.....	34
Figure 15 : Relation entre les moyennes de pH KCl dans le secteur de Bibémi.....	35
Figure 16 : Relation entre les moyennes de pH eau dans le secteur de Padarmé.....	35
Figure 17 : Relation entre les moyennes de pH KCl dans le secteur de Padarmé	36
Figure 18 : Relations entre nombre de nodules totaux dans le secteur de Bibémi.....	36
Figure 19 : Relations entre nombre de nodules totaux dans le secteur de Padarmé.....	37
Figure 20 : Proportion des nodules en fonction du pH eau dans secteur Bibémi.	38
Figure 21 : Proportion des nodules en fonction du pH eau dans le secteur Padarmé	39

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'observation des nodules par parcelle	53
Annexe 2: Fiche parcellaire.....	54
Annexe 3 : Fiche tamisage des sols.....	55
Annexe 4 : Fiche mesure pH des sols	56
Annexe 5 : Analyse de la variance dans les différents villages du secteur de Bibémi.....	57
Annexe 6 : Analyse de la variance dans les différents villages du secteur de Padarmé	57

LISTE DES ABREVIATIONS

ATP: Adénosine Triphosphate

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

DPGT : Projet de Développement Paysannal et Gestion des Terroirs (DPGT)

FAO: Food and Agriculture Organization of United nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

GPS: Global Positional System

IRAD : Institut de Recherche Agricole pour le Développement

JAS : Jours Après Semis

KCl: Chlorure de Potassium

pH: Potentiel d'Hydrogène

SODECOTON : Société de Développement du Coton du Cameroun

RESUME

La présente étude a été menée dans le but d'examiner la capacité des différentes variétés d'arachide à produire des nodules totaux et des nodules fonctionnels en fonction de divers paramètres du sol en particulier l'acidité, dans la région du Nord-Cameroun. A cet effet, des observations ont été effectuées sur des parcelles paysannes d'arachide dans les secteurs de la Société de Développement du Coton du Cameroun (SODECOTON) à Bibémi et à Padarmé respectivement sur des sols organiques hydromorphes et tourbeux et sur des sols faiblement ferrallitiques. Le matériel végétal observé dans ces zones a surtout concerné trois variétés locales d'arachide *Kampala*, *Mérédji* et *Latiya*. Sur les sols organiques hydromorphes et tourbeux de Bibémi ayant un pH proche de la neutralité, la variété *Mérédji* a produit un nombre moyen total de 116 nodules dont 33 fonctionnels, soit une proportion de 39%, la variété *Kampala* par contre a produit moins de nodules totaux (89), mais une plus forte proportion de nodules fonctionnels (44%). Sur les sols faiblement ferrallitiques de Padarmé à pH acide, un nombre plus faible de nodules totaux (variant entre 22 et 56) a été enregistré avec une proportion plus faible de nodules fonctionnels (entre 28% et 38%).

Donc, cette étude a démontré que la nodulation des différentes variétés d'arachides est meilleure sur les sols organiques hydromorphes et tourbeux à pH neutre et modérée sur les sols faiblement ferrallitiques à pH acide. La relation entre nodulation de l'arachide et le pH du sol pourrait bien être suggérée par ces observations, bien que des études complémentaires plus détaillées soient nécessaires pour étayer et confirmer cette assertion.

Mots clés : Nodules totaux, nodules fonctionnels, variétés d'arachides, pH du sol, types de sols.

ABSTRACT

The present study was undertaken in order to determine the capacity of the groundnut to produce functional nodules in function of soil characteristics in particularly the acidity in the North region of Cameroon. For that purpose, the observations were made on peasant plots of groundnuts to the SODECOTON sectors of *Bibémi* and *Padarmé* respectively on organic hydromorphic soils and peaty and on slightly ferrallitic soils. The vegetal materials observed in these zones were concerned three local varieties Kampala, Mérédji and Latiya. On organic hydromorphic soils of *Bibémi* get pH near to neutrality, Mérédji variety produced 116 total nodules whose 33 functional and the proportion corresponding is 39%, the Kampala variety nevertheless produced less total nodules but has the higher proportion of functional nodules (44%). On slightly ferrallitic soils of *Padarmé* which has acid pH, we registered weak number of total nodules and the corresponding proportion of functional nodules is also lower. In this way, this study showed that the nodulation of different varieties of groundnut is best on organic hydromorphic soils and peaty which has neutral pH and moderately on slightly ferrallitic soils which acid pH.

The relation between nodulation of groundnut and the pH of soil could be suggested by these observations, but more details studies will be necessary to confirm this assertion.

Key-words: Total nodules, functional nodules, varieties of groundnuts, pH of soil, types of soils.

CHAPITRE1: INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

Le Sommet mondial sur l'alimentation organisé par la FAO en 1996 pour répondre d'une part aux nombreuses crises alimentaires affectant les pays les plus pauvres du monde en général et ceux d'Afrique en particulier, et d'autre part pour répondre aux craintes exprimées par la communauté internationale quant à la capacité de l'agriculture à nourrir la population en constante augmentation, s'est fixé comme résolution de réduire de 400 millions le nombre de gens souffrant toujours de la faim d'ici à 2015 (Heimo, 2004). En Afrique, la production végétale est caractérisée par une faible productivité à cause de la faible utilisation des intrants et de la dégradation des sols (Harrison, 1991 ; Guimbirké Garba, 2011). Une dégradation qui peut être due soit à la surexploitation de sols cultivables, soit au surpâturage et même à l'inadéquation entre le prix des intrants agricoles et celui des cultures vivrières ayant pour conséquence un appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs et une baisse de la productivité des cultures (Dugué et *al.*, 2004).

Ainsi donc, dans les régions tropicales d'Afrique, les sols acides constituent une grande réserve de terres à cultiver, susceptible d'apporter une contribution majeure à la résolution du problème de l'alimentation humaine. La gestion de ces sols adaptée à une production continue et durable est devenue une préoccupation majeure (Sanchez et Smith, 1987 ; IBSRAM, 1989 ; Djondo, 1995). Au Cameroun, la dégradation des sols dans la zone cotonnière a atteint des proportions alarmantes (M'biandoun, 2005). Dans le Nord du pays, les sols les plus répandus et les plus cultivés appartiennent aux classes des sols ferrugineux différenciés, des halomorphes et des vertisols (Brabant et Gavaud, 1985). Les premiers, sont des sols acides et les seconds plutôt neutres voire légèrement basiques. Leur mise en culture continue provoque généralement une acidification (Fesneau, 2004 ; Guibert et *al* 2012), si bien qu'il n'est pas rare d'observer des sols ferrugineux avec des pH eau inférieurs à 5,5 au Nord-Cameroun et des vertisols devenus acides (Guyotte et *al.*, 1997). On rencontre également certaines classes de sols par endroit telles que les sols organiques hydromorphes et tourbeux et les sols ferrallitiques, constituant aussi une partie de la zone cotonnière. A cet effet, l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) en collaboration avec la Société de Développement du Coton du Cameroun (SODECOTON) et le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), se sont lancées à la recherche des voies et moyens permettant de repérer ou d'identifier les sols acides dans la zone cotonnière afin de réduire les pertes en rendement (Guibert et *al.*, 2012), tant pour le

cotonnier d'une part et d'autre part pour les cultures vivrières . Ceci en utilisant la capacité de l'arachide (*Arachis hypogaea L.*) à noduler. En 2011, une étude a été menée dont le but était de déterminer un indicateur d'acidité sur les sols ferrugineux. Ces derniers constituant alors la majeure partie des sols cultivables dans cette partie du Cameroun.

1.2. PROBLEMATIQUE

Dans la zone cotonnière camerounaise, les systèmes conventionnels de gestion des sols sont massivement adoptés (Gaudard et Asfom, 2004 ; Nadama, 2006). Ces pratiques, caractérisées par une exportation systématique des résidus végétaux, un travail du sol répété et une diminution des temps de jachère, contribuent à la dégradation rapide des sols (Boli *et al.*, 1991). A travers la convention entre la SODECOTON et le Projet de Développement Paysannal et de Gestion des Terroirs (DPGT), M'biandoun *et al.*, (2002), rapportent que l'intensification de la culture du cotonnier au Nord-Cameroun a entraîné une baisse progressive de la fertilité du sol et une baisse des rendements des cultures. L'absence de restitutions minérales en magnésium (Mg) et zinc (Zn), le lessivage des sols par des pluies violentes ainsi qu'un déséquilibre dans les proportions des bases échangeables concourent à l'acidification de ces sols. La protection ou la régénération de la fertilité des sols pour une agriculture durable, requiert l'élaboration et l'introduction des technologies conservatrices des ressources (FAO, 2001 ; Nadama, 2006). Les études menées par Marziah *et al* (1995) ont montré que l'arachide (*Arachis hypogaea L.*) produit un nombre réduit de nodules fonctionnels en sols acides. Une étude similaire a été menée par Guibert *et al* (2012) en milieu contrôlé dans l'une des antennes de l'IRAD de Garoua. Dans cette partie du pays, l'arachide est l'une des cultures exploitée par les paysans. A cet effet, il sera donc question de voir si la capacité à noduler de l'arachide pourrait être corrélée à l'acidité des sols et d'utiliser ce comportement comme indicateur d'acidité des sols. Des observations seront menées en milieux paysans, ceci dans le but d'amener les éléments de réponses aux questions suivantes :

- La nodulation de l'arachide peut-elle permettre de repérer les sols acides en milieux paysans?
- Le comptage de nodules de l'arachide peut-il être un indicateur de l'acidité des sols?
- La nodulation de l'arachide peut-elle être influencée par un type de sol ?

1.3. OBJECTIFS

1.3.1. Objectif général

Cette étude a pour objectif d'utiliser la capacité de l'arachide à produire des nodules fonctionnels pour déterminer la performance d'échelle d'acidité des sols.

1.3.2. Objectifs spécifiques

Comme déjà mentionné plus haut, une étude prospective a été menée lors de la campagne agricole 2010/2011. La présente étude vise à vérifier les résultats obtenus sur les sols ferrugineux sur grès quartzeux et voir si des résultats analogues peuvent être mis en évidence sur d'autres types de sols à savoir : les sols organiques hydromorphes et tourbeux et des sols faiblement ferrallitiques. De manière spécifique, il s'agit de

- déterminer les pH_{eau} et pH_{KCl} des sols des zones d'étude;
- déterminer le nombre des nodules des plants d'arachide;
- voir l'influence des paramètres des sols sur la nodulation en particulier le pH ;
- évaluer la capacité des différentes variétés d'arachide à noduler sur différents types de sols.

1.4. IMPORTANCE DE L'ETUDE

Cette étude vise à utiliser la capacité de l'arachide (*Arachis hypogaea L.*) à produire des nodules fonctionnels et à établir une relation entre cette nodulation et les différents paramètres du sol (acidité). Une telle relation surtout en ce qui concerne les sols acides, permettra alors de les identifier à temps et de les restaurer et par conséquent d'accroître la production.

1.5. LIMITE DE L'ETUDE

Les observations n'ont pas été réalisées sur tous les différents types de sols que l'on rencontre dans la zone.

CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTERATURE

2.1. DEFINITION ET CARACTERISATION DES TERMES ET CONCEPTS

2.1.1. Nodulation

La nodulation est l'aptitude à induire les renflements ou nodules sur les racines de la plante hôte par les bactéries. Les nodules sont formés au début du cycle sur la racine pivotante pour beaucoup des légumineuses. Elles poursuivent ensuite leur formation sur les racines périphériques, lorsque les plantes continuent de croître (Bergersen, 1982 ; Souhoré, 2010).

2.1.2. Fixation d'azote

La fixation de l'azote atmosphérique (N₂) se fait par plusieurs mécanismes dont le plus important et le plus connu est la fixation biologique par des micro-organismes libres ou vivants en symbiose avec certaines plantes comme les légumineuses (Haynes, 1986).

2.1.3. Acidité des sols

La notion d'acidité est liée à l'abondance des ions hydrogène dans le sol (Sparks, 1984 ; Djondo, 1995). L'acidité du sol est difficile à caractériser simplement (Sanchez, 1976 ; Gillman, 1991) et les valeurs de pH mesurées de façon très différentes (Dolling et Ritchie, 1985; Ritchie, 1989), ajoutent à la difficulté de cerner une notion qui est une représentation simplifiée d'une réalité (Mengel et Kirkby, 1982; Chamayou et Legros, 1989).

2.1.4. Types d'acidités et mesure

Les auteurs distinguent généralement trois types d'acidité (SSSA, 1987 ; Chamayou et Legros, 1989 ; Brady, 1990 ; Djondo, 1995) :

- *l'acidité actuelle* (libre, active ou réelle), due aux ions H⁺ présents dans la solution du sol. Elle est couramment appréciée par la mesure du pH, qui est le cologarithme de la concentration en ion H⁺ dans la solution. Cette mesure est réalisée sur une suspension de sol dans l'eau (pHeau) à l'aide d'une électrode reliée à un pH-mètre. Plusieurs auteurs (Schofield et Taylor, 1955; Bolt et Bruggenwert, 1978; Heliar et Porter, 1989) estiment cependant que cette mesure devrait se faire dans une solution d'électrolyte qui modifierait le moins possible la distribution des ions entre les surfaces des colloïdes et la solution du sol, c'est-à-dire dans un environnement proche de celui rencontré par les racines des plantes. Une solution ayant la même force ionique que la solution du sol et reconstituée à partir de la plupart des ions présents dans le sol fournirait la mesure de pH la plus réaliste. Ainsi, Dolling et Ritchie

(1985) estiment qu'une force ionique $i = 0,005$ est réaliste pour les sols qu'ils étudient alors que Gillman (1991) préconise la mesure dans une solution de CaCl_2 0,002 M dont la force ionique (0,006) est proche de la moyenne rencontrée dans les solutions de sols tropicaux acides.

- *l'acidité d'échange*, en relation avec H^+ et Al^{3+} extraits par une solution de sel non tamponnée, comme KCl M ou NaCl M. Elle est déterminée après déplacement et dosage des cations acides échangeables au pH du sol (H^+ et Al^{3+}), généralement avec une solution saline non tamponnée comme le KCl M. Plusieurs approches méthodologiques ont été préconisées:

- extraction unique dans un rapport 1/5 (Espiau et Peyronel, 1976) ou 1/2,5 (Uribe, 1989);
- double extraction dans le rapport 1/5 (Rouiller et al, 1980; Espiau, 1986 et 1987; Espiau et Pedro, 1989);
- extractions multiples, jusqu'à 20 fois (Amédée et Peech, 1976).

Après extraction au KCl M, trois modes d'analyse sont rencontrés:

- ✓ dosage des H^+ par pH-métrie ($[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$) et des Al^{3+} en spectrométrie d'absorption atomique, la somme donnant l'acidité d'échange, exprimée en $\text{cmol}(\text{H}^+) \text{kg}^{-1}$;
- ✓ titrage potentiométrique de l'extrait avec détermination des points d'inflexion sur les courbes dérivées, correspondant à Al^{3+} (Espiau et Peyronel, 1976; Espiau, 1986; Rouiller et al., 1980);
- ✓ titrage en point final absolu (pH 8,4), ou virage de la phénolphtaléine (Uribe, 1989).

Ces méthodes ne donnent pas toutes les mêmes résultats. En dépit de ces problèmes d'ordre analytique, il apparaît que les valeurs de pH mesurées dans la solution de KCl M (pH_{KCl}) sont étroitement corrélées à l'acidité d'échange (Espiau et Peyronel, 1976).

- *l'acidité résiduelle* (ou *potentielle* ou *totale*) qui comprend en outre les fonctions acides du sol non ionisées en totalité. Elle ne peut pas être mesurée directement car elle englobe les charges variables dues aux sites acides de surface (Espiau, 1987; Rouiller et al, 1980) et peut être neutralisée par le calcaire ou tout autre produit alcalin.

Ces trois types d'acidité s'additionnent pour former l'acidité totale du sol.

2.1.5. Facteurs influençant la mesure du pH

Outre la composition et la concentration de la solution utilisée, la valeur du pH obtenue est influencée par d'autres facteurs, comme le mode de séchage et de stockage de l'échantillon entre le prélèvement et la mesure au laboratoire, le rapport sol/solution, la durée de contact entre le sol et la solution, l'agitation ou non de la suspension au moment de la mesure, la position de l'électrode dans la suspension, la température et la pression de CO₂ (Dolling et Ritchie, 1985; Gillman, 1991; Djondo, 1995).

La position de l'électrode dans la suspension (« effet suspension») se traduit par une valeur de pH plus élevée lorsque l'électrode est placée dans le surnageant que lorsqu'elle est immergée dans les particules de sol sédimentées (Sparks, 1984 ; Ritchie, 1989).

Dans la méthode française, le rapport sol/solution est conventionnellement fixé à 1/2,5 (Bruckert et Rouiller, 1979) et la mesure se fait dans le liquide surnageant, après agitation avec un temps de contact fixé à 30 minutes selon le Référentiel pédologique français (RPF, 1992 ; Djondo, 1995).

Il n'existe donc pas de méthode universelle de mesure du pH, en raison de la grande diversité des sols (Ritchie, 1989). Néanmoins, le pH d'un sol constitue un paramètre important pour apprécier la potentialité d'un sol à assurer la croissance des végétaux.

Si, d'une manière générale, on considère qu'un sol est acide dès que son pH est inférieur à 7, les termes utilisés pour qualifier la réaction du sol en fonction de la plage de pH peuvent être différents suivant les références utilisées.

Le pH n'étant cependant qu'un facteur d'intensité et non un facteur de capacité, il ne préjuge pas de la quantité de H⁺ susceptibles d'être libérés dans la solution du sol (Van Breemen, 1991 ; Djondo, 1995) et selon l'expression de Brady (1990) c'est «la partie visible de l'iceberg».

2.2. PHENOMENE DE NODULATION

2.2.1. Initiation de la nodulation

Westphal *et al.* (1985) ont montré que la nodulation commence au voisinage des racines par une stimulation de la prolifération des *Rhizobia* qui vivent libres dans la rhizosphère, sous forme de bâtonnets. A leur approche, l'extrémité des poils absorbants se courbe en forme de crosse. Les bactéries peuvent alors traverser la paroi du poil ainsi altéré, à la suite d'une lyse locale. Les bactéries sous la forme de bâtonnets, passent des poils au cortex. Dans le même temps, une région du cortex racinaire entre dans une phase de divisions mitotiques intenses. Le cordon bactérien, qui parfois se ramifie, atteint alors des cellules situées plus ou moins en

profondeur. Quelques bactéries sont alors libérées à l'extrémité du cordon d'infection dans des cellules du primordium nodulaire. Ces bactéries, qui ne s'étaient pas divisées dans le cordon, se mettent à proliférer et continuent d'envahir le nodule, qui croît de plus en plus et se charge d'un pigment rose, la leghémoglobine (Westphal *et al.*, 1985 ; Souhoré, 2010). La leghémoglobine est une chromoprotéine dont le groupement prosthétique ou hème, est identique à celui de l'hémoglobine. Entre temps, les bactéries ont pris des formes plus ou moins globuleuses, devenant ainsi des bactéroïdes, douées de propriétés nouvelles et capables de fixer l'azote atmosphérique.

2.2.2. Symbiotes

Les nodules sont gros ou petits, peu abondants ou nombreux et de formes variées sur les racines de la légumineuse (Tillard et Drevon, 1998). La répartition des nodules sur les racines est une caractéristique génotypique contrôlée par la plante. Certains génotypes sont incapables de former et de développer les nodules sur le système racinaire principal ou sur les racines secondaires (Burias *et al.*, 1989).

2.2.3. Formation des nodules

La formation des nodules implique une coordination entre l'expression des gènes des deux symbiotes. Vadez (1996) distingue quatre étapes dans le développement du nodule: infection, initiation, maturation et sénescence des nodules. Ces étapes sont présentées sur la figure 1.

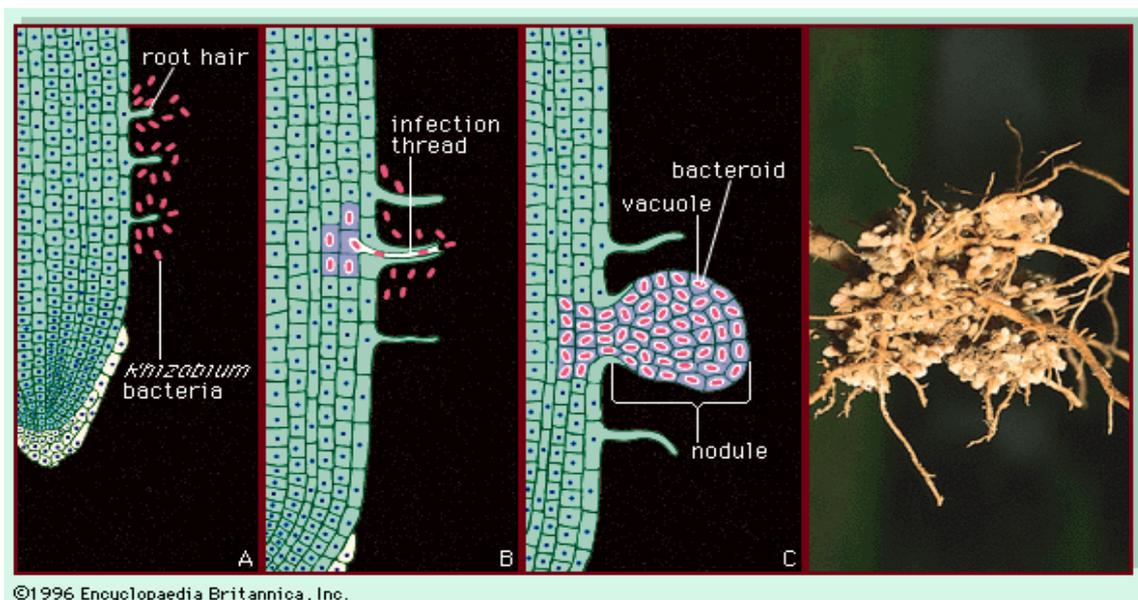


Figure 1: Différentes étapes de la formation des nodules (Source: ESA, 2008)

2.2.4. Phénomènes de reconnaissance

La reconnaissance mutuelle des deux symbiotes se fait par un échange de signaux moléculaires. Les racines des légumineuses sécrètent des flavonoïdes ou des chémoattracteurs qui induisent l'expression des gènes *Nod* chez les *Rhizobia spp* (Kammen, 1985). Les flavonoïdes racinaires sont impliqués dans la reconnaissance entre hôtes conduisant à une modification de la balance hormonale des tissus et/ou une augmentation de la sensibilité des tissus à ces hormones (Vadez, 1996). Les gènes *Nod*, signaux de la nodulation sont alors produits.

2.2.5. Infection par les bactéries et initiation des nodules

L'infection des nodules passe d'abord par le phénomène de reconnaissance mutuelle des symbiotes. Cette reconnaissance mutuelle est le stade initial de l'infection. La présence des facteurs *Nod* induit la déformation des poils absorbants. Leur structure assure la liaison du *Rhizobium* à des récepteurs membranaires glycoprotéiques répartis à la pointe des poils absorbants. Les glycoprotéines en particulier les lectines émises pourraient jouer le rôle de liaison entre ces récepteurs et le facteur *Nod* qui serait enchâssé dans la paroi bactérienne (Vadez, 1996). L'infection échoue si le facteur *Nod* n'est pas bien reconnu par les récepteurs membranaires c'est-à-dire, s'il n'appartient pas à une souche compatible (Vadez, 1996).

2.2.6. Maturation et sénescence des nodules

La sénescence des nodules est due au vieillissement ou à la synthèse de phytoalexines en réponse à l'accumulation excessive de certains facteurs *Nod* dans l'espace pér bactéroidal. La sénescence peut aussi être due à des signaux systémiques des feuilles ou à une régulation hormonale qui résulte de l'activité protéolique accrue. Elle est également responsable de la réduction de l'activité de la nitrogénase après la floraison chez le soja. Le déclin n'est pas constaté chez le haricot. Ceci suggère que la phénologie de la plante et notamment le caractère indéterminé marqué de certaines espèces déterminent le maintien de l'activité de la nitrogénase au cours de la phase reproductive (Vadez, 1996 ; Souhoré, 2010).

2.2.7. Facteurs limitant de la formation des nodules

Les facteurs du milieu pouvant limiter la formation des nodules sont principalement: l'acidité du sol, l'humidité du sol, le déficit hydrique, la température et la lumière. Lorsque le pH du sol est inférieur à 4,5, la toxicité en ions aluminium augmente et dans ce cas les légumineuses à l'exception du niébé nodulent peu (Nwaga et Nkot, 1998). Un déficit hydrique entraîne une diminution très rapide de l'alimentation en oxygène des nodules et par conséquent une interruption de l'apport d'ATP à la nitrogénase (Obaton, 1992). Des températures comprises entre 20 et 30°C permettent la croissance des *Rhizobia* et leur habileté à former des nodules (Graham, 2000). La lumière est indispensable aux légumineuses pour la fixation de l'azote, car elle augmente l'approvisionnement en photosynthétats. A l'obscurité la leghémoglobine s'altère et l'intensité de la fixation est réduite. Mvondo Awono, (1997) cité par Guimbirké en 2011, avait observé que la nodulation et la fixation d'azote atmosphérique étaient fonction des techniques culturales, de l'itinéraire technique et des conditions pédoclimatiques. Un pH inférieur à 5,5 est considéré comme préjudiciable aux cultures et tous les auteurs s'accordent sur le fait qu'en deçà de cette valeur de pH, une correction de l'acidité est nécessaire.

2.2.8. Fonctionnement des nodules

Les nodules sont des excroissances de taille variables qui se forment à partir des cellules infectées par le *Rhizobium* qui se multiplient et se remplissent de bactéroïdes. Ces excroissances de forme sphérique ou allongée ou ellipsoïde, ne deviennent fonctionnelles qu'après la formation de la leghémoglobine et la nitrogénase (Westphal *et al.*, 1985). La leghémoglobine est la protéine la plus abondante du nodule et représente la ferroprotéine du cytosol des cellules infectées. Elle est responsable de la couleur rose-rouge à l'intérieur du nodule. La photo 1 nous présente la partie souterraine d'un plant d'arachide portant des nodules.

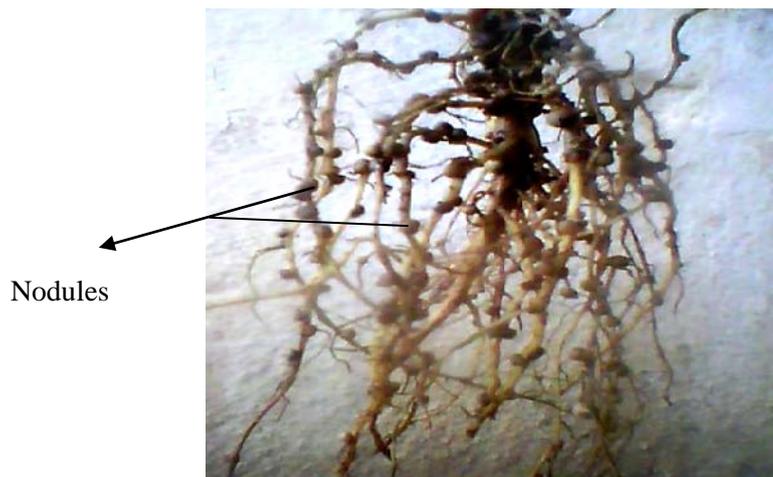


Photo 1: Partie souterraine d'un plant d'arachide portant des nodules (Echelle : ½)

2.2.9. Symbiosome

Le symbiosome est l'ensemble constitué d'une vésicule, avec sa membrane et ses bactéroïdes. C'est un organe où la bactérie est capable de réduire l'azote atmosphérique en ammonium par le mécanisme de la fixation de l'azote atmosphérique (Kammen, 1985). Les bactéries pénètrent individuellement par endocytose dans le cytoplasme de la cellule infectée pour former un symbiosome. Le symbiosome est constitué d'un ou de plusieurs bactéroïdes. Ce sont des formes symbiotiques de la bactérie. Ils sont présents dans la membrane pér bactéroidale. Dans la membrane pér bactéroidale, la maturation des bactéroïdes est marquée par l'apparition de nouveaux cytochromes et de la disparition de certains cytochromes. La division et l'accroissement de la taille des bactéries s'accompagnent de l'accumulation d'une forme de réserve carbonée: le polyhydroxybutyrate (Vadez, 1996).

2.2.10. Nodules ineffectifs et nodules effectifs

Les nodules effectifs sont des nodules capables de fixer l'azote (Bergersen, 1982). Ils contiennent de nombreux bactéroïdes et une pigmentation très développée. Ils présentent une coloration rose-rouge à la loupe: ils sont alors appelés de nodules fonctionnels (Somasegaram et Halliday, 1982). Les nodules ineffectifs présentent une coloration blanche laiteuse à la loupe : la symbiose y est inefficace. Les bactéroïdes présents dans ces nodules ne sont pas aptes à la transformation de l'azote en ammonium. C'est pour cette raison que Somasegaram et Halliday (1982) ont démontré qu'une bonne nodulation ne signifie pas que la symbiose est

efficace en termes de fixation d'azote atmosphérique. La figure 2 montre une coupe transversale des nodules effectifs traduisant l'activité de la nitrogénase.

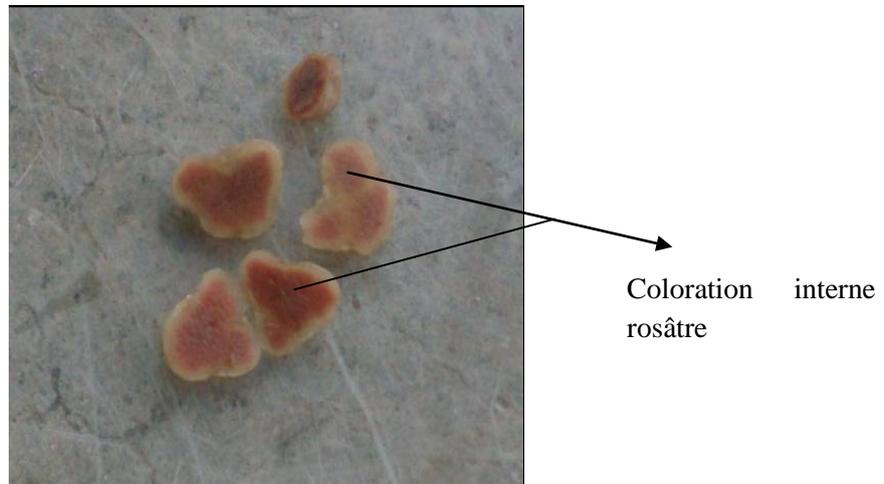
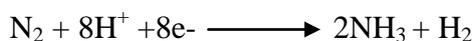


Photo 2: Coupe transversale des nodules effectifs ou fonctionnels (Echelle : 5/1)

2.3. FIXATION DE L'AZOTE

2.3.1. Etapes de la fixation d'azote

Le processus de la fixation consiste en la réduction de l'azote atmosphérique sous forme ammoniacale à l'intérieur des nodules. Elle est assurée par un complexe enzymatique appelé nitrogénase (Dixon et Wheeler, 1996). En présence d'ATP et d'un donneur d'électron, la nitrogénase fixe l'azote atmosphérique et produit l'ammoniac utilisable par la plante pour la synthèse des acides aminés (Nwaga, 1994; Dommergues *et al.*, 1999), selon la réaction suivante (Alexander, 1984):



La leghémoglobine contrôle le taux d'oxygène dont les teneurs élevées inhibent la nitrogénase et par conséquent la fixation de l'azote. A la sénescence, les nodules libèrent les bactéries dans le sol, avec un nombre réduit de *Rhizobia*. Les bactéroïdes ne sont pas capables de se multiplier hors des nodules.

2.3.2. Classification des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote atmosphérique

L'arachide comme la plupart des légumineuses vit en symbiose avec les bactéries fixatrices d'azote atmosphérique. Les bactéries symbiotiques fixatrices d'azote chez les légumineuses, appartiennent aux genres *Rhizobium*, *Azorhizobium*, *Allorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* et *Bradyrhizobium* (Anonyme 1, 2009). Cette symbiose résulte de la formation de nodules ou nodosités au niveau des racines ou des tiges (cas de certaines espèces du genre *Aeschynomene* et de *Sesbania rostrata*) à l'intérieur desquelles, les bactéries transformées en bactéroïdes fixent l'azote atmosphérique. Les nodules constituent ainsi le siège des échanges entre les deux partenaires, l'azote fixé est transféré à la plante-hôte et en retour les bactéries reçoivent les photosynthétats.

2.3.3. Cycle de l'azote

L'azote est un élément majeur dans la nutrition des plantes. En partant de l'azote atmosphérique N_2 , les différentes étapes de transformations sont présentées dans la figure 2 :

Fixation de l'azote gazeux. Cette fixation est le fait de bactéries symbiotiques ou de bactéries fixatrices libres d'azote. Le résultat principal de la fixation est l'incorporation de l'azote élémentaire dans les cellules des végétaux ou des micro-organismes ;

Formation des tissus végétaux et animaux. La formation de tissus a lieu suite à la fixation d'azote. Les tissus ainsi formés seront consommés par les animaux herbivores qui vont utiliser l'azote fixé pour la production de tissus animaux. Les herbivores seront à leur tour consommés par les carnivores qui produiront d'autres tissus ;

Production des déchets organiques. Les plantes par les racines, tiges et feuilles et dans une moindre mesure les animaux par les déjections et ou les carcasses, seront les principaux producteurs de déchets ;

Dégradation des déchets organiques. Sous l'action des organismes de la microfaune et de la microflore, les déchets organiques sont dégradés en composés organiques n'ayant plus de formes particulières. Le résultat principal est la formation de la matière organique du sol ;

Evolution des matières organiques. Sous l'action d'organismes et de micro-organismes telluriques divers, la matière organique passe par une série de stades intermédiaires avant de donner l'humus stable ;

Minéralisation de l'azote organique. L'humus stable poursuit une évolution très lente.

Durant cette évolution, l'azote organique est transformé en azote minéral. Cette transformation se réalise en deux phases:

- l'ammonisation: transformation azote organique en N ammoniacal ;
- la nitrification: transformation de l'azote ammoniacal en N nitrique.

Dénitrification et réorganisation de l'azote minéral. La dénitrification est le passage de l'azote nitrique à l'azote gazeux. La réorganisation est le retour de la forme nitrique à la forme organique.

Toutes ces transformations réalisées grâce à l'activité microbienne du sol font que l'azote passe du monde minéral au monde vivant (végétal puis animal) et que les déchets reviennent à l'état minéral. La figure 2 représente le cycle biogéochimique de l'azote.

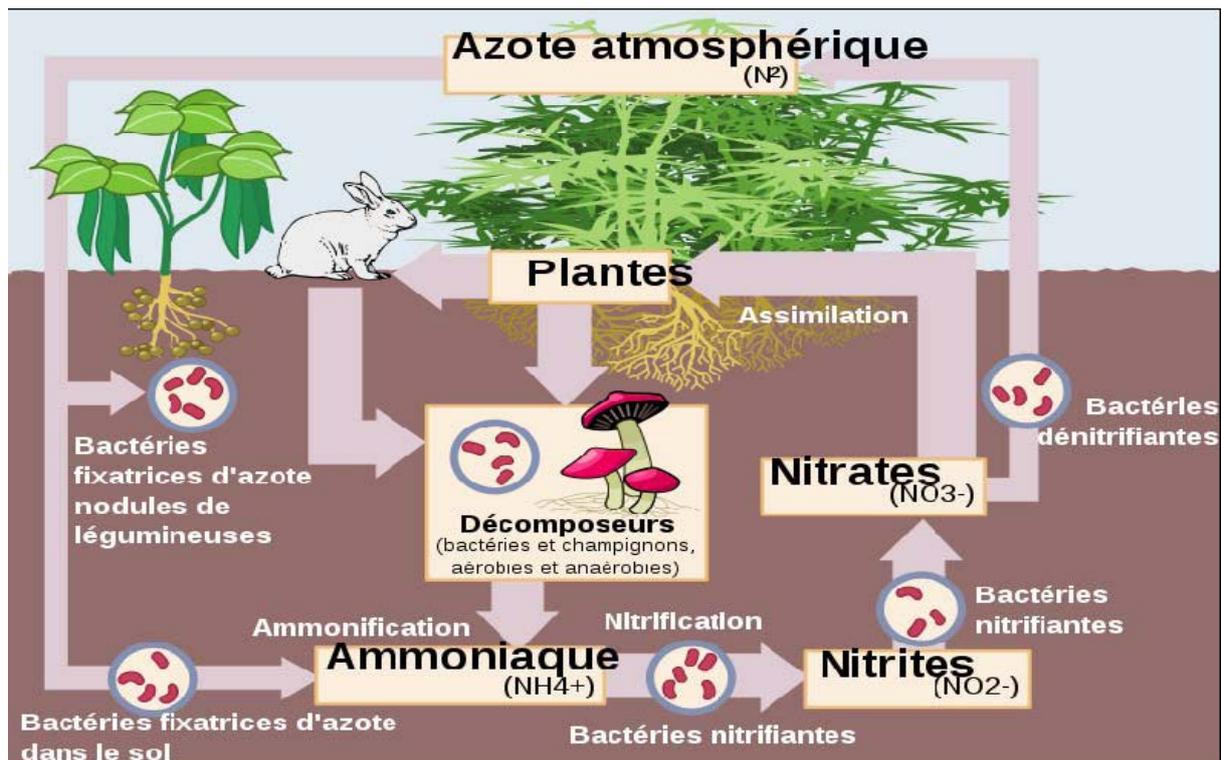


Figure 2: Cycle de l'azote (Source: ESA, 2008)

2.4. CARACTERISATION DES DIFFERENTS TYPES DE SOLS

2.4.1. Les sols organiques hydromorphes et tourbeux

Dabin et Maignien (1979), regroupent ces sols extrêmement hétérogènes selon leurs propriétés texturales, leurs richesses chimiques, etc. Leurs caractéristiques sont influencées par la nature des matériaux environnants et surtout par le régime de balancement de nappe ou par les inondations auxquels ils sont soumis. Lorsque ce dernier facteur est dominant, les sols sont dits hydromorphes, sinon à hydromorphie, et se caractérisent par la présence de gley ou de pseudogley à faible profondeur dont les plus utilisables sont les sols alluviaux. La tourbe est un produit organique riche en débris peu transformés et présentant une structure

spongieuse. Le gley est un horizon à engorgement prolongé où la réduction l'emporte sur l'oxydation, il est caractérisé par des teintes dominantes grises, verdâtres ou bleutées. Le pseudogley est un horizon à engorgement périodique où se produit une alternance de réduction et oxydation avec redistribution du fer. Cet horizon est bariolé avec alternance de taches ou bandes grisâtres et ocre ou rouilles.

Au Cameroun, leur étendue totale est assez modeste, car l'évolution vers d'autres catégories de sols est assez rapide (sols hydromorphes en particulier). Les principales zones où ils ont été notés sont les bords du Logone, les plaines des petites ou moyennes rivières du Diamaré, de la Bénoué, du Wouri. Ils sont aussi caractérisés, d'une part, par le fer qui est réduit en milieu asphyxique (couleur verte du fer ferreux) et oxydé en milieu aéré (couleur rouille du fer ferrique) et, d'autre part, par la faible vitesse de décomposition et d'humification de la matière organique qui va donc s'accumuler (Duchaufour, 1977). Mais le plus souvent, l'importance de la saison sèche conduit à des sols hydromorphes peu organiques et minéraux. D'une manière générale, le profil des rivières, assez tourmenté, ne se prête guère au dépôt d'alluvions (Martin et Segalen, 1964).

Lorsqu'une nappe d'eau perchée, temporaire ou permanente, affecte les couches les plus superficielles d'un sol, les conditions asphyxiques qui règnent dans les horizons du sol le font évoluer vers un sol hydromorphe. D'après Duchaufour 1977, les sols hydromorphes se forment naturellement :

- dans les stations basses qui subissent la battance des nappes phréatiques comme les fonds de vallée, les cuvettes, etc. (sols à gley, tourbes) ;
- dans les stations où les sols sont très riches en argiles lesquels s'opposent au drainage et créent les conditions requises à l'hydromorphie (Pélosols et Planosols) ;
- dans des sols lessivés dès lors que l'entraînement et l'accumulation des argiles dans l'horizon Bt crée les conditions d'une nappe perchée plus ou moins permanente (sols à pseudogley ou sols glossiques).

Les plus utilisables sont les sols alluviaux des larges vallées où des aménagements, soit de drainage, soit d'irrigation, peuvent être entrepris. Ce sont des sols à texture limono-argileuse à argileuse, assez humifères (2 à 5 % de matière organique), moyennement acides (pH 5,5 - 6,0), qui conviennent bien à la riziculture inondée et qui s'est propagée avec succès dans de nombreuses régions d'Afrique occidentale (Dabin et Maignien, 1979). Des sols limoneux peu

acides, ou des sols organiques semi-tourbeux de certaines vallées forestières ont pu, après drainage et amendement, porter des cultures de canne à sucre ou de bananier.

2.4.2. Les sols faiblement ferrallitiques

Selon Martin et Segalen (1964), les sols ferrallitiques sont subdivisés en sols faiblement ferrallitiques, typiques, humifères et indurés. Donc, les sols faiblement ferrallitiques constituent la transition entre les sols ferrallitiques et les sols ferrugineux tropicaux. Les sols faiblement ferrallitiques correspondent à des sols présentant un profil A B C, où l'horizon B est généralement peu développé. *L'horizon C* peut être encore assez épais sur roche acide, il est peu épais sur roche basique, mais cet horizon est beaucoup moins altéré que dans le cas des sols ferrallitiques ;

L'horizon B est caractérisé par un degré de saturation assez élevé, le contenu minéral est essentiellement de la kaolinite avec peu de minéraux 2:1 et des hydroxydes de fer sans hydroxydes d'aluminium. Les sous-groupes suivants ont été distingués :

- les sols peu développés par suite d'une position topographique particulière (rebord du plateau de l'Adamaoua) ;
- Les horizons A et B sont assez peu importants et l'horizon C assez épais n'est toutefois pas très altéré ;
- Les sols brun-jaune à brun-rouge dérivant de roches diverses, grès, schistes etc., présentent un développement du profil modeste ;
- Les sols ferrisoliques correspondent à des sols dont l'évolution générale est du type ferrallitiques, mais s'en écartent par suite d'une jeunesse plus grande (volcanisme, ou jeu de l'érosion). Ces sols présentent une épaisseur généralement plus faible du profil avec des fragments de roches ou de minéraux peu altérés encore présent, un degré de saturation plus élevé et une réserve minérale beaucoup plus forte.

Ces sols se rencontrent le plus souvent au Nord-Ouest de Yaoundé et dans l'Ouest du pays sur roche volcanique, ils sont particulièrement recherchés pour la culture du cacaoyer, du caféier et des cultures vivrières. Mais se rencontrent rarement dans le Nord du pays (Martin et Segalen, 1964).

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

3.1. CHOIX DES SITES

L'étude a été effectuée en milieux paysans dans la région administrative du Nord-Cameroun. Les villages ont été choisis avec la collaboration des certains responsables (chef de Région de Garoua, les chefs secteurs et les chefs de zones) de la SODECOTON par rapport à la culture étendue d'arachide dans cette Région et là où il y a problème de dégradation des sols. Cette étude vise également à étendre les résultats obtenus sur les sols ferrugineux sur grès quartzeux en 2011, sur d'autres types de sols que renferme la zone cotonnière du Nord Cameroun dont une grande proportion (60%) est constituée des sols ferrugineux.

3.1.1. Localisation des sites d'observation

La présente étude a été effectuée en milieux paysans dans les villages du secteur de Bibémi et du secteur de Padarmé, tous deux appartenant à la région SODECOTON de Garoua. En effet une étude similaire a été menée en 2011 sur les sols ferrugineux de la région SODECOTON de Garoua (secteur de Ngong et secteur de Gashiga) et de la région SODECOTON de Guider. Des essais en milieu contrôlé ont été également mis en place au niveau de l'antenne de l'IRAD à Djalingo, ceci dans le but de voir quel est le principal facteur qui peut être corrélé avec le pH du sol. Les coordonnées géographiques des différents sites d'observations sont les suivants :

➤ Secteur de Bibémi (N 09°18,613' / E 13°52,513'), constitué des sols hydromorphes organiques et tourbeux, est situé à 62 kilomètres (Km) de la ville de Garoua, limité au nord par le village Déringsing, au sud Pomla, à l'est Baksa et à l'ouest par Mayo-Baksa. Les villages concernés par cette étude dans le secteur sont : Bibémi 2 (N 09°18,364' / E13°52,548'), Déringsing (N 09°22,606' / E 13°55,905'), Laddé Goré (N 09°16,252' / E13°57,900') et Pomla (N 09°19,430' / E 13°49,250') ;

➤ Secteur de Padarmé (N 09°31,776' / E 14°03,604'), dominé par des sols faiblement ferrallitiques se situe à 107 Km de la ville de Garoua, et est limité au nord par la frontière Cameroun-Tchad, au sud Madjoldé, à l'est Mvouré et à l'ouest par Matchiri. Les villages concernés sont entre autre Boéli 2 (N 09°18,715' / E 14°10,522'), Kapanay (N009°19,820' / E014°12,270'), Lawa (N 09°19,547' / E 14°00,404') et Moundangré (N 09°24,401' / E 14°10,333').

La zone d'étude est présentée par la figure 3 :

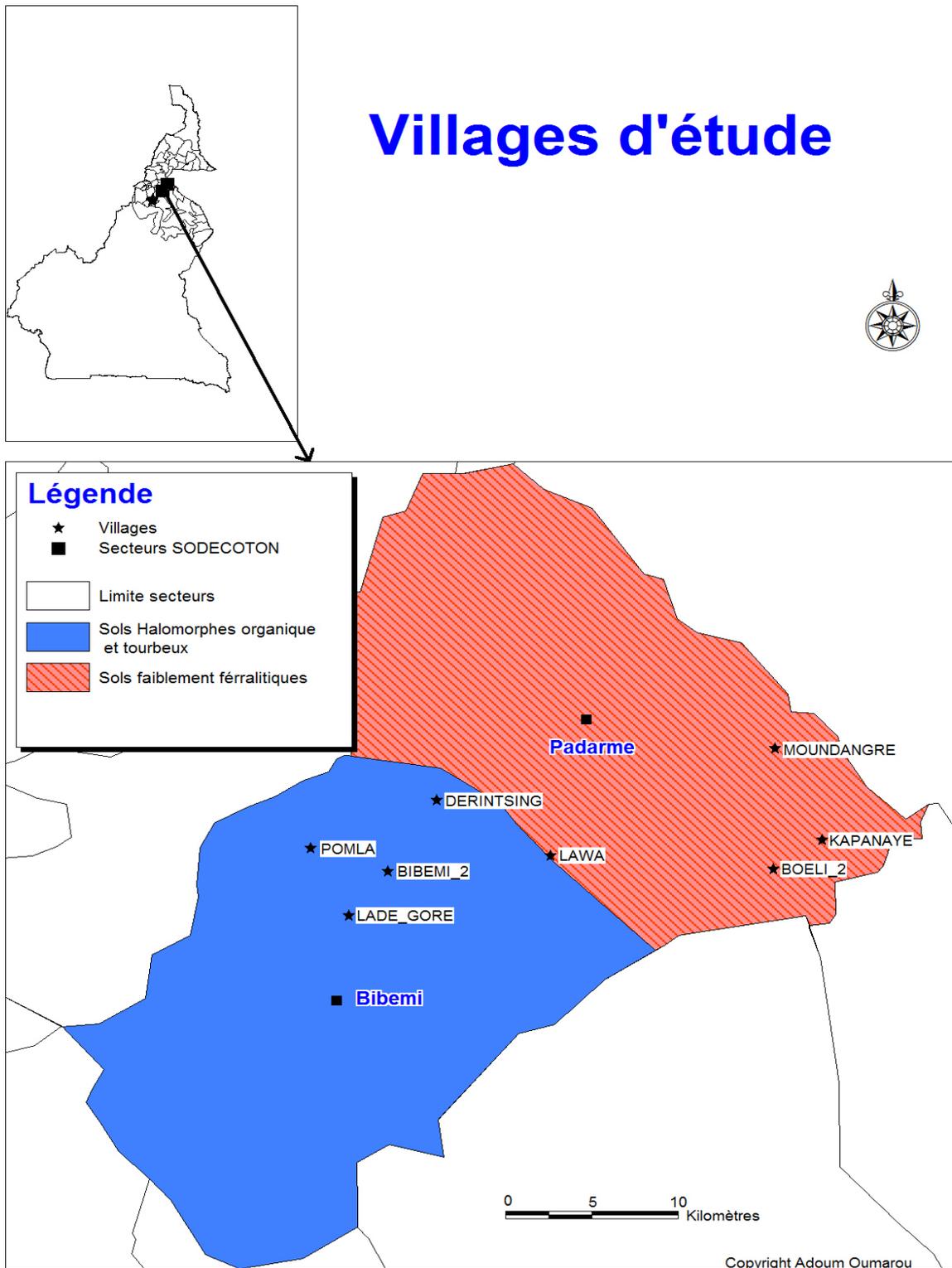


Figure 3: Carte montrant la localisation des villages d'étude
 (Source : Adaptée de la carte pédologique du Cameroun Oriental. Segalen P. et al., 1960)

3.1.2. Climat

3.1.2.1. Pluviométrie et Température

Le climat présente un gradient du Sud au Nord, passant du type soudano-guinéen puis soudanien et enfin soudano-sahélien (Aubréville, 1949 ; Guimbirké, 2011). La pluviosité annuelle moyenne est de 1500 à 600 mm, concentrée pendant une saison de six à trois mois (Donfack *et al.*, 1997).

La saison des pluies est unique et s'étend entre les mois d'avril et octobre dans la région du Nord. Elle est marquée par de fréquentes périodes de sécheresse d'environ deux semaines en début de campagne (de mai à début juin).

Les relevés des précipitations mensuelles durant les campagnes agricoles 2011 et 2012 dans les secteurs de Bibémi et de Padarmé sont représentés dans le tableau 1. Les précipitations annuelles en 2011 étaient de 1118 et 819 mm respectivement dans le secteur de Bibémi et de Padarmé. En 2012, elles sont de 1339 mm à Bibémi et de 1133 mm à Padarmé.

La température moyenne de la zone cotonnière du Cameroun est de 28°C durant cette période. Cependant, des écarts thermiques sont importants (7,7°C en moyenne). L'analyse des températures annuelles de 1944 à 2000, montre des variations des températures suivant les années. Ainsi pour la période de 1944 à 1969, les températures étaient souvent supérieures à la moyenne et pour la période de 1979 à 2000, les températures étaient inférieures à la moyenne durant des nombreuses années (PAN/LCD, 2007).

Tableau 1: Précipitations mensuelles des secteurs de Bibémi et de Padarmé

Années	Précipitations mensuelles								Précipitations annuelles
	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	
PMB 2011 (mm)	50	145	145	232	240	147	159	00	1118
PMP 2011 (mm)	00	105	82	168	236	132	96	00	819
PMB 2012 (mm)	49	149	253	183	391	246	68	37	1376
PMP 2012 (mm)	14	84	227	222	282	191	79	34	1133

Source : Chefs secteurs SODECOTON

PMB : Précipitation mensuelle de Bibémi

PMP : Précipitation mensuelle de Padarmé

3.1.2.2. Hydrographie

Le réseau hydrographique est constitué de six rivières ou fleuves permanents : le Chari, le Logone, le Mayo Kébi, la Bénoué, le Faro et le Mayo Déo. Ils contribuent à l'alimentation des bassins du Lac Tchad, de la Bénoué et du fleuve Niger. Ce réseau est soumis à un régime de type tropical sahélien avec des crues annuelles brutales et des étiages très prolongés.

Le régime des cours d'eau est davantage lié à l'importance de la durée de la saison sèche et/ou à la durée/intensité de la saison des pluies, ainsi qu'à un ensemble de facteurs variables relatifs à l'état du sol. La hauteur et la durée des crues sont localement très importantes pour les cultures de décrue et pour les activités agro-pastorales d'une manière générale. La zone dispose également de nombreuses retenues d'eau vitales pour les populations, au rang desquelles figure le barrage de Lagdo (PAN/LCD, 2007).

3.1.2.3. Végétation

La zone cotonnière du Nord Cameroun évolue du sud au nord vers une aridité croissante à cause des conditions climatiques sèches. On rencontre dans cette zone une succession de paysages phytogéographiques caractérisée par un appauvrissement progressif et une réduction de la taille des formations arbustives. Les essences feuillues laissent peu à peu la place aux essences xérophiiles à épines. Les arbres appartiennent à des espèces peu nombreuses. Ils dépassent rarement dix mètres de hauteur. Leur aspect est souvent typique : couronnes aplaties en forme d'ombrelle, troncs trapus et noueux recouverts d'une écorce épaisse. La majorité des espèces arbustives perdent leurs feuilles en saison sèche. Cinq formations principales peuvent être définies au Nord-Cameroun : la Savane arbustive soudano-guinéenne, la savane soudanienne arborée, la forêt claire sèche soudanienne, la formation soudanienne d'altitude et les steppes sahéliennes à épineux. Les espèces d'arbres rencontrés sont : *Adansonia digitata*, *Acacia albida*, *A. nilotica*, *Balanites aegyptiaca*, *Borassus aethiopum*, *Ceiba pentandra*, *Commiphora africana*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Vitellaria paradoxa* et *Piliostigma thonningii*. Certaines de ces espèces sont utilisées comme bois de chauffe et d'autres dans la pharmacopée traditionnelle.

3.1.3. Principaux types de sols

Les types de sols rencontrés dans la zone cotonnière du Nord Cameroun sont très variés. On trouve majoritairement 4 types de sols : les sols peu évolués sur arène, les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes, les sols fersiallitiques et les vertisols (Raunet, 2003).

D'après Brabant et Gavaud (1985), les sols ferrugineux tropicaux se rencontrent en majorité dans la région du Nord (de Garoua à Touboro) et dans le bassin de la Bénoué et les sols rouges sont principalement situés dans la région de l'Adamaoua

Les terres cultivées dans le Nord Cameroun sont constituées à 60 % de sols ferrugineux, à faible teneur en argile et en matière organique (1 à 2,5 % de MO). Elles sont acides (pH entre 5 et 6), et ont une faible capacité d'échange. Elles sont de texture sablo-argileuse en surface. Le taux d'argile s'accroît en profondeur. Elles ont une faible capacité de rétention d'eau, et s'avèrent très sensibles à l'érosion dès lors qu'elles sont mises en culture (Guibert *et al.*, 2002).

Les observations ont été effectuées sur les sols organiques hydromorphes et tourbeux avec matériau parental non différencié (secteur de Bibémi) et sur des sols faiblement ferrallitiques sur roches acides (secteur de Padarmé).

3.2. MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal utilisé dans les villages était des variétés diversifiées d'arachide. Parfois elles ne sont même pas maîtrisées par les paysans. Il est donc difficile de donner avec exactitude les noms des variétés d'arachide utilisées dans ces milieux paysans. Mais entre autre on peut citer les variétés donc les appellations locales sont : *Kampala*, *Mérédji* et *Latiya*.

3.3. CONDUITE DES OBSERVATIONS

3.3.1. Définition des carrés d'observation

Dans les parcelles de 2 500 m² des paysans, quatre (04) placettes sont délimitées et marqués à l'aide des piquets portant des numéros d'identification des placettes. Les coordonnées géographiques des différents carrés ont été prises à l'aide du GPS. Toutes les observations ont été menées entre le 35^{ème} et le 80^{ème} jour après semis (JAS). Intervalle au cours duquel les nodules ont atteint leur croissance maximale et susceptible d'être fonctionnels (à partir du 34^{ème} JAS), ils deviennent persistants et commencent à décroître (à partir du 81^{ème} JAS) jusqu'à la sénescence (Guibert *et al.*, 2012).

3.3.2. Variables expérimentales

L'étude comprend les variables expérimentales suivantes :

- i) Nombre de nodules totaux par plant au cours de son cycle ;
- ii) Nombre de nodules fonctionnels par plant au cours de son cycle ;



iii) pHeau du sol (0-20 cm) ;

iv) pH_{KCl} du sol (0-20 cm).

3.3.3. Collecte des données

3.3.3.1. Comptage des nodules

Les plants sont récoltés manuellement et avec précaution à l'aide d'une pelle bêche enfoncée profondément et remuée autour du pied pour obtenir la plupart des parties basales des racines où se trouvent en général la majorité des nodules. On élimine sur place très délicatement la terre attachée aux racines. Les plants sont par la suite sectionnés en parties aériennes, et souterraines. Dans chaque carré dix (10) plants d'arachide ont été arrachés. Les comptages des nodules sont réalisés sur quarante (40) plants par parcelle et par prélèvement. Les nodules de chaque plant ont été comptés puis sectionnés dans le but d'observer la présence d'une coloration rouge, verte ou blanche indicatrice du fonctionnement. Les colorations rouges et vertes sont indicatrices de la fixation d'azote. Plus particulièrement, la coloration rouge indique la présence de la leghémoglobine.

3.3.3.2. Prélèvements et conditionnement des échantillons des sols

En milieu paysan, les observations ont été réalisées en majorité sur neuf (09) parcelles par village. Chaque parcelle a été subdivisée en quatre (04) placettes sur lesquelles des prélèvements de sols seront effectués. Un prélèvement de sol est réalisé sur chaque placette d'observation sur laquelle les plants d'arachide ont été arrachés (pour dénombrés le nombre de nodules totaux et le nombre de nodules fonctionnels) pour la détermination du pH. Ce dernier était effectué par le mélange de 4 carottages effectué à la tarière sur une profondeur de 0 à 20 cm. Une quantité est prélevée puis emballée dans un sac imperméable étiqueté. Ces échantillons composites ont été transportés au laboratoire. Ils ont été séchés à l'air libre et à l'ombre puis ils sont conditionnés dans des sacs après tamisage (maille de 2 mm) pour les analyses. Les coordonnées géographiques de chaque placette ont été relevées à l'aide d'un GPS. Sur chaque parcelle étaient relevés les techniques culturales, le passé cultural de la parcelle, la distance de la parcelle par rapport au village et l'appréciation de sa fertilité par le producteur. La photo 3 montre des échantillons de sols déjà tamisés et conditionnés dans des sachets imperméables.



▲ Sachets en plastiques contenant des échantillons de sols tamisés

Photo 3: Echantillons de sols tamisés et conditionnés dans des sachets en plastiques (Echelle : 1/5)

Tableau 2: Organisation des observations dans les secteurs de Bibémi et de Padarmé

Région SODECOTON de Garoua				
Secteurs	Sites ou villages	Nombre de parcelles	Nombre de placettes d'observation	Total observations
Bibémi	Bibémi 2	5	4x5	20
	Dérintsing	5	4x5	20
	Laddé Goré	8	4x8	32
	Pomla	9	4x9	36
Padarmé	Boéli 2	9	4x9	36
	Kapanay	9	4x9	36
	Lawa	9	4x9	36
	Moundangré	9	4x9	36
Total		63		252

3.4. MESURE DU pH

3.4.1. Etalonnage du pH-mètre

3.4.1.1. Etalonnage sur un point

Cet étalonnage est acceptable pour mesurer des valeurs de pH proches de la valeur du tampon utilisé. Ce type d'étalonnage permet uniquement de corriger le potentiel d'asymétrie (Anonyme 2, 2000).

3.4.1.2. Etalonnage sur deux points

Il est le plus courant et recommande d'utiliser comme premier tampon celui de pH7 et comme deuxième tampon celui de pH4 ou pH9, qui est en accord avec la zone de travail (acide ou basique). Outre le potentiel d'asymétrie, l'étalonnage avec deux tampons permet de compenser la perte de sensibilité (Anonyme 2, 2000).

3.4.1.3. Etalonnage sur trois points

Ce type d'étalonnage est conseillé pour mesurer habituellement dans l'ensemble de l'échelle de pH et pour obtenir une grande précision dans une zone déterminée. Pour le premier point, il est recommandé d'utiliser le pH7 et pour le deuxième et le troisième point, on doit choisir deux des valeurs restantes (pH 2,00 ; 4,01 ; 9,21 et 10,90 à 25°). Cet étalonnage compense l'asymétrie de l'électrode et sa sensibilité aussi bien dans la zone acide que dans la zone alcaline (Anonyme 2, 2000).

Le type d'étalonnage utilisé au laboratoire durant nos mesures était l'étalonnage sur trois points, ceci dans le but d'avoir une grande précision de valeurs de pH. Il se fait après chaque 24H. Les différentes valeurs des pH tampons utilisés sont : 10 ; 7 et 4,01. La photo 4 nous présente un pH-mètre à électrode combinée avec les différents tampons.

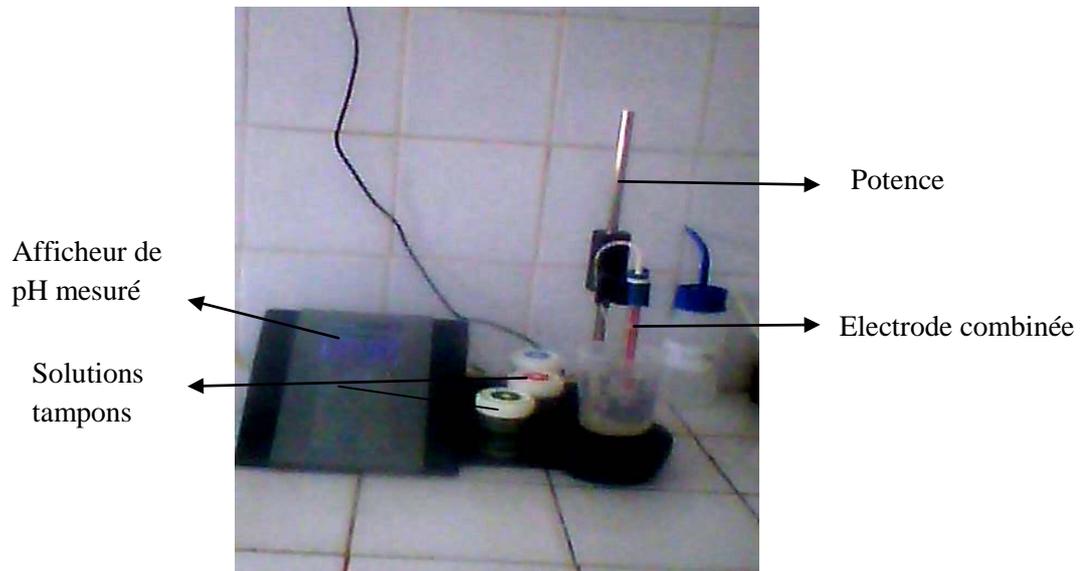


Photo 4: Un pH-mètre (Echelle : 1/5)

3.4.2. Préparation de l'échantillon

Après avoir séché et tamisé (maille de 2mm) l'échantillon, une quantité bien précise est prélevée et pesée à l'aide d'une balance sensible de marque PRECISA 360M. Cette quantité est versée dans un bécher de contenance 130 ml, dans lequel un volume d'eau distillée ou une solution de KCl 1M (1 molaire) sera versé. Ce volume correspond à cinq (5) fois le volume du sol prélevé, soit un rapport 1 : 2,5 (10 g de sol dans 25 ml d'eau). La solution ainsi obtenue sera remuée de temps en temps dans le but de libérer les ions hydroniums (H^+) ceci jusqu'à atteindre l'état d'équilibre, qui sera obtenu après 2 ou 3 heures. Cet équilibre permet d'avoir une mesure stable lorsqu'on introduit l'électrode dans la solution du sol. L'eau distillée est obtenue à partir d'un distillateur au laboratoire et la solution du KCl par dissolution de 74,5 grammes (g) de KCl (chlorure de potassium) commercialisé sous le nom AnalAR NORMAPUR sous forme de granulés dans un litre d'eau distillée. Les photos 5 montre respectivement (a) un distillateur, (b) des solutions de KCl 1M et (c) des échantillons de sols préparés prêts à être utilisés pour la détermination du pH.



Distillateur

Photo 5a: Distillateur (Echelle : 1/10)



Chlorure de potassium

Solutions de KCl 1M

Photo 5b: Solutions de KCl 1M (Echelle : 1/5)

Béchers contenant des échantillons de sols préparés



Photo 5c: Echantillons de sols préparés pour déterminer le pH (Echelle : 1/3)

Photo 5: (a) Distillateur, (b) des solutions de KCl 1M et (c) Echantillons de sols préparés pour déterminer le pH.

3.4.3. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

Différentes mesures sont utilisées pour la lecture du pH à savoir :

- *mesure par stabilité* où la lecture apparaît sur l'écran quand le signal de l'électrode reste stable (variation maximale 0,01 pH ou 0,5 mV) pendant six (06) secondes ;
- *mesure en continu* où l'appareil montre directement la valeur mesurée par l'électrode sur l'écran.

C'est la mesure en continue qui a été utilisée pour la détermination du pH des différents échantillons de sols qui ont été prélevés dans les villages à l'aide d'un pH-mètre à électrode combinée. Le protocole du CIRAD AMIS US 49 ANALYSES a servi pour la détermination du pH_{eau} et du $pH_{KCl\ 1M}$. Le pH_{eau} et pH_{KCl} des sols ont été mesurés par lecture directe au pH-mètre selon un rapport sol/eau distillée et sol/KCl 1M respectivement après un temps d'équilibre de 3 heures. L'acidité réelle (pH_{H_2O}) a été mesurée dans une suspension Sol- eau de rapport 1 : 2,5 (soit 10 g de sol dans 25 ml d'eau). L'acidité potentielle a été mesurée dans une suspension Sol-KCl molaire de même rapport. Le tableau 3 donne les critères d'appréciation de l'acidité du sol.

Tableau 3: Appréciation de l'acidité du sol

Valeur du pH	Appréciation
$\text{pH} < 3,5$	Hyper-acide
$3,5 < \text{pH} < 5,0$	Très acide
$5,0 < \text{pH} < 6,5$	Acide
$6,5 < \text{pH} < 7,5$	Neutre
$7,5 < \text{pH} < 8,7$	Basique
$\text{pH} > 8,7$	Très basique

Source : A.F.E.S (1992)

3.5. ANALYSE DES DONNEES

Les données collectées sur le terrain ont été codifiées et analysées via le logiciel Microsoft office Excel puis soumis au Test de Student à 5%.

CHAPITRE 4 : RESULTATS

4.1. EVALUATION DU NOMBRE MOYEN DES NODULES TOTAUX ET FONCTIONNELS PAR PLANT DANS LES SOLS

Les premières observations de comptage des nodules des pieds d'arachide ont été réalisées et rapportées au nombre de plant d'arachide à Laddé Goré dans le secteur de Bibémi aux 60^{ième} jours après semis (JAS). Leur comptage a montré en moyenne 126 nodules totaux dont 33 fonctionnels ; le pHeau moyen des sols étant égal à 6,9. A Bibémi 2, il a été enregistré en moyenne 93 nodules totaux dont 40 fonctionnels par plant au 41^{ième} JAS avec un pHeau moyen de 6,6. Les observations effectuées à Pomla ont été réalisées au 60^{ième} JAS où on a dénombré 90 nodules totaux pour 31 nodules fonctionnels avec un pHeau moyen égal à 6,6. Le dernier village du secteur de Bibémi à savoir Déringsing au 50^{ième} JAS à présenté 42 nodules totaux avec 21 nodules fonctionnels à pHeau moyen 7. Dans le secteur de Padarmé, les observations ont débuté à Moundangré qui a présenté 70 nodules totaux et 27 nodules fonctionnels au 59^{ième} JAS avec un pHeau 6,3. Kapanay a présenté 79 nodules totaux et 11 nodules fonctionnels au 66^{ième} JAS avec un pHeau moyen du sol de 6,1. Les villages Boéli 2 et Lawa ont présenté respectivement aux 65^{ième} et 71^{ième} JAS, 38 et 33 nodules totaux correspondant respectivement à 7 et 13 nodules fonctionnels avec des valeurs pHeau moyen des sols de 5,9 et 6,7. Le tableau 4 présente le nombre moyen de nodules totaux et fonctionnels par plant en fonction des jours après semis et du pHeau moyen des sols en milieux paysans.

Tableau 4 : Variation du nombre moyen des nodules totaux et fonctionnels par plant en fonction du pH des sols en milieux paysans

Secteurs	Villages	Nombre moyen des nodules totaux	Nombre moyen des nodules fonctionnel	pHeau moyen	pH KCl moyen
	Bibémi 2	93 ± 5	40 ± 3	6,6	4,9
Bibémi	Déringsing	42 ± 5	21 ± 2	7,0	5,5
	Laddé Goré	126 ± 7	33 ± 2	6,9	5,5
	Pomla	90 ± 5	31 ± 2	6,6	5,3
Padarmé	Boéli 2	38 ± 4	7 ± 1	5,9	5,0
	Kapanay	79 ± 6	11 ± 1	6,1	5,2
	Lawa	33 ± 4	13 ± 1	6,7	5,6
	Moundangré	70 ± 12	27 ± 6	6,3	5,3

4.2. NODULATION DE L'ARACHIDE ET DATE DES OBSERVATIONS

4.2.1. Secteur de Bibémi

La figure 4 présente la relation entre le nombre moyen de nodules totaux observés dans les différents villages et le nombre de jours écoulés entre la date de semis et le comptage.

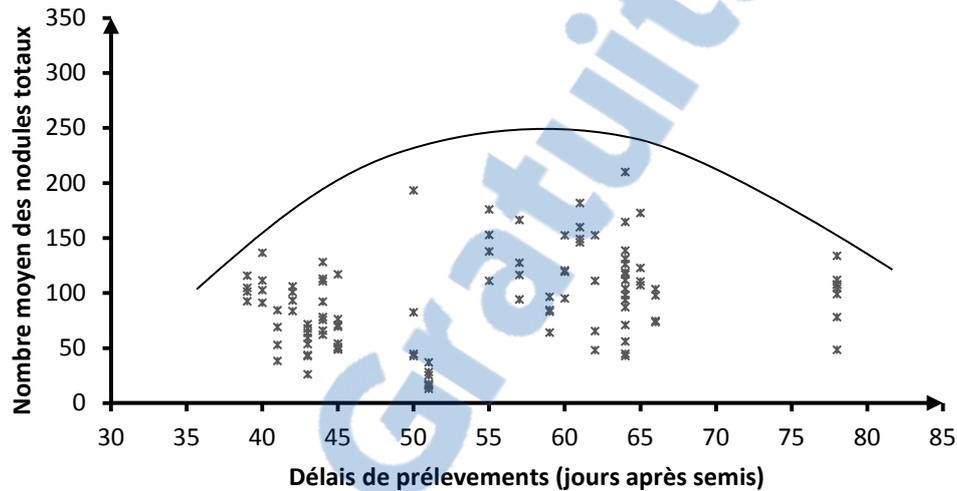


Figure 4: Nombre moyen de nodules totaux par plant d'arachide en fonction de la date de prélèvements, résultats sur 4 villages dans le secteur de Bibémi dans la Région Nord

De la figure 4, il ressort que quelque soit la date de semis, le nombre moyen de nodules totaux augmente quand les plants d'arachides continus à croître, mais commence à diminuer lorsque leur cycle de culture tend vers la fin.

4.2.2. Secteur de Padarmé

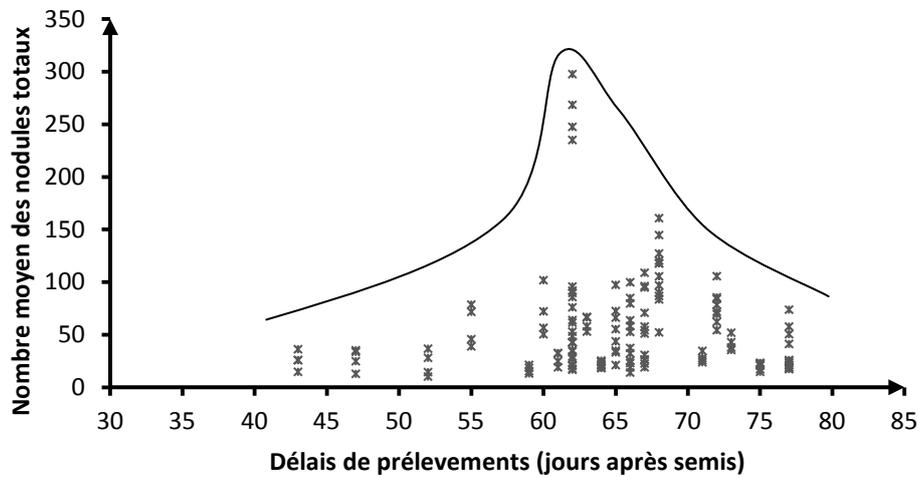


Figure 5: Nombre moyen de nodules totaux par plant d'arachide en fonction de la date de prélèvements, résultats sur 4 villages dans le secteur de Padarmé dans la Région Nord

De la figure 5, les mêmes résultats sont obtenus que ceux de la figure 4 mais avec un pic de nombre moyen de nodules totaux plus visible situé entre le 60^{ième} et le 65^{ième} JAS puis commence à décroître vers la fin du cycle : c'est la sénescence nodulaire.

4.3. MOYENNES DES NODULES TOTAUX PAR SITE ET PAR VARIETE

Les figures 6, 7, 8 et 9 présentent les moyennes et statistiques des nodules totaux par site et par variété pour des observations réalisées entre le 35^{ième} et le 80^{ième} jour après semis.

4.3.1. Secteur de Bibémi

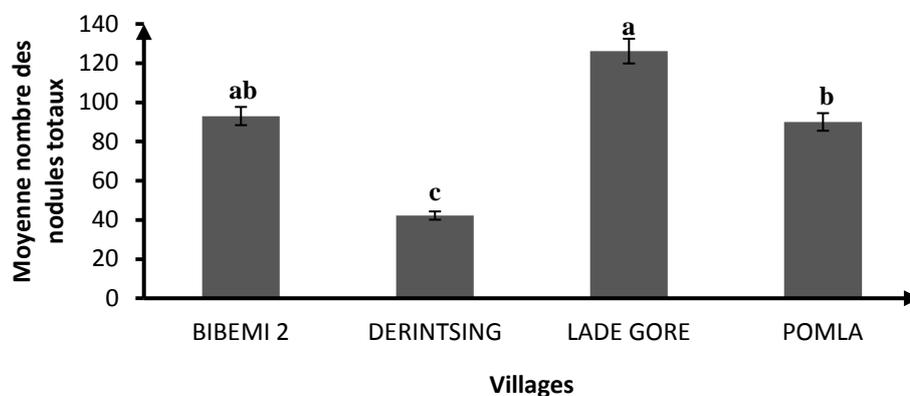


Figure 6: Moyenne des nodules totaux par site (village) pour le secteur de Bibémi dans la Région Nord

La figure 6 montre que dans le secteur de Bibémi dominé par des sols organiques hydromorphes et tourbeux, le village de Déringsing est donc celui là où la nodulation des plants d'arachide a été la plus faible et Laddé Goré le village la plus forte.

La moyenne des nodules totaux en fonction des variétés d'arachides (locales) rencontrées dans le secteur de Bibémi est illustrée par la figure 7.

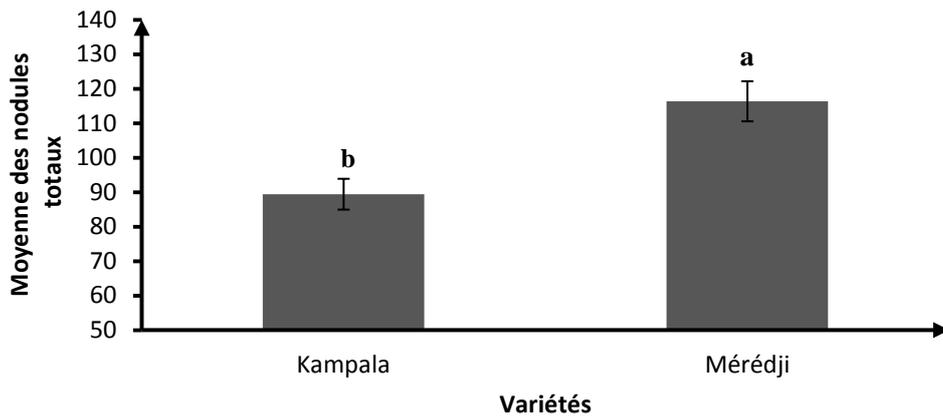


Figure 7: Moyenne des nodules totaux pour les 4 villages par variété dans le secteur de Bibémi dans la Région Nord

Dans ce secteur, deux (02) variétés locales d'arachide ont été observées: la variété *Mérédji* et la variété *Kampala*. La variété *Mérédji* a présenté plus de nodules totaux par rapport à la variété *Kampala*, sur un sol plutôt homogène.

4.3.2. Secteur de Padarmé

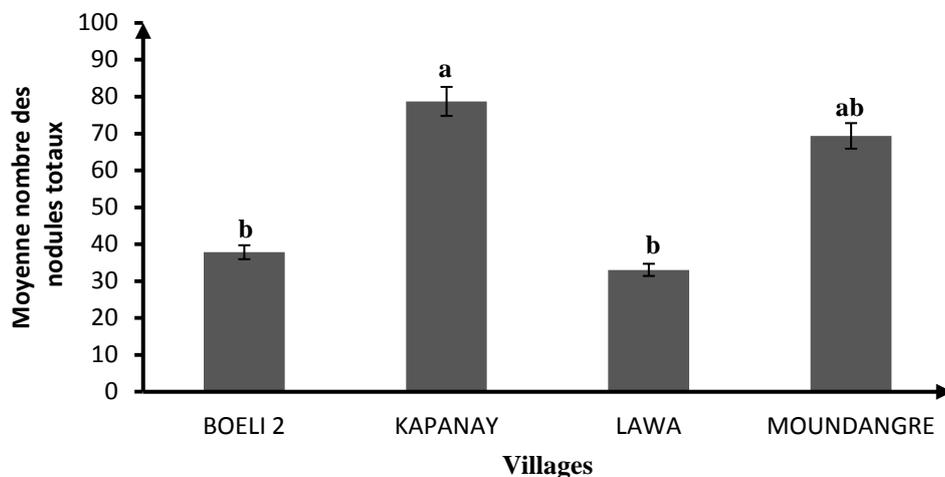


Figure 8: Moyenne des nodules totaux par site (village) pour le secteur de Padarmé dans la Région Nord

La figure 8 montre que les villages de Lawa et de Boéli 2 présentent une moyenne des nodules totaux égale, mais moins importante que dans les villages Moundangré et Kapanay qui présentent une moyenne des nodules totaux chacune presque le double de celles des deux villages précédents, mais avec un sol homogène.

La figure 9 présente la moyenne des nodules totaux en fonction des variétés d'arachide locales rencontrées dans ce secteur.

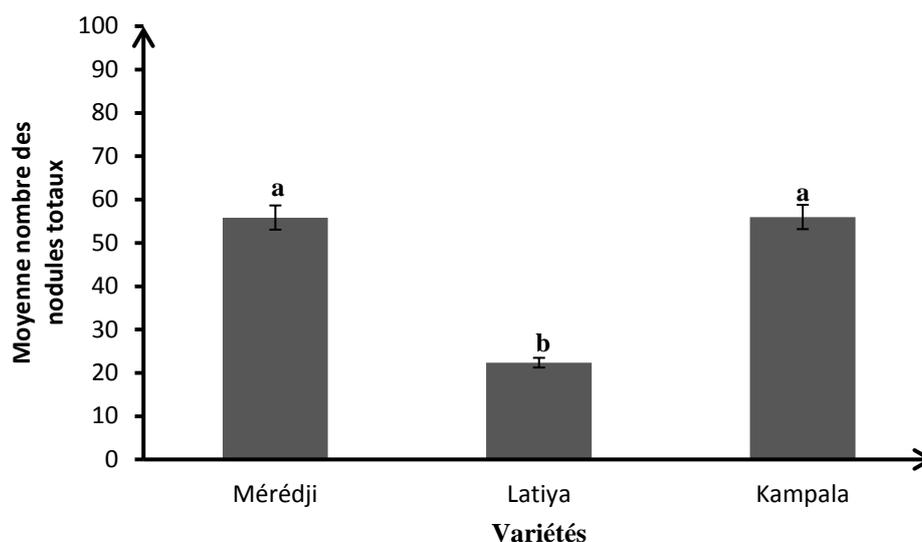


Figure 9 : Moyenne nombre des nodules totaux pour les 4 villages par variété dans le secteur de Padarmé dans la Région Nord

Dans le secteur de Padarmé, trois variétés locales d'arachide sont rencontrées à savoir : les variétés *Kampala*, *Latiya* et *Mérédji*. Les variétés *Kampala* et *Mérédji* ont produit une moyenne de nombre de nodules totaux identique, mais plus élevée que celle de la variété *Latiya*.

4.4. MOYENNES DES PROPORTIONS DE NODULES FONCTIONNELS PAR SITE ET PAR VARIETE

4.4.1. Secteur de Bibémi

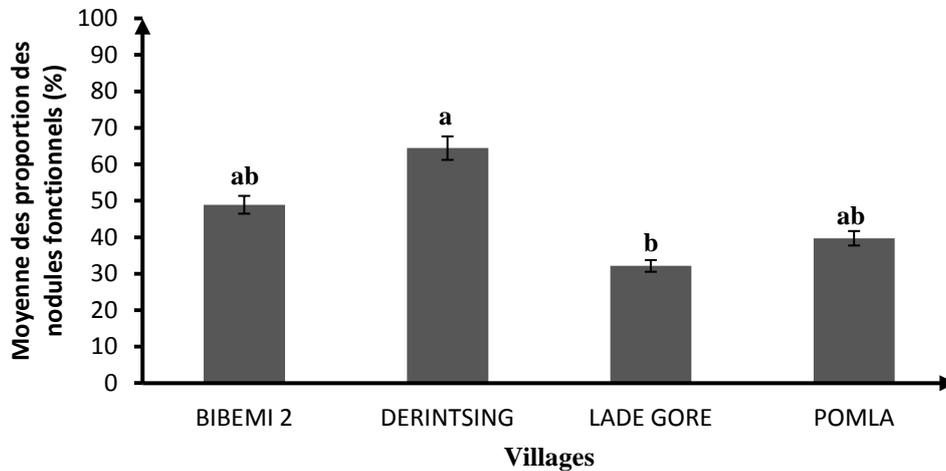


Figure 10: Moyenne des proportions des nodules fonctionnels par site (village) pour le secteur de Bibémi dans la Région Nord

La figure 10 montre une moyenne des proportions des nodules fonctionnels plus élevée à Déringsing, mais ne présentant presque pas une différence entre les villages Bibémi 2 et Pomla. Mais une différence significative est observée entre celles de Déringsing et Ladé Goré.

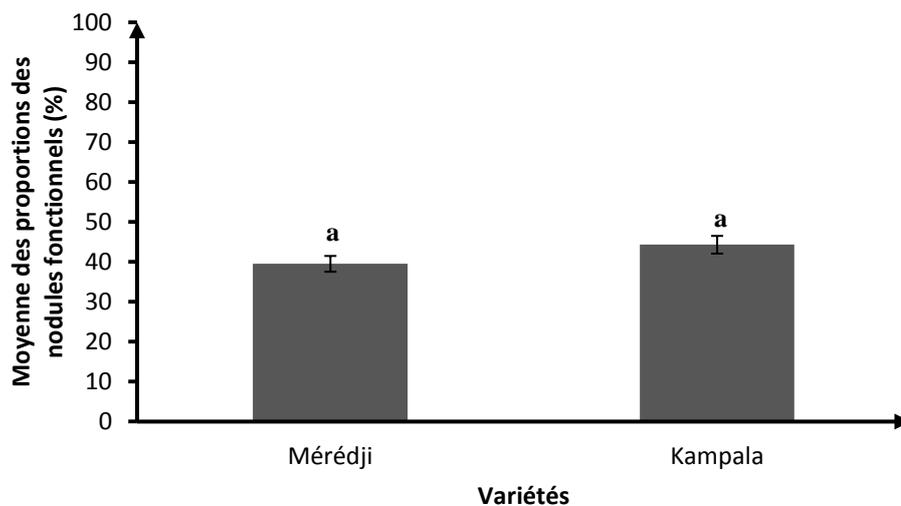


Figure 11: Moyenne de proportion de nodules fonctionnels pour les 4 villages par variété dans le secteur de Bibémi dans la Région Nord

La figure 11 montre que les deux variétés ont un taux de nodulation presque égal, avec une moyenne générale des proportions des nodules fonctionnels se trouvant entre 40 et 45% (41,90%).

4.4.2. Secteur de Padarmé

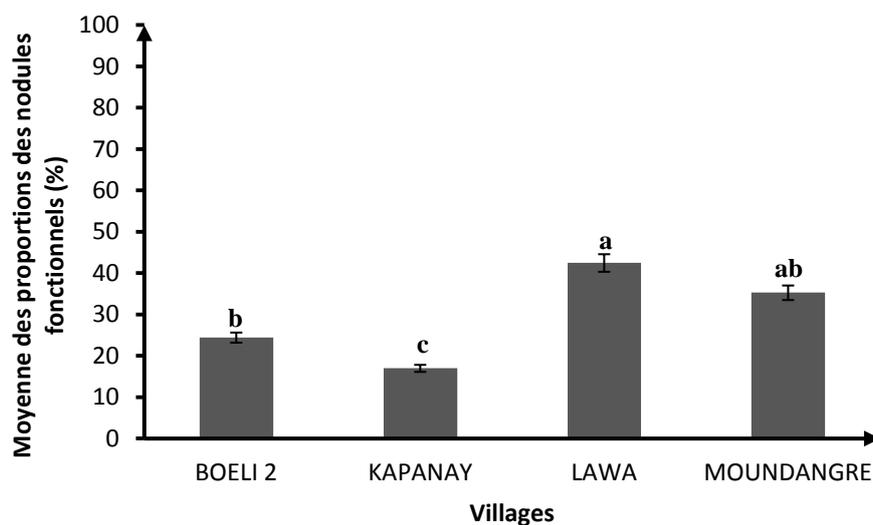


Figure 12: Moyenne des proportions de nodules par site (village) pour le secteur de Padarmé dans la Région Nord

La figure 12 montre une moyenne des proportions des nodules fonctionnels plus élevée pour le village Lawa avec une moyenne supérieure à 40%, pouvant être le double de celle de Kapanay qui présente une moyenne de 16,98%. Les villages Boéli 2 et Moundangré présentent des moyennes intermédiaires entre celles de Lawa et de Kapanay. Le nombre moyen de nodules totaux le plus élevé était observé à Kapanay mais ici la proportion des nodules fonctionnels la plus élevée est obtenue à Lawa.

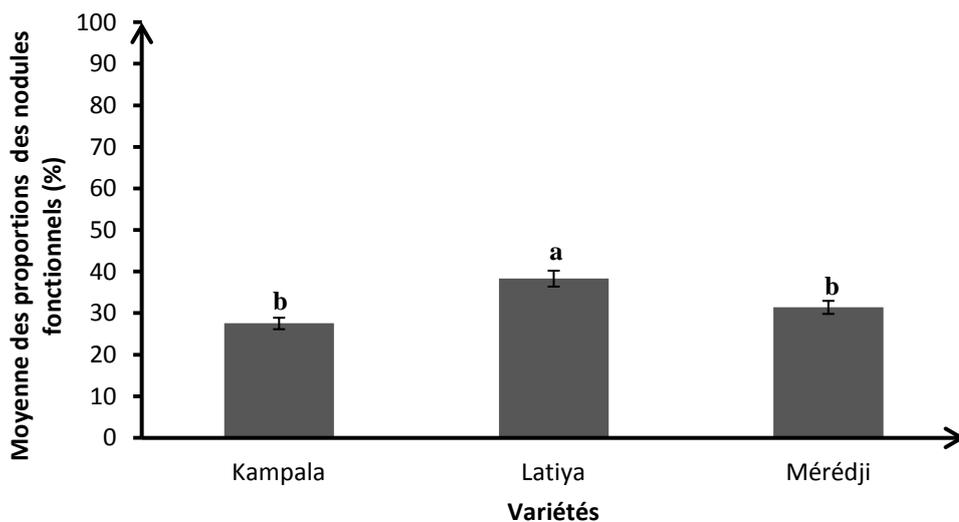


Figure 13: Moyenne des proportions des nodules fonctionnels pour les 4 villages par variété dans le secteur de Padarmé dans la Région Nord

La figure 13 montre que la variété Latiya a une moyenne des proportions des nodules fonctionnels supérieurs à celles des variétés *Mérédji* et *Kampala*, avec une différence significative.

4.5. ACIDITE DU SOL

4.5.1. Secteur de Bibémi

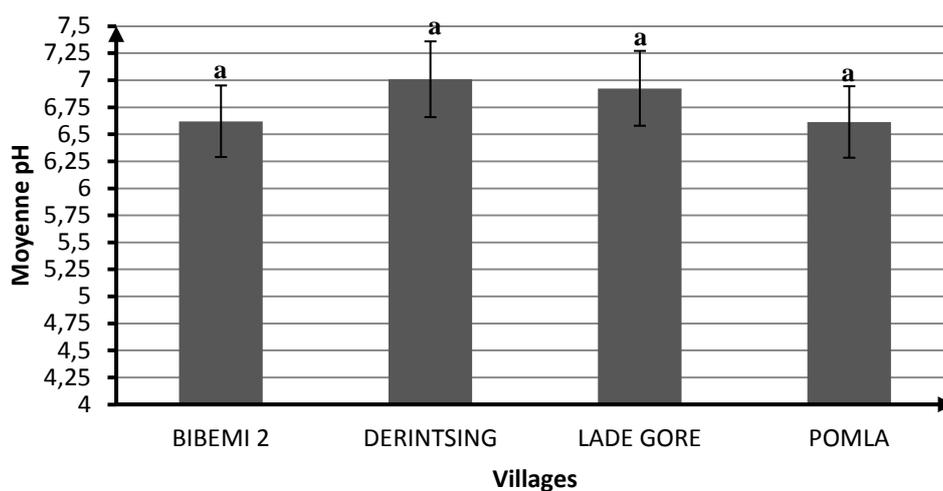


Figure 14: Relation entre les moyennes des mesures de pH eau et les 4 villages dans le secteur de Bibémi dans la Région Nord

La figure 14 montre que les moyennes pH_{eau} des différents villages varient très peu d'un village à un autre et passant d'une zone acide à une zone neutre (cf. tableau 3).

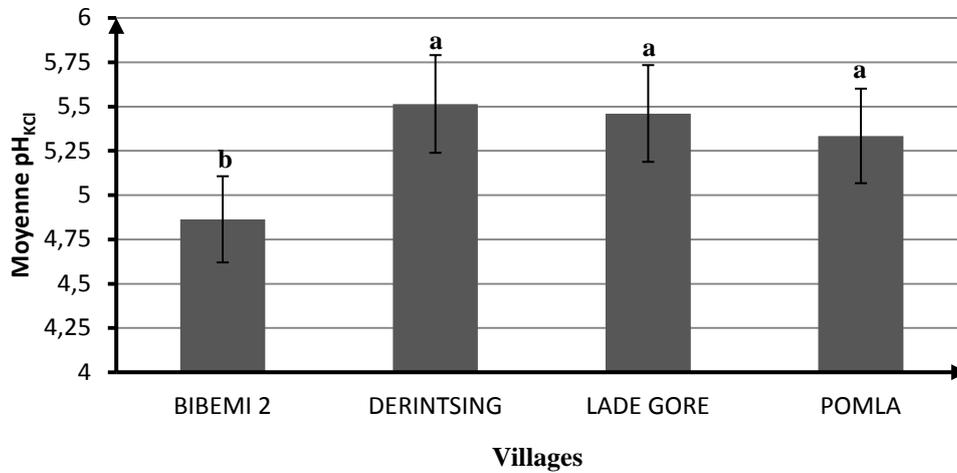


Figure 15: Relation entre les moyennes des mesures de pH_{KCl} et les 4 villages dans le secteur de Bibémi dans la Région Nord

La figure 15 montre une certaine égalité des moyennes des pH_{KCl} pour les villages Pomla, Laddé Goré et Dérintsing. Mais une différence significative entre ces trois (03) villages et le village Bibémi 2, quittant d'une zone très acide pour ce dernier à une zone acide pour les trois (03) premiers (cf. tableau 3).

4.5.2. Secteur de Padarmé

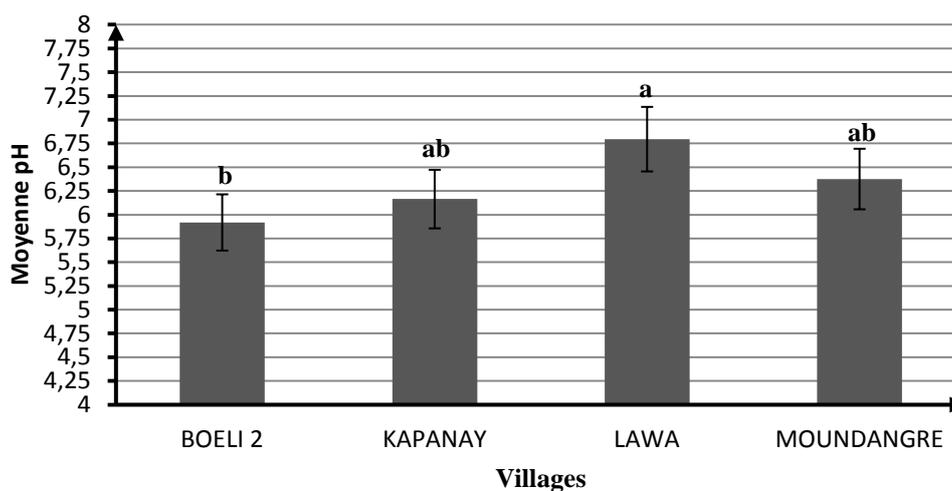


Figure 16: Relation entre les moyennes des mesures de pH eau et les 4 villages dans le secteur de Padarmé dans la Région Nord

La figure 16 montre une faible variation des moyennes des pHeau entre les villages Boéli 2, Kapanay et Moundangré, mais une différence avec celle de Lawa avec de valeurs quittant d'une zone acide (Lawa) à une zone neutre (Boéli 2, Kapanay et Moundangré).

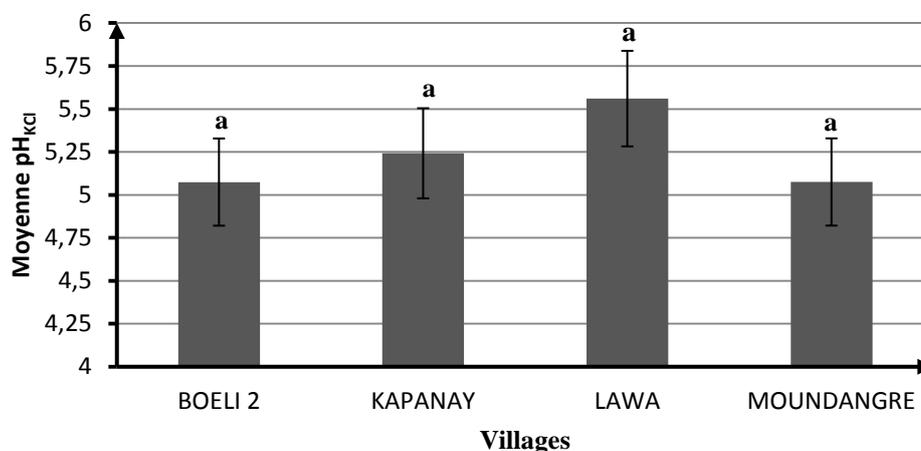


Figure 17: Relation entre les moyennes des mesures de pH_{KCl} et les 4 villages dans le secteur de Padarmé dans la Région Nord

La figure 17 montre que les villages Boéli 2, Moundangré, Kapanay et Lawa présentent presque les mêmes moyennes de pH_{KCl}, tous se trouvant dans la zone acide (cf. tableau 3).

4.6. RELATIONS NOMBRE MOYEN DE NODULES TOTAUX ET pH

4.6.1. Secteur Bibémi

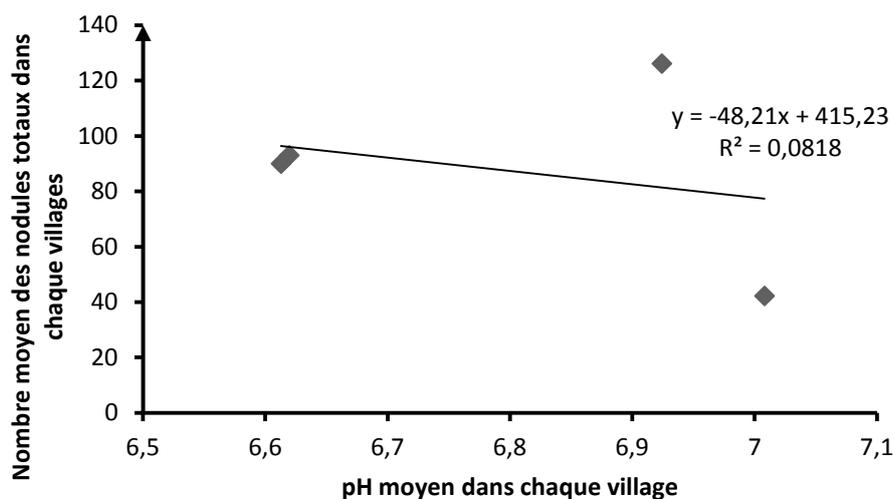


Figure 18: Relations entre nombre de nodules totaux par plant d'arachide et pH eau, pour les 4 villages dans le secteur de Bibémi dans la Région Nord

Cette figure montre qu'une relation n'est presque pas possible entre le nombre moyen des nodules totaux dans chaque village et leur pH moyen correspondant. Ceci à travers la droite de régression ci-dessus avec pour coefficient de détermination $R^2= 0,081$.

4.6.2. Secteur Padarmé

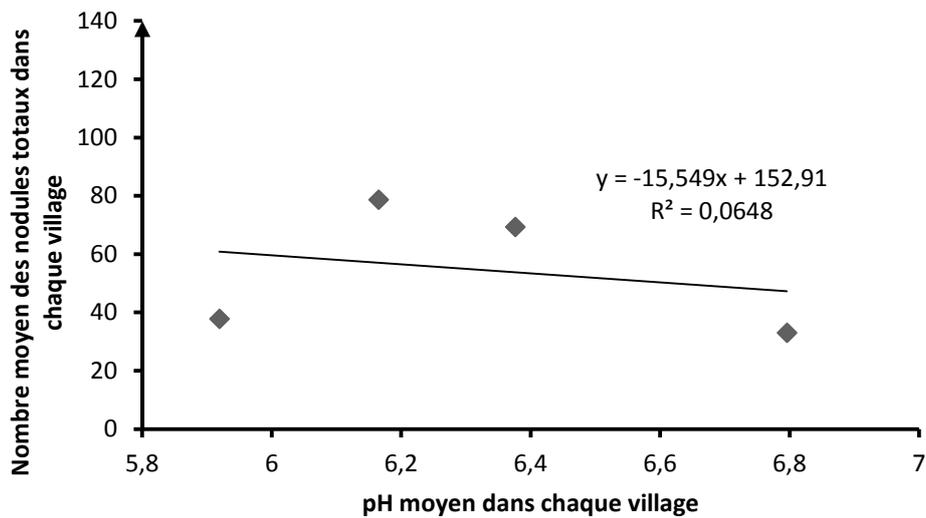


Figure 19: Relations entre nombre moyen de nodules totaux et pH moyen dans chaque village dans le secteur de Padarmé

Les mêmes constats sont observés sur la figure 19 dans le secteur de Padarmé avec une relation presque inexistante ($R^2= 0,064$) entre le nombre moyen des nodules totaux et les pH moyen correspondant observés dans les villages (Boéli 2, Kapanay, Lawa et Moundangré).

4.7. RELATIONS PROPORTION DE NODULES FONCTIONNELS ET pH

4.7.1. Secteur Bibémi

Ce secteur est constitué des villages Bibémi 2, Déringsing, Laddé Goré et Pomla et la figure 20 montre la relation entre la proportion moyenne des nodules fonctionnels dans chaque village et leur pH moyen correspondant.

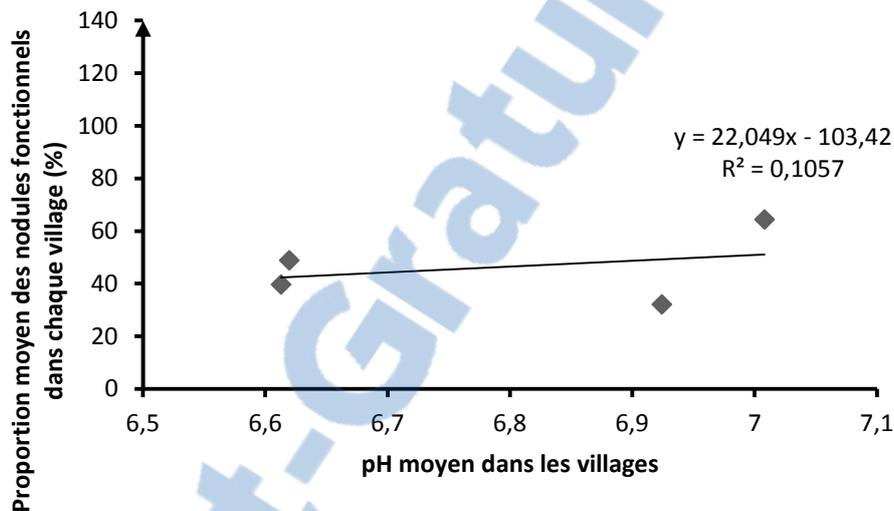


Figure 20: Proportion des nodules fonctionnels en fonction du pH eau pour les 4 villages dans secteur Bibémi dans la Région Nord

De la figure 20, il ressort que tous les villages de ce secteur ont des pH moyen tendant vers la neutralité (pH7). Ce qui peut expliquer alors de la faible affinité entre la proportion moyenne des nodules fonctionnels et leur pH moyen respectif dans chaque village. Toutefois il est nécessaire de retenir qu'il existe une meilleure relation entre la proportion des nodules fonctionnels et le pH ($R^2 = 0,105$) par rapport à la relation entre le nombre moyen de nodules totaux et le pH ($R^2 = 0,081$).

4.7.2. Secteur Padarmé

Ce secteur comprend les localités suivantes (Boéli 2, Kapanay, Lawa et Moundangré). La figure 21 montre également la relation entre la proportion moyenne des nodules fonctionnels et le pH moyen dans les différents villages de ce secteur.

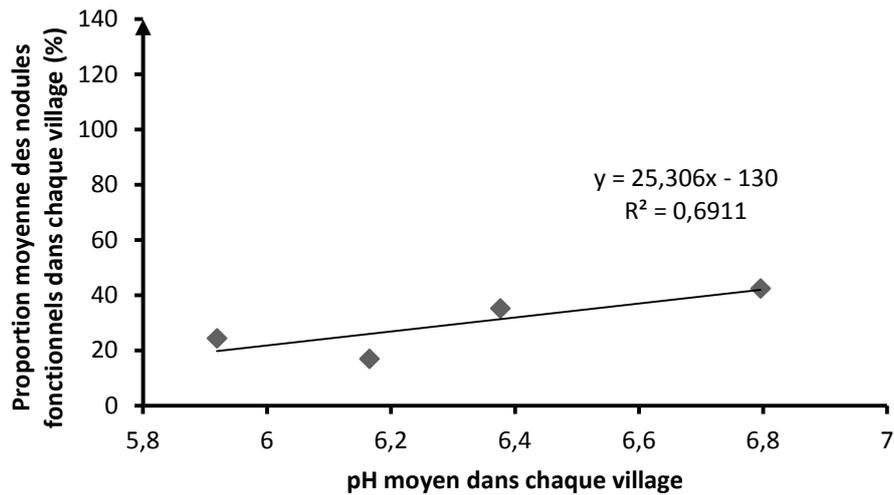


Figure 21: Proportion moyenne des nodules fonctionnels en fonction du pH moyen dans chaque village dans le secteur Padarmé dans la Région Nord

Cette figure montre que presque tous les villages de ce secteur ont des pH moyen acides. Cela permet d'établir une relation entre la proportion moyenne des nodules fonctionnels dans chaque village et les pH moyen correspondant. La droite de régression ci-dessus montre qu'une bonne relation existe entre ces deux paramètres (proportion des nodules fonctionnels et pH) avec pour coefficient de détermination $R^2 = 0,691$.

CHAPITRE 5 : DISCUSSION

5.1. VARIATION DU pH ET DIFFERENTS TYPES DE SOLS

Les mesures de pH_{eau} des sols indiquent que les sols organiques hydromorphes et tourbeux des sites de Bibémi 2, Déringsing, Laddé Goré et Pomla sont neutres (6,7). Par contre les mesures des pH eau et KCl des sols indiquent que les sols faiblement ferrallitiques des sites Boéli 2, Kapanay, Lawa et Moundangré sont tous acides.

5.2. COMPORTEMENT DES VARIETES LOCALES D'ARACHIDE (*Arachis hypogaea L.*) SUR LES DIFFERENTS TYPES DE SOLS

5.2.1. Nodules totaux

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude confirment le bon comportement des différentes variétés rencontrées dans les milieux paysans, car toutes ont porté des nodosités tant sur les sols hydromorphes organiques et tourbeux du secteur de Bibémi que sur les sols faiblement ferrallitiques du secteur de Padarmé. De plus, l'étude montre que le maximum des nombres moyens des nodules totaux est atteint entre le 60^{ième} et le 65^{ième} JAS, puis commence à décroître. Ces résultats confirment ceux obtenus par Guibert et *al.*, (2012). Bergerson (1982) a observé que lorsque la plante croît, beaucoup de nodules se forment jusqu'à l'approche de la fin du cycle où le nombre de nodules dégénère : c'est la sénescence nodulaire. Le nombre moyen de nodules totaux est plus élevé dans le secteur de Bibémi que dans le secteur de Padarmé. Sur les sols organiques hydromorphes, cette moyenne varie entre 42 et 126 nodules totaux et les variétés *Kampala* et *Méréddji* ont produit respectivement 89 et 116 nodules totaux (état variétal) et est qualifiée de bonne nodulation par Amijee et Giller (1998), dont le minimum (42) est observé à Déringsing et le maximum (126) à Laddé Goré. Dans le secteur de Padarmé dominé par des sols faiblement ferrallitiques les variétés *Kampala*, *Méréddji* et *Latiya* ont produit respectivement 56, 55 et 21 nodules totaux (état variétal). Mais leur nombre moyen de nodules totaux varie entre 33 (observé à Lawa) et 79 (observé à Kapanay) et est qualifiée de nodulation modérée par Amijee et Giller (1998). Ces résultats peuvent être corroborés avec ceux obtenus par Ngo Nkot et *al.*, (2011) sur oxisols, dans la zone forestière du sud Cameroun où cette moyenne variait entre 13 et 90 nodules. En effet, la différence de production de nodules peut être liée à une adaptation des bactéries fixatrices. Cependant, la présence d'une bonne nodulation n'est pas synonyme d'une

efficacité symbiotique (Somasegaram et Halliday, 1982). On constate alors que les variétés *Mérédji* et *Kampala* ont produit plus de nodules totaux moyens que la variété *Latiya* avec une différence significative entre cette dernière et la variété *Kampala* ($p= 0,0454$) sur sols hydromorphes. De même sur sols faiblement ferrallitiques pas de différence observée entre les variétés *Mérédji* et *Kampala*. Les mêmes résultats sont obtenus par les travaux de Guibert et al., (2012) sur les sols ferrugineux différenciés sur grès quartzeux, en considérant que les variétés locales. Toutefois, en plus des caractères intrinsèques des légumineuses, de nombreux facteurs physicochimiques du sol tels que la température, la teneur en éléments nutritifs, la dessiccation et l'inondation, influencent la capacité de survie des rhizobia, donc leur aptitude à former des nodules (Ryle et al., 1979 ; Marie-Claire, 1988 ; Konaté et al., 2012). Les études effectuées par Marziah (1995) ont montré que la toxicité aluminique affecte la nodulation par la réduction du nombre et le poids des nodules chez les arachides. Par contre Mandimba et Djondo (1996) ont montré que le phosphore pouvait améliorer la fixation symbiotique et augmenter la nodulation chez l'arachide de 57 à 176%. Beaucoup de travaux ont indiqué que l'efficacité du phosphore sur la fixation de l'azote réside dans sa capacité à augmenter la nodulation et l'activité de la symbiose (Olofintoye, 1986 ; Giller et al., 1995). Les recherches de Graham (2000) ont montré également que les températures comprises entre 20 et 30°C permettent la croissance des *Rhizobia* et leur habileté à former des nodules.

5.2.2. Nodules fonctionnels

Sur sols hydromorphes organiques et tourbeux, le nombre moyen de nodules fonctionnels par plant et par village se situe entre 21 et 40, et est plus élevé, quelle que soit la date de semis à Bibémi 2 (40 nodules fonctionnels), bien qu'il n'ait pas présenté le nombre moyen de nodules totaux le plus élevé. Cela confirme alors les propos de Somasegaram et Halliday (1982) qui affirment que la présence d'une bonne nodulation n'est pas synonyme d'une efficacité symbiotique. Les mêmes constats sont observés sur les sols faiblement ferrallitiques, avec une moyenne de nodules fonctionnels situés entre 7 et 27. Cette moyenne est supérieure à Moundangré mais avec un nombre de nodules totaux plus élevé à Kapanay. La variété *Mérédji* a produit un nombre moyen de nodules fonctionnels plus élevé et significative ($p= 0,0312$) par rapport aux variétés *Kampala* et *Latiya* sur sols faiblement ferrallitiques. Sur sols hydromorphes, aucune différence n'est observée entre les différentes variétés. On peut alors penser comme Alexander (1984) qui remarque que la faible nodulation d'une espèce pouvait être imputable au fait que les *Rhizobia* spécifiques colonisent lentement les racines des légumineuses. Tillard et Drevon (1998) montrent sur vertisols, que ce comportement peut être

dû à l'absence de *Rhizobia* spécifiques ou à des conditions environnementales peu favorables à leur activité.

5.2.3. Proportions des nodules fonctionnels

Au delà des moyennes arithmétiques des nodules totaux et fonctionnels, la proportion des nodules fonctionnels est un rapport qui permet d'apprécier ou de mettre en évidence la relation entre ces deux paramètres. Ainsi donc, on observe sur sols faiblement ferrallitiques un taux de nodules fonctionnels élevé et significatif entre la variété *Latiya* et *Kampala* ($p=0,0208$) et entre *Latiya* et *Mérédji* ($p=0,0193$), mais pas de différence significative entre les variétés *Kampala* et *Mérédji*. Sur sols organiques hydromorphes et tourbeux aucune différence n'est observée entre les variétés. Cela traduit alors d'une bonne activité symbiotique de la variété *Latiya*. Ces résultats peuvent être corroborés avec ceux obtenus par Guibert et al., (2012) avec la variété ICGV qui a présenté des nodules totaux plus élevés que les autres variétés (*Latiya*, *Mérédji*, *Kampala* et *Biridji Salté*), mais avec une proportion des nodules fonctionnels plus faible. Cette étude permet également de voir que l'efficacité symbiotique des nodules de l'arachide dans les deux secteurs est inversement proportionnelle au nombre de nodules totaux.

5.3. RELATIONS ENTRE LA NODULATION ET LE pH DES SOLS

5.3.1. Sur sols hydromorphes organiques et tourbeux

Dans le secteur de Bibémi, on a enregistré le pH moyen le plus élevé (7,00) dans le site de Déringsing, mais avec un nombre moyen de nodules totaux plus faible par rapport aux autres sites (cf. tableau 4). Ceci est en désaccord avec les propos de Cheng en 2003 et Ngo Nkot (2011) qui montrent que *Medicago murex* en milieu acide (pH 4,3) produit peu de nodules (2,3/plant), alors que dans les milieux où le pH= 7, il produit beaucoup plus de nodules (8,2/plant) et ceci 41 jours après semis. A cet effet donc, le nombre de nodules totaux ne peut être utilisé comme indicateur d'acidité des sols. Cela peut se confirmer par le coefficient de détermination ($R^2=0,081$) obtenu sur la figure 18, montrant qu'une très faible relation existe entre le nombre moyen des nodules totaux et le pH.

Par contre la figure 20, montre que tous les villages de ce secteur dominés par des sols organiques hydromorphes et tourbeux ont des pH moyen tendant vers la neutralité (pH7). Ce qui peut expliquer alors de la faible affinité entre la proportion moyenne des nodules fonctionnels et leur pH moyen respectif dans chaque village. Toutefois il est nécessaire de

retenir qu'il existe une meilleure relation entre la proportion des nodules fonctionnels et le pH ($R^2= 0,105$) par rapport à la relation entre le nombre moyen de nodules totaux et le pH ($R^2= 0,081$). De ce fait, cette variable (proportion des nodules fonctionnels) peut donc permettre d'établir un lien entre l'acidité et la nodulation

5.3.2. Sur sols faiblement ferrallitiques

Rappelons ici que les sols faiblement ferrallitiques du secteur de Padarmé sont sols à pH moyen acide et les mêmes résultats sont observés dans ce secteur. Où le nombre de nodules totaux le plus faible est enregistré dans le site de Lawa. Pourtant il présente le pH eau moyen le plus élevé (6,7) par rapport aux autres sites du secteur (cf. tableau 4) et par conséquent ce paramètre ne peut être utilisé comme indicateur d'acidité des sols. Cela peut se confirmer par les résultats obtenus sur le site Kola en 2012 où le nombre de nodules moyen par plant est le moins élevé, alors que ce village présente des sols les moins acides. De même la droite de régression de la figure 19 montre qu'il n'existe presque pas de relation entre le nombre moyen des nodules totaux et le pH car $R^2= 0,064$. La figure 21 par contre montre qu'une relation étroite existe entre la proportion moyenne des nodules fonctionnels et le pH, avec pour coefficient de détermination $R^2= 0,691$. Ces résultats peuvent être corroborés avec ceux obtenus par Guibert et *al* (2011) où plus de 50% de la proportion des nodules fonctionnels est situé à $pH < 6$ (dans la zone acide). Donc la relation entre la nodulation et l'acidité d'un sol peut être établi.

Cette étude permet alors de confirmer que seule la proportion des nodules fonctionnels peut être utilisée comme indicateur d'acidité des sols. Et par ricochet l'activité de la nitrogénase qui en découle. Marziah et *al* (1995) ont mentionné que c'est plutôt l'activité de la nitrogénase qui serait affectée par l'acidité des sols, car moins de nodules fonctionnels sont observés sur des sols acides. Brandy et Weil (2002) et Ngo Nkot (2011) démontrent que sur des sols acides, la disponibilité de l'aluminium et du manganèse augmente et devient toxique réduisant alors l'action du phosphate, calcium et du molybdène. Dans le même ordre d'idée, les travaux effectués par Nwaga et Nkot en 1998 ont démontré que lorsque le pH du sol est inférieur à 4,5, la toxicité en ions aluminium augmente et dans ce cas les légumineuses nodulent peu.

CHAPITRE 6 : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'étude menée a permis d'une part de confirmer les résultats obtenus en 2011 par Guibert et *al* et d'autre part des résultats analogues sont mis en évidence sur des sols organiques hydromorphes et tourbeux et sur les sols faiblement ferrallitiques. Bien que le nombre moyen de nodules totaux et fonctionnels observé varie d'un village à un autre, pourtant les variables sol et variété sont toutes homogènes dans les différents villages. Ainsi les caractéristiques de la nodulation de l'arachide (*Arachis hypogaea*) sont influencées par un type de sol permettant alors de mettre en évidence le caractère acide d'un sol, ceci à travers les proportions de nodules fonctionnels. L'étude a également permis de voir que le nombre de nodules totaux formés ne peut être corrélé avec les pH des sols car dépend plutôt des valeurs intrinsèques de la variété d'arachide

Toutefois, l'étude ne permet pas de proposer une valeur ou intervalle de valeurs de pH du sol qu'il faut atteindre en zone avant de commencer le redressement des parcelles. Néanmoins, elle permet de mieux orienter les recherches futures dans le sens qu'elle propose de combiner à de l'engrais approprié, des amendements calciques qui permettront alors de relever les pH des sols dans la zone cotonnière du Cameroun. A la SODECOTON, de sensibiliser les producteurs de l'importance de cette étude et aux producteurs de s'impliquer dans la mise en place de cette technique en étant plus coopérant durant les travaux de recherche et son application sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE :

- A.F.E.S., 1992.** Référentiel pédologique français. 3^{ème} proposition A.F.E.S.paris, 272p.
- Alexander M. 1984.** Biological Nitrogen Fixation. Plenum Press. New-York and London.
247p.
- Anonyme 1, 2009.** Les bactéries symbiotiques fixatrices d'azote atmosphérique.
[http://www.bact.Wisc.edu/Bact303/Major Groups Of Prokaryotes.](http://www.bact.Wisc.edu/Bact303/Major%20Groups%20Of%20Prokaryotes)
Téléchargé le 04/2009.
- Anonyme 2, 2000.** CIRAD AMIS US 49 ANALYSES, 22p.
- Aubréville, A., 1949.** Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. Société d'Éditions Géographique, Maritimes et Coloniales, Paris, France, 351p.
- Bergersen F. J., 1982.** Root Nodules of Legumes: Structure and Functions. Division of Plant Industry, CSIRO, Canberra, Australia. 1-95p.
- Boli Baboule Z., Bep Aziem A. et Roose, E., 1991.** Enquête sur l'érosion en région cotonnière du Nord Cameroun. Bulletin Réseau Erosion, 11:127-138p.
- Bolt G.H. et Bruggenwert M.G.M., 1978.** Soil chemistry: A. Basic elements. Development in Soil Science 5A, Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam, 281p.
- Brabant, P., et Gavaud, M., 1985.** Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun (Provinces du Nord et de l'Extrême-Nord). ORSTOM, IRA (éd.), 2 vol., Editions de l'ORSTOM, Bondy, France, 285p.
- Brady N.C., 1990.** The nature and properties of soils. 10th edition. MacMillan Publishing Company, New York, 621p.
- Brady N.C. et Weil R.R., 2002.** The nature and properties of soils. Broomfield ESP, Ayanaba A (1980). Prentice Hall, New York, USA. 208p.
- Brucioert S. et Rouiller J., 1979.** Mécanismes de régulation du pH des sols. In BONNEAU M. et SOUCHIER B. (éditeurs). Pédologie, tome 2: Constituants et propriétés du sol. Masson, chap. XJX, 354-365p.

- Burias N., Planchon C. et Paul M.H., 1989.** Phenotypic and genotypic distribution of nodules on soybean root system inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* strain G49 in “Agronomies’ 1990 (10) “57-62. INRA, Montpellier, France.compan.y.303p.
- Chamayou H. et Legros J.-P., 1989.** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Coll. Techniques vivantes, Agence de coopération culturelle et technique (ACCT), Conseil international de la langue française, PUF, 593p.
- Cheng Y., 2003.** Plant mechanisms contributing to acid impairment of nodulation of *Medicago murex* and *Medicago sativa* by *Sinorhizobium medicae*. PhD thesis, Murdoch University, Murdoch, Australia.
- Dabin B. et Maignien R., 1976.** Les principaux sols d’Afrique de l’Ouest et leurs potentialités agricoles. Pédologues ORSTOM services scientifiques centraux, 7&74, route d’Aulnay, 93140 Bondy.
- Dixon, R.O. D. et Wheeler C. T., 1996.** Nitrogen fixation in plants. Backie. Glasgow. 152p.
- Djondo M., 1995.** Propriétés d’échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari et sableux du Plateau de Mbe-Batéké au Congo : Application à la correction de leur acidité. 259p
- Dommergues Y., Duhaux, E. et Hoang G.D., 1999.** Les arbres fixateurs d’azote: Caractéristiques fondamentales et rôle dans l’aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux. Y. Dommergues Y. (éd). Edition espaces 34. Paris. 475p.
- Dolling P.J. et Ritchie G.S.P., 1985.** Estimates of soil solution ionic strength and the determination of pH in West Australian soils. AI/st. J. Soil Res., 23: 309-314p.
- Donfack, P., Seiny Boukar, L., et M'biandoun, M., 1997.** Les grandes caractéristiques du milieu physique. *In* Seiny Boukar L., Poulain J.F., Faure G., (éds.) – Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d’Afrique centrales. Actes de l’atelier d’échange,

Garoua, Cameroun, 25-29 novembre 1996. Montpellier, France, CIRAD, Coll. Colloques, 29- 42p.

Duchaufour P., 1977. Pédologie : 1. Pédogenèse et classification. Masson. Paris, 477 p.

Dugué, P., Valle., Klein, H.D., Rollin, D., et Lecomte, Ph., 2004. Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Un nouveau cadre d'analyse pour développer de nouveaux modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation.

Espiau P., 1986. Contribution à l'étude du complexe absorbant des sols acides à charges mixtes. Application aux Andosols du Velay. Thèse de doctorat d'état, USTL, Montpellier, 338 p.

Espiau P., 1987. Contribution à l'étude du complexe absorbant des sols acides à charges mixtes. Application aux Andosols du Velay. Call. ORSTOM, sér. Pédol., XXIII(2): 79-94p.

Espiau P. et Pedro G., 1986. Caractérisation du complexe absorbant des sols acides - CEC et taux d'acidité d'échange. In La capacité d'échange cationique et la fertilisation des sols agricoles. Y. AMIET (éditeur), AFES, Chambre d'agriculture de Basse-Normandie, 129-153p.

Espiau P. et Peyronnel A., 1976. L'acidité d'échange dans les sols. Méthode de détermination de l'aluminium échangeable et des protons échangeables. Science du sol, Bull. AFES, (3): 161-175p.

FAO., 2001. Conservation Agriculture. Case studies in Latin America and Africa. FAO Soil Bulletin N° 78. FAO, Rome.

Garba Guimbirké, 2011. Arrière effet de la culture de la luzerne du Brésil (*Stylosanthes guianensis*) sur les cultures subséquentes du cotonnier (*Gossipium hirsutum* L.) et du maïs (*Zea mays* L.) dans la zone cotonnière du Cameroun. 74p.

Gaudard et Asfom, 2004. Note semestrielle d'information: CAMPAGNE 2003-2004. DPA, SODECOTON, Garoua. 76p

- Giller K.E., McDonagh J.F., Toomsan B., Limpinuntana V., Cook H.F., et Lee H.C., 1995.** Legumes in the cropping systems of North-East Thailand. Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Agriculture, University of London, UK. Whye College Press, Ashford.
- Gillman G.P., 1991.** The chemical properties of acid soils with emphasis on soils of the humid tropics. In Plant-soil interaction at low pH. WRIGHT et al. (editors), Kluwer Academic Publishers, 3-14p.
- Graham P.H., 2000.** Nodule formation in legume. Encyclopaedia of Microbiology 2nd
- Guibert, H., M'biandoun, M., et Olina, J.P., 2002.** Productivité et contraintes des systèmes de culture au Nord-Cameroun In Jamin J.Y., Seiny Boukar L. (eds.) Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes de colloque, Maroua Cameroun. N'Djamena, Tchad, mai 2002, [Cédérom]. PRASAC.
- Guibert H., M'biandoun M., Garba Guimbirké et Olina Bassala J.P. 2011.** Rapport technique SODECOTON campagne agricole 2011/2012.
- Guyotte K., Martin J. et Ekorong J. 1997.** Fertilité des sols et réponse du cotonnier à la fertilisation. In Agricultures des savanes du Nord Cameroun: vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale. CIRAD (ed). Garoua, Cameroun, 409-428p.
- Harrison, P., 1991.** Une Afrique verte. Edition Karthala et CTA. Paris –France. 448p
- Haynes R.J., 1986.** Origin, distribution and cycling of nitrogen in terrestrial ecosystems. IN: Mineral nitrogen in the plant-soil system. R.J. Haynes (Ed) 1-15, Academic Press, Orlando.
- Heimo, C.R., 2004.** Introduction au projet de gestion de l'information spatiale pour le suivi de la sécurité alimentaire. GMFS Policy Foundation. Report Submitted to the European Space Agency on May 2004 on behalf of the GMFS Consortium. (<http://private.mcnet.ch/ecology/id37.htm> Consulté le 25/07/2012)

- Heliar K.R. et Porter W.M., 1989.** Soil acidification, its measurement and the processes involved. In Soil acidity and plant growth, ROFISON AD. (Editor), Academic Press, Sidney, 61-101p.
- IBSRAM, 1989.** Acid tropical soils management and land development practices. First training workshop held at the Yurimaguas Experiment Station, Peru. IBSRAM Technical Notes n°2, 242 p.
- Kammen A., 1985.** The molecular Development of nitrogen fixing root Nodules IN Nitrogen Fixation: Fundamentals and Applications 9-15 Kluver Academic Publishers. London.
- Konate Z., Gala Bi T.J., Messoum F.G., Sékou A., Yaokouame A., Camara M., Keli Z. J., 2012.** Alternatives à la fertilisation minérale des sols en riziculture pluviale de plateau : apports des cultures du soja et du niébé dans la fertilité d'un ferralsol hyperdystrique au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 54: 3859 – 3869p.
- Marie-Claire D., 1988.** Essai d'inoculation au Sénégal de l'arachide avec des souches de Rhizobium. Mémoire de fin d'étude du diplôme des Ingénieurs des Travaux d'Agriculture. 39p.
- Martin D. et Segalen P., 1964.** Les sols du Cameroun occidental. 8th intern Congress of soil science, Bucharest, Romania.
- Marziah M., Ariffin S. Z. et Shamsuddin Z. H., 1995.** Effects of Al on growth, nodulation and polyphenol oxidase activities in groundnut. In Soil Biol. Biochem. Vol. 21, (4/5), 679-681p.
- Mandimba G. R. et Djondo Y. M., 1996.** Nodulation and yield of *Arachis hypogaea* L. as affected by soil management in Congo. Biological Agriculture and Horticulture.
- M'biandoun M., Thézé M. et Abdoulaye Abba. 2002.** Maintien ou amélioration du potentiel productif des sols en région soudano-sahélien du nord Cameroun. Projet DPGT, SODECOTON et IRAD de Garoua. Cameroun. 11p.

Mengel K. et Kirkdy E.A, 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Berne, Switzerland, 593p.

Mvondo Awono, J.P., 1997. Fertilisation azotée du maïs-grain (*Zea mays* L.) en rotation avec une luzerne non dormante (*Medicago sativa* L. var. nitro). Thèse de doctorat, université Laval, 194p.

Nadama, 2006. Influence de trois modes de gestion des sols sur le profil de la macrofaune du sol en parcelles cotonnières Paysannes au nord Cameroun, 66p.

Ngo Nkot L., Nwaga D., Ngakou A., Fankem H. et Etoa F.X., 2011. Variation in nodulation and growth of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) on oxisols from land use systems of the humid forest zone in southern Cameroon. African Journal of Biotechnology Vol. 10(20), 3996-4004p.

Nwaga D., 1994. La symbiose Rhizobium-légumineuse: de la recherche au développement. Cam. Biochem. Soc. Vo II. 44-50p.

Nwaga D. et Ngo Nkot L., 1998. Tolérance à l'acidité in vitro des rhizobia isolés du niébé (*Vigna unguiculata*) au Cameroun en comparaison avec Bradyrhizobium japonicum. Cahiers agricoles 7: 407-410p.

Obaton M., 1992. Facteurs pédoclimatiques limitant la fixation biologique de l'azote chez les légumineuses. In K. Mulongoy, Gueye M. et D.S.K. Spencer (éds.) « Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture », John Wiley & sons, Chichester, UK, 57-66p.

Olofintoye, J. A., 1986. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) response to different levels of phosphorous and nitrogen in the Guinea Savanna of Nigeria.

PAN/LCD., 2007. Plan d'Action National de Lutte Contre la Désertification. UNOPS (United Nations Office for Project Service).

Raunet, M., 2003. Quelques clés morphologiques de sol du Nord Cameroun à l'usage des Agronomes. 18p.

Ritchie G.S.P., 1989. The chemical behaviour of aluminum, hydrogen and manganese in acid soils. In Soil acidity and plant growth. Edited by A.D. ROBINSON, Soil Sci.

and Plant Nutr. School of Agric., University of Western Australia, Academic Press, 1-60p.

Rouiller J., Guillet B. et Bruckert S., 1980. Cations acides échangeables et acidités de surface: approche analytique et incidences pédogénétiques. Science du sol, Bull. AFES, (2): 161-175p.

RPF., 1992. Référentiel pédologique français. Collection Publications de l'INRA.

Ryle G.J., Powell C.E. et Gordon A.J., 1979. J. Exp. Bot. 30, 135-154p.

Sanchez P.A., 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley Interscience Publication, 618p.

Sanchez P.A. et Smith T.J., 1987. The ISSRAM acid tropical network: a progress report. In ISSRAM (1987), AFRICALAND, 19-40p.

Schofield R.K. et Taylor A.W., 1955. The measurement of soil pH. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19:164-167p.

Segalen P., Martin D., Sieffermann G. et Vallerie M., 1960. Carte pédologique du Cameroun Oriental.

Somasegaram P. et Halliday J., 1982. Dilution of liquid Rhizobium culture to increase production capacity of inoculants plant. Appl. Environ. Microbiol. 44, 330-333p.

Souhoré P., 2010. Nodulation et performance agronomique de cinq variétés de niébé (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) sur un vertisol à Djangal dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun .77p.

Sparks D.L., 1984. Ions actives: a historical and theoretical overview. Soil Sci. Soc. Am.J., 48:514-518p.

SSSA., 1987. Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, Madison, 33 p.

Tillard P. et Drevon J.J., 1998. Nodulation and Nitrogenase activity of chickpea cultivar

INRA 199 inoculated with different strains of *Rhizobium ciceri* In Agronomic 8 (5). 387-392. INRA, Montpellier, France. Tropicales avec référence au Cameroun. Edition Pudoc Wageningen. 281-295p.

Uribe B.E., 1989. Soil and plant methods used at the tropical soil laboratory, Yurimaguas. In IBSRAM Technical Notes n°2: 163-175p.

Vadez V., 1996. La fixation de l'azote atmosphérique par les symbioses légumineuse rhizobium : 10-24p, dans «Variabilité génétique de la fixation d'azote sous carence en phosphore chez le haricot: relations avec l'efficacité d'utilisation du P et la perméabilité nodulaire à l'oxygène». Thèse de Doctorat. Spécialité: Physiologie. INRA, Montpellier, France.

Van Breemen N., 1991. Soil acidification and alkalinization. In Soil acidity, ULRICH and SUMNER (Eds), chapter 1, 1-7p.

Wesphal E. et Ferwarda J.D., 1985. Les légumineuses à graines In *cultures vivrières*.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'observation des nodules par parcelle

FICHE OBSERVATIONS NODULES PAR PARCELLE

Région :

Date :

Secteur :

Code :

Village :

		Nombre de nodules totaux/ plant	Nombre de nodules fonctionnels/ plant
N E Alt :	Placette a	Plant 1	
		Plant 2	
		Plant 3	
		Plant 4	
		Plant 5	
		Plant 6	
		Plant 7	
		Plant 8	
		Plant 9	
		Plant 10	
N E Alt :	Placette b	Plant 1	
		Plant 2	
		Plant 3	
		Plant 4	
		Plant 5	
		Plant 6	
		Plant 7	
		Plant 8	
		Plant 9	
		Plant 10	
N E Alt :	Placette c	Plant 1	
		Plant 2	
		Plant 3	
		Plant 4	
		Plant 5	
		Plant 6	
		Plant 7	
		Plant 8	
		Plant 9	
		Plant 10	
N E Alt :	Placette d	Plant 1	
		Plant 2	
		Plant 3	
		Plant 4	
		Plant 5	
		Plant 6	
		Plant 7	
		Plant 8	
		Plant 9	
		Plant 10	

Annexe 2: Fiche parcellaire**FICHE PARCELLE****Village :****Date :**

Code parcelle				
Nom du producteur				
Age de culture (défriche)				
Distance village				
Position topo-séquence				
Présence arbres (nombre/quart)				
Traces érosions ?				
Présence pierres, cailloux, gravillons ?				
Couleur sol				
Texture surface				
Texture 20 cm				
Date de semis				
	Années	Culture	Fumure minérale (oui/non)	Fumure organique (oui/non)
Pratiques culturales menées sur la parcelle	2012			
Précédents culturaux sur la parcelle	2011			
	2010			
	2009			
	2008			
Appréciation de la fertilité de la parcelle par le producteur	Bonne	Moyenne	Mauvaise	
Jachère	Oui	Non	Durée	
Variété	Nom local	Origine des semences		

Annexe 4 : Fiche mesure pH des sols

Fiche mesure pH des sols

Code laboratoire	Secteur- Village	Code parcelle	pH eau	pH_{KCl}
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				

Annexe 5 : Analyse de la variance des données de production des nodules totaux et fonctionnels en fonction de pH dans les différents villages du secteur de Bibémi

Source de variation	DL	SCE	CM	Fcal	F _{théo (5%)}
Facteur étudié (villages)	3	2468	822,66	0,42	6,59
Erreur	4	7690	1922,5		
Total	7	10158			

Annexe 6 : Analyse de la variance des données de production des nodules totaux et fonctionnels en fonction de pH dans les différents villages du secteur de Padarmé

Source de variation	DL	SCE	CM	Fcal	F _{théo (5%)}
Facteur étudié (villages)	3	1164,5	388,16	0,39	6,59
Erreur	4	3917	979,25		
Total	7	5081,5			

Annexe 7 : Test de Student effectué entre les différentes variétés d'arachide rencontrées dans la zone d'étude

Variétés	Mérédji	Latiya	Kampala
Nombre moyen de nodules totaux	56	22	56
	entre Mérédji et Latiya	entre Latiya et Kampala	entre Mérédji et Kampala
Test de Student (5%)	0,0454	0,1905	0,9875

Variétés	Mérédji	Latiya	Kampala
Nombre moyen des nodules fonctionnels	18	10	11
	entre Mérédji et Latiya	entre Latiya et Kampala	entre Mérédji et Kampala
Test de Student (5%)	0,5757	0,7025	0,0294

Variétés	Mérédji	Latiya	Kampala
Nombre moyen des proportions des nodules fonctionnels	31	44	27
	entre Mérédji et Latiya	entre Latiya et Kampala	entre Mérédji et Kampala
Test de Student (5%)	0,0416	0,0402	0,0544