

**Importance socio-économique et caractérisation
structurale, morphologique et génétique moléculaire de
Haematostaphis barteri Hook F. (la prune rouge) au Bénin**



Bienvenue Nawan KUIGA SOUROU



République du Bénin

*_*_*_*_*_*

Université de Parakou

*_*_*_*_*_*



Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE)

Option: Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles

Spécialité: Sciences Forestières

Importance socio-économique et caractérisation structurale, morphologique et génétique moléculaire de *Haematostaphis barteri* Hook F. (prune rouge) au Bénin

Thèse de Doctorat Unique

Défendue publiquement le lundi 06 Novembre 2017 à Parakou pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques de l'Université de Parakou, Bénin

Par :

**Bienvenue Nawan
KUIGA SOUROU, DEA**

Directrice de thèse

Pr. Dr. Ir. Christine OUINSAVI, Professeur
Titulaire de Sylviculture et Biologie Forestière
(CAMES)

Composition du jury :

Président: Kouami KOKOU, Professeur Titulaire, Université de Lomé, Togo

Directrice de thèse: Christine OUINSAVI, Professeur Titulaire, Université de Parakou, Bénin

Examineur 1: Madjidou OUMOROU, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Examineur 2: Clément AGBANGLA, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Examineur 3: Achille Ephrem ASSOGBADJO, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Examineur 4: Samadori S. Honoré BIAOU, Maître de Conférences, Université de Parakou, Bénin

Promotrice :

Pr. Dr. Ir. Christine OUINSAVI, Professeur Titulaire de Sylviculture et Biologie Forestière (CAMES), Faculté d'agronomie, Université de Parakou, Bénin

Pré-évaluateurs :

- 1- **M. Kouami KOKOU**, Professeur Titulaire, Université de Lomé, Togo
- 2- **M. Clément AGBANGLA**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin
- 3- **M. Achille Ephrem ASSOGBADJO**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Composition du jury :

Président: M. Kouami KOKOU, Professeur Titulaire, Université de Lomé, Togo

Directrice de thèse: Mme. Christine OUINSAVI, Professeur Titulaire, Université de Parakou, Bénin

Examineur 1: M. Madjidou OUMOROU, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Examineur 2: M. Clément AGBANGLA, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Examineur 3: M. Achille Ephrem ASSOGBADJO, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi, Bénin

Examineur 4: Samadori S. Honoré BIAOU, Maître de Conférences, Université de Parakou, Bénin



Republic of Benin
*_*_*_*_*
University of Parakou
*_*_*_*_*



Graduate School of Agricultural Sciences and Water

Option: Development and Management of Natural Resources

Specialty: Forest Science

Socio-economic importance and structural, morphological and molecular genetic characterization of *Haematostaphis barteri* Hook F. (Blood plum) in Benin

PhD Dissertation

Defended in public on Monday, November 06th, 2017 of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Agronomic Sciences at the University of Parakou, Benin

By:

**Bienvenue Nawan
KUIGA SOUROU, Msc**

Thesis Promotor

Pr. Dr. Ir. Christine OUINSAVI, Professor
in Forestry and Forest Biology (CAMES)

Thesis jury:

Chairman: Kouami KOKOU, Professor, University of Lome, Togo

Reporter: Christine OUINSAVI, Professor, University of Parakou, Benin

Examiners: - Madjidou OUMOROU, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- Clément AGBANGLA, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- Achille Ephrem ASSOGBADJO, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- Samadori S. Honoré BIAOU, Associate Professor, University of Parakou, Benin

Thesis Promotor:

Pr. Dr. Ir. Christine OUINSAVI, Professor in Forestry and Forest Biology, Faculty of Agronomy, University of Parakou, Benin

Reviewers:

- 1- Kouami KOKOU**, Professor, University of Lome, Togo
- 2- Clément AGBANGLA**, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- 3- Achille Ephrem ASSOGBADJO**, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin

Thesis jury:

Chairman: Kouami KOKOU, Professor, University of Lome, Togo

Reporter: Christine OUINSAVI, Professor, University of Parakou, Benin

Examiners: - Madjidou OUMOROU, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- Clément AGBANGLA, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- Achille Ephrem ASSOGBADJO, Professor, University of Abomey-Calavi, Benin
- Samadori S. Honoré BIAOU, Associate Professor, University of Parakou, Benin

Dédicace

A

Mes chers parents Kuíga SOUROU et Gado SAGUI

Ma très chère épouse Clarisse KOUDAHA SOUROU

Mes enfants Massíwan, Sotíma et Bansèkíma

Remerciements

Avant tout, je voudrais rendre grâce à Dieu le Père Tout-Puissant qui est à la commande de toute chose pour m'avoir donné la santé et les inspirations nécessaires pour conduire à terme cette thèse et pour avoir mis sur mon chemin toutes les merveilleuses personnes et institutions qui m'ont aidé.

La présente thèse est le fruit de longues années de labeur, de péripéties, de bonheur et d'expériences inestimables et inoubliables. Pendant ces années, j'ai bénéficié du soutien et des sages conseils de nombreuses personnes et institutions que je souhaiterais remercier ici.

Je souhaite remercier en premier lieu mon Ex Promoteur de thèse, feu Professeur Nestor SOKPON, Ex Directeur du Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières. Ma profonde reconnaissance au Professeur pour avoir donné forme à cette idée et pour en avoir fait un sujet de thèse. Il m'a initié et guidé mes premiers pas en recherche scientifique et en écologie forestière depuis mon inscription en DEA jusqu'à la thèse de doctorat au cours de laquelle il m'a notifié clairement toute sa satisfaction. Merci Professeur, de m'avoir fait confiance et d'avoir été toujours disponible.

J'exprime ma profonde reconnaissance à ma Promotrice de thèse, Pr. Dr. Ir. Christine OUINSAVI, Professeur Titulaire de Sylviculture et Biologie Forestière (CAMES), qui a su vite prendre les commandes pour l'achèvement du présent travail qu'elle dirigeait avec Feu Professeur Nestor SOKPON. Je la remercie pour l'encadrement scientifique et l'aide matérielle qu'elle a mis à ma disposition afin que je puisse travailler dans de meilleures conditions. Je lui témoigne toute ma reconnaissance et mon admiration pour ses grandes qualités scientifiques et humaines et que l'ETERNEL DIEU TOUT PUISSANT dans sa Bonté, la bénisse et la comble au-delà de ses attentes.

Je remercie très sincèrement le Professeur Ambaliou SANNI, Directeur du Laboratoire de Biochimie et de Biologie Moléculaire (LBBM), pour m'avoir mis en contact avec deux merveilleux hommes: Dr Kifouli ADEOTI et Dr Gustave DJEDATIN pour la réalisation de la partie génétique de cette thèse.

Je rends hommage aux Docteur Kifouli ADEOTI et Gustave DJEDATIN, sans qui l'aspect génétique de cette thèse n'aurait pas connue un aboutissement heureux. Durant les douze mois de travaux de laboratoire, vous n'avez ménagé aucun effort pour suivre mes travaux et apporter des solutions adéquates à mes préoccupations. Vous m'avez appris à franchir les différents obstacles qui se sont dressés sur mon chemin. Vous avez cru en mes capacités et vous m'avez rendu très rapidement autonome dans les manipulations. Votre rigueur scientifique, votre dynamisme et votre amour du travail bien fait, ont été pour moi une fontaine d'inspiration

et de détermination. Vous m'avez réaffirmé que le succès est le couronnement, qui se situe à l'aval des efforts. Je vous dis un sincère merci et que l'ETERNEL DIEU TOUT PUISSANT dans sa Bonté vous bénisse et vous comble au-delà de vos attentes.

Je remercie le Professeur Fatiou TOUKOUROU, Directeur du Laboratoire de Microbiologie et de Technologies alimentaires (LAMITA) pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, où l'essentiel des manipulations génétiques ont été réalisées.

Je tiens aussi à remercier le Professeur Anatole LALAYE, Directeur du Laboratoire de Cytogénétique pour avoir mis à ma disposition la table de lecture UV et à ses étudiants en Master en particulier Arnaud et Rodrigue pour m'avoir assisté de façon permanente dans la lecture de mes très nombreux gels.

Mes remerciements vont à l'endroit des Professeurs Madjidou OUMOROU et Jacob YABI, pour avoir accepté de participer au comité d'accompagnement de cette thèse et pour leurs orientations et leurs conseils scientifiques. Ils ont été d'une aide précieuse dans le processus de mon transfert de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP) de l'Université de Parakou à l'Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE) de la même université.

Je témoigne aussi ma profonde gratitude aux Docteurs Ogoubi DAINOU et Ernest GOUDEGNON, tous ex directeurs de l'Ecole Normale Supérieure de Natitingou, sans qui la présente thèse n'aurait probablement pas vu le jour. Le premier, pour m'avoir identifié parmi mes collègues enseignants des Sciences de la Vie et de la Terre des lycées et collèges de Natitingou et proposé pour cette formation doctorale. Le second, pour m'avoir très tôt confié au feu Professeur Nestor SOKPON, qui m'a accepté, et accueilli dans son laboratoire, et avec qui j'ai démarré cette thèse. Tout au long de cette thèse, leurs soutiens et conseils ne m'ont jamais fait défaut.

Je ne saurais oublier tous ceux qui ont contribué à la collecte des données de terrain et de laboratoire, en particulier messieurs : Dr Fernand LALEYE, OHIN Brice, Nicéphore, Gérard AGBOSSOU, Hilaire, WEGNIKE M'Bèboti. Toutes mes reconnaissances aux populations locales des communes d'étude pour leur soutien, assistance et volonté de partage.

Mes remerciements vont également aux collègues et amis du Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières avec qui j'ai eu des discussions fructueuses et constructives dans une ambiance conviviale et familiale. Je veux citer Dr Towanou HOUETCHEGNON, Dr Firmin AKPO, Dr Evariste ALOHOU, Bienvenu HOUEHANOU, Appolinaire WEDJANGNON DOSSA Benjamin.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de mes parents SOUROU Kuiga et SAHGUI Gado, de mes frères et sœurs Yôh, Aline, Rosalie, Pierre et Charles, de mes cousins Alexis, Faustin, Darius, Marcel, Tchoromi, Hervé, Blaise, Gaétan, Sayi, Sabropa pour leur soutien fraternel, moral et spirituel.

Merci également à mes amis en l'occurrence Charles PON'GOUH et son épouse, Daniel N'WOUENI et son épouse, Grégoire OUSOÏ et son épouse, Hyacinthe GBAGUIDI et son épouse et Issifou BACHABI pour leurs mots d'encouragement

Mes gratitude à mon chef hiérarchique, le Proviseur Karimatou ASSOUMA et aux autres membres de l'administration du lycée de jeunes filles de Natitingou pour tout leur soutien.

Je remercie enfin tous les anonymes qui ont contribué de diverses manières à ce travail et dont les noms ne sont pas mentionnés, qu'ils reçoivent ma profonde reconnaissance.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements	ii
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	xi
Liste des photos.....	xii
Sigles et acronymes.....	xiii
Résumé	xv
Abstract	xvi
Chapitre 1 : Introduction générale	1
1.1 Problématique.....	1
1.2 Questions de recherche.....	4
1.3 Objectifs de recherche	4
1.4 Hypothèses de recherche	5
1.5 Structuration de la thèse	5
Chapitre 2 : Cadre conceptuel, milieu d'étude et présentation de <i>Haematostaphis barteri</i>	
Hook F. (Anacardiaceae)	8
2.1 Cadre conceptuel de l'étude	8
2.1.1 Structure des peuplements forestiers	8
2.1.2 Régénération.....	11
2.1.3 Variabilités phénotypique et génotypique	12
2.2 Milieu d'étude	13
2.2.1 Situation géographique	13
2.2.2 Relief et hydrographie	13
2.2.3 Climat, sol et végétation	15
2.2.4 Population et activités économiques.....	16
2.3 Présentation de <i>Haematostaphis barteri</i> Hook F. (Anacardiaceae).....	16
2.3.1 Caractéristiques générales de <i>Haematostaphis barteri</i> Hook F. (Anacardiaceae)	16
2.3.1.1 Taxonomie, origine, habitat et distribution géographique de l'espèce	16
2.3.1.2 Tempérament et reproduction	17
2.3.1.3 Phénologie.....	17
2.3.1.4 Description morphologique de <i>Haematostaphis barteri</i>	18
2.3.1.5 Description botanique de <i>Haematostaphis barteri</i>	18

2.3.2	Importance nutritionnelle de l'espèce	21
2.3.3	Importance économique de l'espèce	21
2.3.4	Importance médicinale de l'espèce	22
Chapitre 3 : Importance socio-économique de la prune rouge (<i>Haematostaphis barteri</i> Hook F.) au Bénin.....		
		24
3.1	Introduction	24
3.2	Matériel et méthodes	25
3.2.1	Méthode d'échantillonnage et collecte de données	25
3.2.1.1	Enquête ethnobotanique.....	25
3.2.1.2	Enquête économique	27
3.2.2	Estimation de la quantité de main d'œuvre	27
3.2.3	Analyses statistiques.....	28
3.2.3.1	Analyse des données d'enquête ethnobotanique.....	28
3.2.3.2	Analyse des données d'enquête économique.....	28
3.3	Résultats	29
3.3.1	Connaissances ethnoécologiques de <i>Haematostaphis barteri</i>	29
3.3.1.1	Appellation locale de <i>Haematostaphis barteri</i> et fondement	29
3.3.1.2	Habitat de <i>Haematostaphis barteri</i>	30
3.3.2	Connaissances ethnobotaniques et utilisations de <i>Haematostaphis barteri</i> au Bénin	30
3.3.3	Importance économique de <i>Haematostaphis barteri</i>	33
3.3.3.1	Caractéristiques socio-économique des vendeurs et quelques éléments de leurs comptes d'exploitation.....	33
3.3.3.2	Déterminants du profit net généré par la vente des fruits de <i>Haematostaphis barteri</i>	34
3.4	Discussion	36
3.4.1	Savoirs ethnoécologiques et importance ethnobotanique de <i>Haematostaphis barteri</i>	36
3.4.2	Importance économique de <i>Haematostaphis barteri</i>	37
3.5	Conclusion partielle.....	38
Chapitre 4 : Caractérisation structurale et production en fruits des populations de <i>Haematostaphis barteri</i> Hook F. au Bénin		
		40
4.1	Introduction	40
4.2	Matériels et méthodes.....	41
4.2.1	Echantillonnage et collecte de données	41
4.2.1.1	Caractérisation structurale des peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i>	41

4.2.1.2 Production en fruit de <i>Haematostaphis barteri</i>	43
4.2.2 Méthode d'analyse et de traitement des données	43
4.2.2.1 Caractéristiques structurales de <i>Haematostaphis barteri</i>	43
4.2.2.2 Structure démographique des peuplements.....	44
4.2.2.3 Production en fruits des peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i>	44
4.3 Résultats	45
4.3.1 Caractéristiques structurales des peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i>	45
4.3.1.1 Caractéristiques structurales suivant la géomorphologie.....	45
4.3.1.2 Caractéristiques structurales suivant le sexe	48
4.3.2 Distribution des pieds de <i>Haematostaphis barteri</i> par classes de diamètre	48
4.3.3 Distribution des pieds de <i>Haematostaphis barteri</i> par classe de hauteur totale	48
4.3.4 Régénération naturelle	51
4.3.5 Pressions sur les peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i>	51
4.3.6 Production de fruits par les peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i>	53
4.3.7 Corrélation entre les paramètres dendrométriques et les variables de production de fruits de <i>Haematostaphis barteri</i>	54
4.4 Discussion	55
4.4.1 Caractéristiques dendrométriques de <i>Haematostaphis barteri</i>	55
4.4.2 Caractéristiques structurales de <i>Haematostaphis barteri</i>	56
4.4.3 Production de fruits par les peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i>	57
4.5 Conclusion partielle.....	58
Chapitre 5 : Caractérisation morphologique de la prune rouge (<i>Haematostaphis barteri</i> Hook F) au Nord-Ouest du Bénin	60
5.1 Introduction	60
5.2 Matériels et méthodes.....	61
5.2.1 Echantillonnage et collecte de données	61
5.2.2 Traitement statistique des données	65
5.3 Résultats	65
5.3.1 Caractéristiques morphologiques des organes de <i>Haematostaphis barteri</i>	65
5.3.1.1 Panicules	65
5.3.1.2 Fruits	66
5.3.1.3 Feuilles	69
5.3.1.4 Foliolles.....	69

5.3.2 Variation des provenances et influence de la géomorphologie sur <i>Haematostaphis barteri</i>	70
5.3.3 Classification des Provenances suivant les caractéristiques étudiées.....	71
5.4 Discussion	74
5.5 Conclusion partielle.....	75
Chapitre 6 : Caractérisation génétique moléculaire de la prune rouge (<i>Haematostaphis barteri</i> Hook. F) au Bénin	78
6.1 Introduction	78
6.2 Matériels et méthodes.....	79
6.2.1 Sites et collecte du matériel végétal	79
6.2.2 Extraction et quantification de l'ADN.....	80
6.2.3 Amplification de l'ADN à l'aide des marqueurs RAPD	81
6.2.4 Méthodes statistiques et analyses moléculaires.....	81
6.3 Résultats	83
6.3.1 Polymorphisme des marqueurs RAPD utilisés.....	83
6.3.2 Diversité génétique intra sous-population de <i>Haematostaphis barteri</i>	85
6.3.3 Différenciation génétique inter sous-populations de <i>Haematostaphis barteri</i>	86
6.4 Discussion	91
7.5 Conclusion partielle.....	93
Chapitre 7 : Discussion générale, conclusion et perspectives.....	96
7.1 Discussion générale.....	96
7.1.1 Critique et limites des méthodes de l'étude.....	99
7.1.2 Valorisation des ressources de <i>Haematostaphis barteri</i>	101
7.1.3 Conservation des ressources génétiques de <i>Haematostaphis barteri</i>	102
7.2 Conclusion générale et perspectives.....	105
Références bibliographiques	107

Liste des tableaux

Tableau 3.1 Tailles des échantillons	26
Tableau 3.2 Les différentes utilisations de <i>Haematostaphis barteri</i>	32
Tableau 3.3 Compte d'exploitation du vendeur suivant le marché.....	34
Tableau 3.4 Déterminants du profit net de la vente des fruits de <i>Haematostaphis barteri</i>	35
Tableau 4.1 Caractéristiques structurales des peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i> suivant la géomorphologie des sites	47
Tableau 4.2 Caractéristiques structurales des peuplements de <i>Haematostaphis barteri</i> suivant le sexe des pieds	47
Tableau 4.3 Caractéristiques de production en fruits de <i>Haematostaphis barteri</i> suivant la géomorphologie.....	53
Tableau 4.4 Corrélation entre le DBH, la hauteur totale et les variables de production de fruit de <i>Haematostaphis barteri</i>	54
Tableau 5.1 Caractéristiques agro-écologiques des huit localités du Bénin dans lesquelles ont été collectés les fruits et les feuilles de <i>Haematostaphis barteri</i>	63
Tableau 5.2 Descripteurs morphologiques des panicules, fruits et feuilles de <i>Haematostaphis barteri</i> étudiés par provenance	67
Tableau 5.3 Descripteurs morphologiques des panicules, fruits et feuilles de <i>Haematostaphis barteri</i> étudiés suivant la géomorphologie.....	68
Tableau 5.4 Descripteurs morphologiques des panicules, fruits et feuilles des quatre morphotypes de <i>Haematostaphis barteri</i> identifiés.	73
Tableau 6.1 Sites de collecte et taille des échantillons	80
Tableau 6.2 Nombre de bandes et pourcentage de polymorphisme révélé par les marqueurs RAPD utilisés.....	83
Tableau 6.3 Résumé des Statistiques de la Diversité Génétique de quatre sous-populations de <i>Haematostaphis barteri</i>	85
Tableau 6.4 Statistiques de la diversité génétique de Nei (1973) et différenciation génétique inter sous-populations via AMOVA.	86
Tableau 6.5 Coefficient de différenciation et flux de gènes entre les sous-populations de <i>Haematostaphis barteri</i>	86
Tableau 6.6 Distances génétiques impartiales et les identités génétiques de Nei entre les sous-populations de <i>Haematostaphis barteri</i>	87
Tableau 6.7 Evolution du nombre K de groupes en fonction de delta K.	88

Tableau 6.8 Coefficient de différenciation et flux de gènes entre les trois groupes génétiques de <i>Haematostaphis barteri</i>	91
--	----

Liste des figures

Figure 2.1 Situation géographique et localisation des communes d'étude avec leur couverture végétale.....	14
Figure 2.2 Distribution géographique de <i>Haematostaphis barteri</i> Hook F. en Afrique	17
Figure 3.1 Répartition des différents organes de <i>Haematostaphis barteri</i> en fonction de leurs fréquences d'utilisation par les populations locales.....	31
Figure 3.2 Représentation graphique des différentes maladies traitées par les organes de <i>Haematostaphis barteri</i> et les ethnies sur les axes factoriels 1 et 2	31
Figure 4.1 Milieu d'étude montrant la chaîne de l'Atacora et les sites d'implantation des relevés.....	42
Figure 4.2 Répartition par classes de diamètre des pieds de <i>Haematostaphis barteri</i>	49
Figure 4.3 Répartition par classes de hauteur totale des pieds de <i>Haematostaphis barteri</i> ...	50
Figure 5.1 Distribution géographique des provenances de <i>Haematostaphis barteri</i> du milieu d'étude.....	62
Figure 5.2 Schéma de la constitution des grappes de <i>Haematostaphis barteri</i> échantillonnés.	62
Figure 5.3 Classification hiérarchique ascendante de huit localités, effectuée à partir de l'étude de caractères morphologiques de la feuille et du fruit de <i>Haematostaphis barteri</i> échantillonnés au Bénin.....	71
Figure 6.1 (a, b, c et d) Exemple de polymorphisme d'ADN génomique de <i>Haematostaphis barteri</i> détecté par des marqueurs RAPD.	84
Figure 6.2 Représentation graphique de la structure génétique de <i>Haematostaphis barteri</i> sur les axes 1 et 2 de l'Analyse en Coordonnées Principales.....	87
Figure 6.3 Structure génétique de <i>Haematostaphis barteri</i> obtenue sur la base de l'analyse bayésienne avec le logiciel STRUCTURE.....	89

Liste des photos

Photo 2.1	Pied de <i>Haematostaphis barteri</i> dans une jachère à Pèpèrikou	19
Photo 2.2	Tronc de <i>Haematostaphis barteri</i>	19
Photo 2.3	Feuilles âgées de <i>Haematostaphis Barteri</i>	19
Photo 2.4	Jeunes feuilles de <i>Haematostaphis Barteri</i>	19
Photo 2.5	Inflorescence femelle	19
Photo 2.6	Inflorescence mâle	19
Photo 2.7	Fruits de <i>Haematostaphis barteri</i> à divers degré de maturité	200
Photo 2.8	Vue d'ensemble noyau, endocarpe et graine de <i>Haematostaphis barteri</i>	200
Photo 4.1	Impacts des actions anthropiques sur <i>Haematostaphis barteri</i>	522

Sigles et acronymes

ACoP: Analyse en Coordonnées Principales

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

AFLP : Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés

ANOVA: Analyse de la Variance

AMOVA: Analyse de la Variance Moléculaire

BET: Bromure d'Ethidium

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

CTA : Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale

CV: Coefficient de Variation

DBH: Diamètre a Hauteur de Poitrine (à 1,30 m du sol)

DDL: Degré De Liberté

DNA : Acide DésoxyriboNucléique

dNTPs: Nucléotides TriPhosphates

EDTA: Acide Éthylène Diamine Tétra-Acétique

FAM: Fréquence d'Allèles Majeurs

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FAP: Fréquence d'Allèles Privés

FSA : Faculté des Sciences Agronomiques

GD: Distance Génétique de Nei

GID: Identité Génétique de Nei

GPS: Géo-Positionnement par Satellite

H: Diversité génétique de Nei

HCl: Acide chlorhydrique

H_s: Diversité génétique intra-population

H_T: Diversité génétique Totale

Kb: Kilo base

INSAE : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

LEA : Laboratoire d'Ecologie Appliquée

MATAB: Mélange de Bromure d'Ammonium et de Triméthylammonium

MCO : Moindres Carrés Ordinaires

MgCl₂ : Chlorure de Magnésium

NE : Nord-Est

PIB : Produit Intérieur Brut

PCR: Amplification en Chaîne par Polymérisation

PROC GLM: Procédure du Modèle Linéaire Général

RAPD : Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe

RFLP : Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction

SNP : Polymorphisme Simple de Nucléotides

SPSS: Logiciel Statistiques pour les Sciences Sociales

SSR : Répétition de Séquences Simples non codantes

SW: Sud-Ouest

TAE : Solution Tampon de Tris Acétate EDTA

TH: Hauteur Totale

UAC: Université d'Abomey-Calavi

Résumé

L'étude porte sur l'importance socio-économique et la caractérisation structurale, morphologique et génétique moléculaire de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook F.) au Bénin. Le but global est de contribuer à la domestication de cette espèce, et spécifiquement: (i) d'étudier l'importance ethnobotanique de *H. barteri* au niveau des grands groupes sociolinguistiques du Nord-Bénin; (ii) d'évaluer la contribution financière de la vente des fruits de *H. barteri* au revenu des populations; (iii) faire la caractérisation dendrométrique de *H. barteri* du Bénin suivant la géomorphologie des sites et en fonction du sexe des individus; (iv) quantifier la production fruitière de *H. barteri* au Bénin; (v) évaluer la variabilité morphologique de *H. barteri* du Bénin suivant la provenance et la géomorphologie; (vi) évaluer la variabilité génétique intra-sous-population et inter-sous-populations de *H. barteri* du Bénin. L'approche méthodologique a été fondée sur des enquêtes ethnobotaniques et socio-économiques, des inventaires forestiers, des mesures réalisées sur les descripteurs morphologiques des panicules, des fruits, des feuilles et des folioles et l'utilisation des marqueurs moléculaires de type RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) pour l'étude de la variabilité génétique moléculaire. Les résultats ont montré que *H. barteri* est une espèce à usages multiples. Le revenu moyen annuel obtenu de la vente des fruits de *H. barteri* est faible (10 077 FCFA). L'étude a aussi montré que les caractéristiques structurales et morphologiques ont varié significativement ($P < 0,001$) suivant la géomorphologie des sites. Les individus de *H. barteri* ayant les valeurs moyennes les plus élevées de diamètre ($17,46 \pm 0,73$ cm), de hauteur totale ($4,56 \pm 0,14$ m) et de diamètre houppier ($4,60 \pm 0,22$ m) ont été notés sur les hauts versants et sommets de colline. De même, les fruits les plus gros ($27,74 \pm 0,09$ cm de longueur et $24,73 \pm 0,09$ cm de largeur) et ayant une importante quantité de puple ($5,93 \pm 0,07$) ont été aussi notés dans ce même peuplement. Quatre morphotypes différents ont été identifiés avec cependant une faible variabilité ($0 < CV < 10\%$) intra et inter sous-populations pour la plupart des descripteurs morphologiques étudiés. L'étude de la variabilité génétique moléculaire de *H. barteri* par les marqueurs RAPD a montré une diversité génétique intra sous-population relativement importante ($h = 0,250$) et une différenciation génétique inter sous-populations relativement faible ($\Phi_{PT} = 0,170$) avec un flux de gènes modéré ($N_m = 2,345$). En outre, trois groupes génétiques différents ont été obtenus avec une différenciation plus ou moins marquée des accessions du groupe génétique de Boukombé par rapport aux autres groupes, et qui se révèlent très intéressants pour des programmes futurs de sélection et d'amélioration génétique.

Mots clés: ethnobotanique, rentabilité économique, structure dendrométrique, variabilité morphologique, diversité génétique, marqueurs RAPD, *Haematostaphis barteri*, Bénin.

Abstract

This study focuses on socio-economic importance and structural, morphological and genetic characterization of blood plum (*Haematostaphis barteri* Hook F.) in Benin. The overall aim is to contribute to the domestication of this species, specifically: (i) to study the ethnobotanic importance of *H. barteri* at the level of the major sociolinguistic groups of North Benin; (ii) to assess the financial contribution of the sale of *H. barteri* fruit to the income of the populations; (iii) to characterize ecologically *H. barteri* of Benin according to the geomorphology of the sites and according to the sex of the individuals; (iv) to quantify the fruit production of *H. barteri* in Benin; (v) to assess morphological variability of *H. barteri* of Benin according to provenance and geomorphology; (vi) to assess the genetic diversity within and between sub-populations of *H. barteri*. The methodological approach was based on ethnobotanical and socio-economic surveys, forest inventories, measurements on the morphological descriptors of panicles, fruits, leaves and leaflets and the use of RAPD molecular markers (Random Amplified Polymorphic DNA) for the study of molecular genetic variability. The results showed that *H. barteri* is a multi-purpose species. The average annual income obtained from the sale of *H. barteri* fruit is low (10 077 FCFA). The study also showed that the structural and morphological characteristics varied significantly ($P < 0.001$) according to the geomorphology of the sites. The *H. barteri* individuals with the highest mean diameter (17.46 ± 0.73 cm), total height (4.56 ± 0.14 m) and crown diameter ($4.60 \pm 0, 22$ m) were noted on the high slopes and hilltops. Similarly, the largest fruits (27.74 ± 0.09 cm long and 24.73 ± 0.09 cm wide) with a large amount of puple (5.93 ± 0.07) were also found Noted in this same stand. Four different morphotypes were identified with low variability ($0 < CV < 10\%$) intra- and inter-subpopulations for most of the morphological descriptors studied. The study of the molecular genetic variability of *H. barteri* by the RAPD markers showed a relatively large intra-population genetic diversity ($h = 0.250$) and a relatively low inter-subpopulation genetic variability ($\Phi_{PT} = 0.170$) with a Moderate gene flow ($N_m = 2.345$). In addition, three different genetic groups were obtained with a more or less marked differentiation of the accessions of the Boukombé genetic group compared to the other groups.

Keywords: ethnobotany, economic profitability, dendrometric structure, morphological variability, genetic diversity, RAPD markers, *Haematostaphis barteri*, Benin

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 1 : Introduction générale

1.1 Problématique

Il est reconnu aux forêts plusieurs fonctions: la protection de l'environnement, à travers la lutte contre la désertification, l'effet de serre, la pollution atmosphérique et d'autres fonctions socio-économiques (Evans, 2001). Les forêts tropicales sont aujourd'hui, les dernières réserves de diversités d'espèces végétales (Diabaté *et al.*, 2009), et sont perçues non plus comme une source inépuisable de combustible et de matériaux de construction mais comme une réserve d'aliments originaux (Sokpon et Lejoly, 1996). Cependant, une destruction est exercée sur ces forêts. Selon la FAO (2016), le rythme de déforestation nette des forêts dans les pays tropicaux est de 7 millions d'hectares par an au cours de la période de 2000 à 2010. Au Bénin les pertes annuelles en couverture forestière sur la période de 2005 à 2010 sont estimées à 50.000 ha (FAO, 2015) avec pour conséquence la disparition des espèces végétales de leurs écosystèmes naturels (Adomou, 2005), et dues selon Assogbadjo *et al.* (2010) à la pression démographique, à la déforestation, aux feux de végétation, à l'agriculture, à l'élevage et aux variations climatiques. Parmi ces espèces forestières, figurent par exemple des espèces alimentaires comme *Parkia biglobosa* (Jacq) R.Br.ex G.Don, *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., *Adansonia digitata* L., *Vitex doniana* Sweet et *Blighia sapida* KD Koenig des espèces à importante valeur économiques comme *Azizelia africana* Sm. Ex Pers., *Pterocarpus erinaceus* Poir, *Milicia excelsa* (Welw.) CC Berg (FAO, 2001).

Mais depuis quelques années, suite aux problèmes d'ordre général de dégradation forestière, l'humanité s'est intéressée à la place qu'occupent ces espèces forestières en général et les plantes alimentaires, médicinales et à valeur économique importante, dans la vie quotidienne des populations, dans un contexte de pauvreté comme celui de l'Afrique (Minae *et al.*, 1994) à travers de nombreuses études. Ces différentes études ont concerné entre autre, les aspects ethnobotanique (Codjia *et al.*, 2003; Assogbadjo *et al.*, 2010; Gouwakinnou *et al.*, 2011b; Koura, 2015; Houèchégnon, 2016), socio-économique (Vodouhè, 2003 ; Assogbadjo, 2006; Avocèvou *et al.*, 2009; Gnanglè *et al.*, 2012), écologique (Gouwakinnou, 2011; Agbogan *et al.*, 2012; Rabiou *et al.*, 2015), morphologique (Atangana *et al.*, 2001; Kouyaté, 2005; Gouwakinnou *et al.*, 2011c) et dans une moindre mesure l'aspect génétique (Fontaine *et al.*, 2004 ; Sina, 2006; Assogbadjo, 2006; Ekué et Gailing, 2011; Koura, 2015).

Haematostaphis barteri Hook. F., est l'une de ces espèces forestière dont l'importance est multiple et bien reconnue au niveau régional. *Haematostaphis barteri* est une espèce dioïque et se rencontre exclusivement dans les savanes soudaniennes et guinéennes de l'Afrique tropicale, allant de la Côte d'Ivoire au Soudan, sur des collines rocheuses ou cuirassées. C'est

une espèce alimentaire mineure dont les fruits très riches en éléments nutritifs tels que le calcium, le magnésium, le phosphore, la vitamine C et le fer (Amouzou *et al.*, 2006) peuvent être consommés sans aucune restriction (Umaru *et al.*, 2007). Ainsi, *Haematostaphis barteri* est classée parmi les 16 premiers fruitiers locaux les plus appréciés par les paysans au nord du Cameroun (Mapongmetsem *et al.*, 2012). Au Bénin, les fruits de l'espèce sont systématiquement collectés grâce à une main d'œuvre familiale (femmes et enfants) par les populations rurales puis commercialisés frais dans certains marchés locaux du Nord-Ouest du département de l'Atacora. Ainsi, l'intérêt socio-économique qu'offre *Haematostaphis barteri* aux populations rurales entraîne sa surexploitation qui, pourrait compromettre à long terme la disponibilité de la ressource, et donc la survie de l'espèce. En dépit de leur importance, les peuplements de *Haematostaphis barteri* sont caractérisés par une forte présence d'arbres relativement vieux, révélant une faible régénération des peuplements (Agbogon *et al.*, 2012) et une régression de l'aire de répartition dans les savanes soudaniennes et guinéennes (Arbonnier, 2005). Par exemple au Bénin, les travaux antérieurs d'inventaires floristiques et forestiers ont permis de détecter des populations fragmentées et des individus isolés de *Haematostaphis barteri* dans le phytodistrict de la chaîne de l'Atacora (Akoègninou *et al.*, 2006; Adomou, 2005), et restent confinées dans une niche écologique aussi restreinte au Nord-Ouest du département de l'Atacora. Cette fragmentation de l'habitat de *Haematostaphis barteri* induit une réduction de la taille de ces populations, ce qui pourrait conduire à une baisse de la diversité génétique de l'espèce, et donc constituer une menace à sa survie. Par exemple, la fragmentation des forêts et l'isolement spatial des espèces d'arbres qui en résulte peuvent modifier l'activité des pollinisateurs et influencer ainsi négativement sur leur reproduction (Quesada *et al.*, 2004). En outre, le caractère assez fluctuant du climat soudanien, marqué par des sécheresses récurrentes, et associé aux conditions écologiques extrêmes dans lesquelles pousse *Haematostaphis barteri* (collines rocheuses ou cuirassées), rendent l'espèce vulnérable et l'expose à une dégradation continue. Dans un tel contexte, la prise de mesures visant tout au moins à rompre la dynamique de dégradation sinon à inverser la tendance apparaît aussi urgente que vitale. Pour être efficaces, ces mesures à prendre devraient s'appuyer sur des données relatives à l'importance ethnobotanique et socio-économique, l'écologie et les variabilités morphologique et génétique de l'espèce.

Quelques travaux ont été menés sur *Haematostaphis barteri* dans quelques pays d'Afrique de l'ouest. Les aspects abordés par ces travaux concernent essentiellement: la caractérisation structurale et écologique des populations de *Haematostaphis barteri* (Agbogon *et al.*, 2012; Agbogon *et al.*, 2015); l'ethnobotanique (Pelé, 1966; Asase *et al.*, 2005; Amana,

2007; Atato *et al.*, 2010) et l'analyse de la composition chimique et biochimique des divers organes de l'espèce (Amoo et Lajide, 1999; Eromosele et Eromosele, 2002; Kubmarawa *et al.*, 2009; Umaru *et al.*, 2007 ; Tadzabia *et al.*, 2013 ; Ziblim, 2013 ; Aremu *et al.*, 2015 ; Boampong *et al.*, 2015a et b ; Yunana *et al.*, 2015 ; Milagawanda *et al.*, 2016).

Sur le plan de la caractérisation structurale des populations de *Haematostaphis barteri*, Agbogan *et al.* (2012) ont fait une étude comparative de la structure des populations adultes de *Haematostaphis barteri* du nord Togo sur deux sites (de différents degrés de pression humaine): les cuestas et la chaîne montagneuse de l'Atakora. Cette étude a révélé que la densité moyenne d'*Haematostaphis barteri* sur les cuestas est 1,6 fois supérieure à celle de l'Atakora. Les structures diamétriques des populations adultes de *Haematostaphis barteri* sont similaires dans les deux sites et ont une allure en cloche indiquant que l'espèce régresse du fait de son faible potentiel de régénération naturelle (environ 1 individu/ha). Les sommets et les haut versants des cuestas bien que sous forte emprise humaine semblent constituer l'habitat privilégié de *Haematostaphis barteri* au Togo (Agbogan *et al.*, 2015). Cependant, l'influence de la géomorphologie des sites et du sexe des individus de *Haematostaphis barteri* sur les structures dendrométriques et les variabilités morphologiques n'a été abordée, l'espèce étant dioïque et inféodée aux collines rocheuses.

En ce qui concerne l'ethnobotanique, quelques usages de *Haematostaphis barteri* ont été signalés par certains auteurs. Asase *et al.* (2005) a indiqué que *Haematostaphis barteri* est utilisé au Ghana pour le traitement de la malaria. Arbonnier (2005) et Nwodo *et al.* (2015) signalent que l'espèce est employée pour le traitement des trypanosomiasés et de l'hépatite. Les feuilles de la plante sont utilisées pour lutter contre la fièvre et les maux de ventre (Amana, 2007; Boampong *et al.*, 2015b). Dans le domaine alimentaire, la pulpe des fruits est consommée fraîche et constitue une excellente source d'éléments nutritifs vitaux (Atato *et al.*, 2010). La consommation des fruits a un effet positif sur les maladies cardio-vasculaires et sur les facteurs de risque (Yunana *et al.*, 2015). Bien que tous ces travaux révèlent l'importance ethnobotanique de *Haematostaphis barteri*, ils n'ont cependant pas fait un inventaire exhaustif des utilisations de l'espèce, et n'ont pas investigué sur les facteurs déterminants la gestion durable de l'espèce. Aussi, l'importance économique n'a pas été abordée, étant donné que les fruits de *Haematostaphis barteri* font objet de commercialisation dans les marchés locaux par les populations rurales.

En ce qui concerne l'analyse de la composition chimique et biochimique des différents organes de *Haematostaphis barteri*, de nombreux travaux de recherche ont été menés. Ainsi, l'analyse chimique et biochimique de l'écorce, des feuilles et des racines montre que l'espèce

possède des propriétés anti-malaria et antioxydant (Boampong *et al.*, 2015b; Ezekiel *et al.*, 2016) ; antifongique et antibactérien en raison de la présence de certaines substances chimiques comme les flavonoïdes, les saponines et les alcaloïdes (Tadzabia *et al.*, 2013). C'est ce qui justifie l'usage des différents organes de l'arbre dans la pharmacopée traditionnelle par les populations rurales. L'analyse chimique de la pulpe des fruits (Aremu *et al.*, 2015), des feuilles (Kubmarawa *et al.*, 2009) et de l'huile tirée des graines (Eromosele et Eromosele, 2002) indique que les fruits, les feuilles et les graines de *Haematostaphis barteri* constituent une excellente source d'éléments nutritifs vitaux.

1.2 Questions de recherche

Les différents travaux décrits ci-dessus et menés sur *Haematostaphis barteri* en Afrique de l'Ouest n'ont toutefois pas abordé les questions de recherche suivantes :

- Quelles sont les connaissances ethnobotaniques des populations rurales du Bénin sur *Haematostaphis barteri*?
- Quelle est l'importance socio-économique de l'espèce pour les communautés rurales du Bénin?
- Quelles sont les caractéristiques dendromérique et structurale de *Haematostaphis barteri* au Bénin? Et quelle est sa production moyenne en fruits? La géomorphologie des sites et le sexe des individus ont-ils une influence sur les caractéristiques dendrométrique et structurale de l'espèce?
- Existe-t-il une variabilité morphologique significative entre les individus de *Haematostaphis barteri* suivant leur provenance et la géomorphologie des sites?
- Les variabilités morphologiques entre des individus de *Haematostaphis barteri* sont-elles génétiques ? Quels seraient les niveaux de variation génétique intra-population et inter-populations?

1.3 Objectifs de recherche

Objectif général

L'objectif général de la présente thèse est de contribuer à la conservation, la valorisation et la gestion rationnelle de *Haematostaphis barteri*.

Objectifs spécifiques

Spécifiquement il s'agit de :

- évaluer l'importance ethnobotanique de *Haematostaphis barteri* au niveau des grands groupes sociolinguistiques du Nord-Bénin;
- évaluer la contribution financière de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* au revenu des populations rurales du Bénin;

- caractériser la structure dendrométrique de *Haematostaphis barteri* du Bénin suivant la géomorphologie des sites et en fonction du sexe des individus;
- quantifier la production fruitière de *Haematostaphis barteri* au Bénin;
- évaluer la variabilité morphologique de *Haematostaphis barteri* du Bénin suivant la provenance des individus et la géomorphologie des sites;
- évaluer la variabilité génétique intra-population et inter-populations de *Haematostaphis barteri* du Bénin.

1.4 Hypothèses de recherche

Les hypothèses d'étude qui en découlent sont les suivantes :

- au Bénin, les connaissances endogènes sur *Haematostaphis barteri* varient en fonction des groupes sociolinguistiques;
- le revenu moyen annuel issu de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* augmente avec la main d'œuvre et le capital;
- les caractéristiques dendrométriques de *Haematostaphis barteri* varient en fonction du sexe des individus et de la géomorphologie des sites ;
- les pieds de *Haematostaphis barteri* des hauts versants et sommet de colline sont les plus productives en terme du nombre de fruits par arbre que ceux des autres unités géomorphologiques ;
- la provenance des individus et la géomorphologie des sites ont une influence sur les caractéristiques morphologiques de *Haematostaphis barteri*.
- Il existe une faible diversité génétique intra et inter sous-populations de *Haematostaphis barteri*;

1.5 Structuration de la thèse

La présente thèse sur *Haematostaphis barteri* est divisée en sept (07) chapitres : le **Chapitre 1** (le présente chapitre) qui présente la problématique, les questions de recherche, les objectifs, les hypothèses et l'organisation du document. Le **chapitre 2** traite du cadre conceptuel et de la présentation du milieu d'étude et de l'espèce *Haematostaphis barteri*. Le **chapitre 3** présente les connaissances ethnobotaniques de *Haematostaphis barteri* suivant différents groupes socio-linguistiques. Elle présente aussi les déterminants du profit net issu de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* au nord Bénin. Le **chapitre 4** porte sur les caractéristiques dendrométriques et structurales de *Haematostaphis barteri* du Bénin. Elle porte aussi sur la quantification de la production fruitière de l'espèce. Le **chapitre 5** porte sur l'étude de la variabilité morphologique de *Haematostaphis barteri* suivant les provenances et la géomorphologie des sites dans la perspective d'identification des populations ou des individus

intéressants pour un travail de sélection et d'amélioration génétique. Le **chapitre 6** traite de la variabilité génétique intra-population et inter-populations de *Haematostaphis barteri* grâce aux marqueurs moléculaires de type RAPD. Le **chapitre 7** de cette thèse est celui de la discussion générale, de la conclusion générale et des perspectives où sont présentées les stratégies de valorisation économique et de conservation de *Haematostaphis barteri* au regard des principaux résultats obtenus. La critique de notre méthodologie d'étude ainsi que les limites des résultats obtenus ont été également présentées dans ce chapitre.

Les chapitres 3 à 6 sont des chapitres résultats, comportant chacun une introduction, l'approche méthodologique, les résultats obtenus et leur discussion, ainsi qu'une conclusion partielle. Les résultats de ces chapitres ont déjà été publiés ou soumis pour publication.

Toutes les études des chapitres 3 à 6 de cette thèse ont été réalisées dans le même milieu dont la présentation a été déjà faite dans le chapitre 2. Afin donc d'éviter la redondance, la présentation du milieu d'étude a été volontairement occultée dans chacun de ces chapitres résultats.

CHAPITRE 2

CADRE CONCEPTUEL, MILIEU D'ETUDE ET PRESENTATION DE *HAEMATOSTAPHIS BARTERI* HOOK F. (ANACARDIACEAE)

Chapitre 2 : Cadre conceptuel, milieu d'étude et présentation de *Haematostaphis barteri* Hook F. (Anacardiaceae)

2.1 Cadre conceptuel de l'étude

2.1.1 Structure des peuplements forestiers

Une manière simple de définir la structure d'un peuplement est de dire qu'elle représente l'organisation verticale et horizontale (spatiale) des différents éléments le constituant (Goreaud, 2000 ; Pommerening, 2002). Pour Rollet (1974), On appelle structure totale d'un peuplement la distribution des diamètres pris à 1,30 m du sol de tous les arbres de ce peuplement (toutes espèces réunies) par classes diamétriques. Pascal (2003) et McElhinny *et al.* (2005) vont au-delà de l'organisation verticale et horizontale, et définissent la structure d'un peuplement forestier comme une caractéristique complexe associant le régime et la distribution verticale. Selon les mêmes auteurs, elle correspond à l'agencement de ses différents composants. Cet agencement peut être envisagé globalement ou séparément pour les différentes espèces (ou groupes d'espèces). Dans la littérature écologique, la structure d'un peuplement est communément décomposée en deux termes: les attributs structuraux et la complexité structurale (McElhinny *et al.*, 2005). A l'échelle d'un peuplement, la structure est définie en termes de plusieurs attributs structuraux. Pour Bieng (2007), caractériser la structure d'un peuplement revient donc à caractériser tous ses attributs structuraux qui décrivent différents éléments du peuplement (l'abondance, l'abondance relative, la richesse, la variabilité dans les tailles et l'hétérogénéité dans la distribution spatiale des composantes du peuplement; Angers *et al.*, 2014). La complexité structurale d'un peuplement quant à elle, est considérée comme une mesure de l'ensemble des différents attributs structuraux présents, ainsi que la relative abondance de chacun de ces attributs (McElhinny *et al.*, 2005). La description de la structure d'un peuplement passe en général par la description de ses attributs structuraux. Plusieurs attributs structuraux ont été utilisés dans la littérature pour décrire les structures forestières. Il s'agit principalement: la diversité floristique, la densité, la surface terrière, les répartitions horizontale, verticale et diamétrique des tiges (Bourlière et Lamote, 1978; Bieng, 2007; Angers *et al.*, 2014).

Composition floristique: la composition floristique permet de décrire le peuplement sous un aspect écologique et fonctionnel. Sa liaison éventuelle avec la dynamique du peuplement, la stabilité de l'écosystème et sa productivité, influent évidemment sur la dynamique moyenne du peuplement. Elle peut être indicatrice de l'intensité de perturbations (Vincent *et al.*, 1998).

La densité et la surface terrière: la densité du peuplement est l'effectif d'arbres par unité de surface. Selon Francllet (1972), le nombre de tiges augmente pendant la période de construction du peuplement, puis il diminue très rapidement et d'une façon continue sous l'effet de plusieurs facteurs tels que l'influence de l'homme, la concurrence vitale entre les espèces et les sujets d'une même espèce et les facteurs accidentels comme les vents violents et les invasions d'insectes. Du point de vue théorique, la surface terrière d'un arbre est la surface de sa section transversale à 1,30 m. La surface terrière d'un peuplement est alors la somme des surfaces terrières de tous les arbres constituant ce peuplement (Cordonnier, 2007). Prise telle quelle, la surface terrière ne peut être directement associée à une notion d'occupation de l'espace par les arbres (Zeide 2005). La surface terrière permet en réalité d'accéder à d'autres grandeurs importantes, difficiles à appréhender par une mesure simple sur le terrain. Combinée à une hauteur totale d'un arbre (ou hauteur totale moyenne d'un peuplement), la surface terrière permet d'estimer, avec une précision acceptable, le volume tige principale de l'arbre (respectivement du peuplement; Cordonnier *et al.*, 2007). Il est également possible d'estimer le volume bois aérien (tige + branches) à partir de la surface terrière et de la hauteur totale (Vallet *et al.*, 2006). Associée à la date de la dernière coupe et à l'âge du peuplement, la surface terrière peut également fournir une bonne estimation de la quantité (moyenne et écart-type) de lumière arrivant au sol en futaie régulière monospécifique (Sonohat *et al.*, 2004). Enfin, associée au nombre de tiges (densité), elle peut également permettre le calcul d'indices de densité plus pertinents comme l'indice de densité de Reineke (Zeide 2005).

Structure verticale : Elle exprime le type d'occupation de l'espace aérien par les végétaux et l'agencement des différentes strates constituées par des espèces différentes ou par une même espèce mais à différents stades de croissance (Hasnaoui, 1992). Pour Collinet (1997), la structure verticale représente la distribution des individus par classes de hauteur, elle offre l'intérêt de pouvoir fournir un indicateur de richesse du site. Selon M'Hirit (1982), la structure verticale de la végétation correspond au recouvrement du sol par les différentes strates arborescente, arbustive, sous arbustive et herbacée, elle peut renseigner sur les potentialités de la station et sur le dynamisme du peuplement forestier. Par exemple, les forêts dont la hauteur des arbres au niveau du paysage est élevée ont plus de chance d'avoir une bonne variation d'arbre de hauteur et de diamètre différents à l'intérieur du peuplement, assurant ainsi une régénération continue de la forêt (McElhinny *et al.*, 2005). La variation de la taille (Hauteur et diamètre) des arbres est un important attribut structural: elle est complexe à caractériser car elle est dépendante autant de l'arrangement horizontal des arbres que de leur taille (Zenner, 2000; Svensson et Jeglum, 2001). Il apparaît ainsi que l'utilisation de la diversité des tailles comme

attribut de structure a plus à voir avec le fait qu'elle est facile à mesurer, et à elle seule, elle ne caractérise pas totalement la structure du peuplement (Bieng, 2007). Il est important de tenir compte de la distribution spatiale des arbres (McElhinny *et al.*, 2005) particulièrement en peuplement hétérogène (Goreaud, 2000).

Structure horizontale: Elle rend compte de la répartition des individus dans le plan. L'étude de la structure horizontale est importante car cette répartition résulte des mécanismes de fonctionnement des espèces (mode de régénération, sensibilité aux facteurs du milieu, compétition, etc.). On distingue souvent l'étude des répartitions individu - individu et celle des répartitions individu - milieu (Dérout, 1994). Dauglas *et al* (2007) ont signalé que la variabilité horizontale dans la structure du peuplement a été proposée comme un mécanisme qui contribue à la diversité des espèces dans les forêts anciennes. Une approche plus complexe et plus informative consiste à décrire les distances entre les arbres en terme de variation et non de moyenne (Being, 2007). Cette approche est certainement plus significative parce qu'elle pourrait être un bon prédicteur de la taille et de la distribution des trouées, distribution importante pour les processus écologiques critiques tels la régénération, la compétition et la mortalité (Svensson et Jeglum, 2001). Les variations dans les distances entre les arbres sont généralement décrites par des indices, quantifiant la répartition spatiale des arbres tels que l'indice de Blachman (1942), l'indice d'agrégation de Clark et Evans (1954), l'indice de Ripley (1977), Coefficient de ségrégation S de Pielou (1977), etc...

Structure diamétrique: La structure diamétrique est un paramètre de caractérisation d'un peuplement forestier. La répartition des arbres d'une espèce en catégorie de diamètre définit la structure diamétrique de l'espèce (structure spécifique) et la répartition des arbres d'un peuplement entier définit la structure diamétrique totale qui représente alors la répartition des arbres toutes espèces confondues, par catégorie de diamètre (Favrichon, 1994). Différents auteurs ont essayé de relier la structure diamétrique avec le comportement des espèces selon leurs tempéraments (Rollet, 1974; 1984; Whitmore, 1991). Deux grands types de distribution diamétrique sont couramment distingués (Rollet, 1984; Dupuy *et al.*, 1997): les distributions de type exponentielle décroissante pour les essences sciaphiles et les distributions en «cloche» pour les essences héliophiles. Un troisième type de distribution a également été signalé pour les essences héliophiles. Il s'agit de la distribution «erratique» (Rollet, 1984) qui n'obéit ni à la distribution exponentielle ni à celle en «cloche». Si plusieurs études semblent considérer que la structure diamétrique est caractéristique pour chaque espèce, certains auteurs observent cependant quelques variations de structure pour une même espèce (Forni, 1997). En effet, la structure diamétrique d'une espèce varie souvent selon l'échelle d'observation (troué, massif,

parcelle, région). Par exemple, une même espèce peut avoir une structure en cloche à l'échelle de la parcelle et une structure en exponentielle décroissante à l'échelle du massif. De nombreux facteurs, tels que la productivité des semences et la dispersion, la concurrence, les facteurs environnementaux, les agents pathogènes et la perturbation anthropique, pourraient influencer sur la structure du peuplement (Block et Treter, 2001).

Dans le cadre de cette étude, les attributs structuraux qui seront utilisés pour caractériser les peuplements de *Haematostaphis barteri* sont: le diamètre moyen à 1,30 cm du sol, la hauteur totale moyenne, le diamètre moyen du houppier, la densité, la surface terrière et les répartitions diamétrique, verticale et spatiale (à l'aide de l'indice de Blackman).

2.1.2 Régénération

La régénération constitue une étape majeure du cycle des peuplements forestiers. Elle détermine la structure démographique et les caractéristiques génétiques initiales des populations d'arbres appelées à évoluer sur le long terme (Raja *et al.*, 1998). L'étude de la régénération permet donc de déterminer le potentiel de régénération de la formation à travers l'évaluation du taux de régénération. La régénération peut être assurée à partir des plantations ou grâce à la régénération naturelle.

La régénération naturelle est un ensemble de phénomène par lequel il y a remplacement des arbres adultes morts par chablis ou par exploitation. La complexité de ce concept se manifeste à travers les définitions suivantes. Pour Rollet (1969) et Debroux (1998), la régénération naturelle est d'une part au sens statistique, l'ensemble des semis et petites tiges existant dans un peuplement, d'autre part au sens dynamique, l'ensemble des processus naturels par lesquels la forêt dense se reproduit naturellement. Pour Alexandre (1989), la régénération naturelle est une technique qui fait appel à l'ensemencement spontané: elle s'oppose aux techniques d'enrichissement ou de plantation. Pour (Foggie, 1960 cités par Alexandre, 1989) c'est l'ensemble des processus dynamiques qui permettent de reconstituer un couvert qui a été entamé.

Généralement les études sur la régénération naturelle en forêt équatoriale, font appel à des inventaires par sondage à taux variables suivant les populations étudiées, classées souvent en stade de type "petit semis" (hauteur < 1,5 m) ou "grands semis" (hauteur >1,5 m et de diamètre < 10 cm). Les taux de sondage varient de 1% en Guyane française (Schmit et Bariteau, 1990) à 10% en Indonésie (Bertault *et al.*, 1998.). L'intervalle 1-10 cm de diamètre semble être le plus utilisé actuellement dans la recherche forestière des forêts équatoriales (Petrucci et DE Marsac; 1994; Dupuy *et al.*, 1997). Mais en savane tropicale sèche, où les conditions écologiques sont relativement plus rudes pour le développement des plantes, nombre d'auteurs

définissent la régénération naturelle, tout brin franc de dbh inférieur à 5 cm mais supérieur à 1 cm et/ou de hauteur supérieure ou égale à 1,50 m (Gouwakinnou et *al.*, 2009 ; Agbogon et *al.*, 2012).

Dans le cas de cette étude qui se déroule en savane au nord du Bénin et, portant sur une *Haematostaphis barteri*, qui est un arbuste dont la circonférence dépasse rarement 65 cm (Arbonnier, 2005) et, qui pousse sur des collines rocheuses et/ou cuirassées, les individus de *Haematostaphis barteri* de hauteur inférieure ou égale à 1 m ou de dbh inférieur à 5 cm seront assimilés à la régénération naturelle. Les rejets de souche ont été aussi concernés.

En vue de substituer une régénération naturelle insuffisante ou inexistante, Catinot (1997) propose l'emploi des plantations complémentaires et regroupe les méthodes de plantation en deux grandes catégories à savoir les méthodes d'enrichissement (méthode des layons d'Aubreville, les layons de Catinot, les placeaux d'Anderson) et les méthodes de plantation en plein découvert (méthode de Martineau, méthode Limba, méthode Okoumé, méthode de recrû).

2.1.3 Variabilités phénotypique et génotypique

Une particularité du monde vivant est la variabilité des phénotypes individuels. A l'intérieur d'une espèce, il n'existe pas deux individus ayant exactement les mêmes caractéristiques phénotypiques: l'individu est unique. Si pour une espèce donnée on peut noter l'absence de variations pour certains caractères essentiels, il existe toujours de nombreux autres caractères pour lesquels des variations entre individus sont observées. Certaines de ces variations s'expriment au niveau phénotypique (morphologie, physiologie, comportement, etc) mais les autres restent "cachées" et leur mise en évidence nécessite l'utilisation de techniques adaptées (variabilité des protéines ou des séquences d'ADN). On considère que les variations du phénotype sont dues en partie à des facteurs environnementaux (alimentation, climat, interactions avec les autres espèces, etc...) et en partie à des différences entre les génotypes individuels, transmissibles à la descendance (Hubert-Vincent, 2007). Dans la plupart des cas, ces deux causes de variation interagissent fortement (interactions génotype-environnement), et il est difficile de mesurer leur part relative dans la variation phénotypique globale (Guyomard, 1989).

Lorsque la variabilité phénotypique d'un caractère n'a aucune base génétique, elle est qualifiée de variabilité épigénétique. Cette variabilité résulte souvent de l'action des facteurs environnementaux sur l'expression phénotypique d'un caractère (température, alimentation, physico-chimie de l'environnement, etc...). Par contre, elle est déterminée génétiquement

lorsqu'elle est due, au moins en partie, à la présence de plusieurs formes alléliques dans la population (Hubert-Vincent, 2007).

La variabilité génétique répond aux changements dans l'environnement par les actions de la sélection, de la dérive génétique, du flux génique et des mutations auxquelles il faut ajouter les phénomènes de recombinaison, notamment pour les caractères quantitatifs (Kremer, 1994).

La mise en évidence du déterminisme génétique des variations phénotypiques directement accessibles à l'observateur (morphologie, couleur, etc) nécessite le développement des techniques de biochimie, cytogénétique et de biologie moléculaire. Grâce à ces techniques, la variabilité génétique peut être étudiée à des échelles plus fines, jusqu'au niveau de la séquence d'ADN, permettant même l'étude du polymorphisme des régions non codantes grâce aux marqueurs moléculaires utilisés en génétique des populations (Lefort-Buson, 1988). Au nombre de ces marqueurs moléculaires, on distingue: les Polymorphismes Simples des Nucléotides (SNP), les Répétitions de Séquences Simples non codantes (SSR ou microsatellites), le Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés (AFLP), le Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction (RFLP) et l'Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe (RAPD).

Dans le cadre de cette thèse, la mise en évidence du déterminisme génétique de *Haematostaphis barteri* a été examinée sur la base des marqueurs moléculaires de type RAPD.

2.2 Milieu d'étude

2.2.1 Situation géographique

L'étude a été réalisée dans le département de l'Atacora en République du Bénin, et plus précisément dans les communes de Boukombé, Natitingou et Toucountouna qui correspondent à l'aire de distribution de l'espèce *Haematostaphis barteri* au Bénin. Les trois communes occupent la partie Nord-Ouest du département de l'Atacora comprise entre 10° et 10° 45' de latitude Nord et 0° 65' et 1° 40' de longitude Est. Le milieu d'étude couvre une superficie de 5681 Km² soit environ 5% de la superficie du Bénin (114763 Km² ; INSAE, 2013) et, est limitée au nord par les communes de Cobly et de Tanguiéta, au sud par les communes de Copargo et de Kouandé, à l'est par la commune de Kouandé et à l'ouest par la République du Togo (Figure 2.1).

2.2.2 Relief et hydrographie

Le milieu d'étude présente un relief accidenté du fait de la présence d'une chaîne montagneuse appelée chaîne de l'Atacora. Le relief y est caractérisé par une succession de plateaux et de plaines à l'Est, de montagnes à l'Ouest, et de vallées au Centre (Tchabi et Adéchi,

2014). Des pentes relativement fortes, surtout du côté ouest, posent des problèmes d'érosion des sols et de dégradation des pistes de desserte rurale. Les altitudes varient entre 350 et 700 m. Le réseau hydrographique est nettement orienté selon les lignes du relief. Les cours d'eau, quasi-permanents, recoupent parfois les chaînons en un tracé en «baïonnette». Alors qu'ils coulent en amont dans de petits bas-fonds plats sur les plateaux, ils en entaillent ensuite profondément les bordures et coulent au fond de profondes gorges entre les chaînons et dans la plaine centrale. La Pendjari au Nord-Ouest du département de l'Atacora est particulière, car elle coule vers le nord et revient vers le sud-ouest où elle devient l'Oti au Togo puis va se jeter dans la Volta au Ghana (FAO, 1998 ; Adjanooun *et al.* 1989).

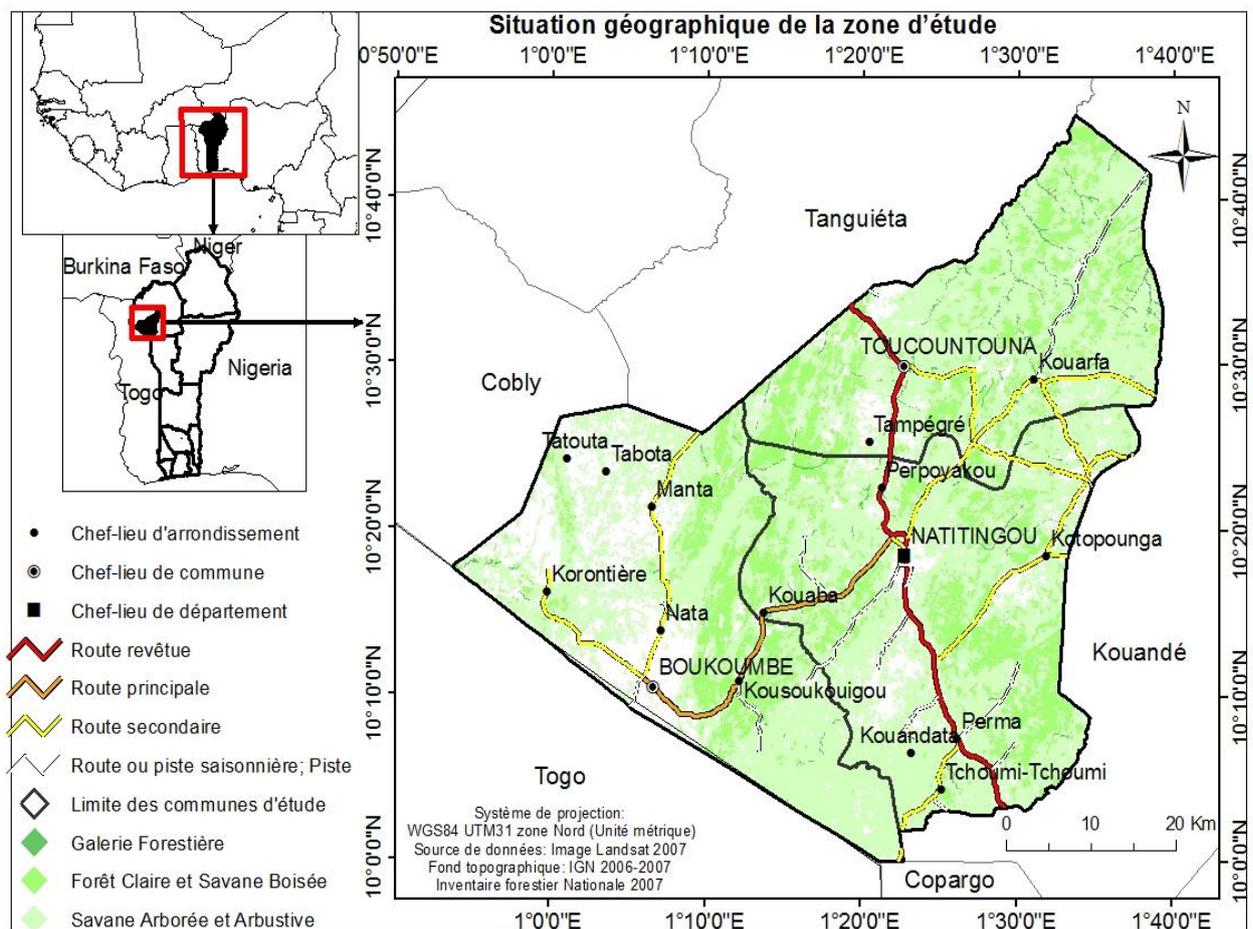


Figure 2.1: Situation géographique et localisation des communes d'étude avec leur couverture végétale.
 (Source : Sourou, 2017)

2.2.3 Climat, sol et végétation

Le milieu d'étude est caractérisé par un climat de type soudanien avec une saison de pluie de six (06) mois (mai à octobre) et une saison sèche de sept (07) mois (novembre à avril). Les précipitations varient entre 1100 mm et 1300 mm. Les mois d'août et de septembre sont les plus pluvieux et les mois d'avril et mai, les plus chauds (Thabi et Adétchi, 2014). En raison de la présence de la chaîne de l'Atacora, il y règne un climat particulier dénommé climat « atacorien » où les températures sont plus fraîches à cause de l'altitude, les orages sont de plus en plus fréquents. La mousson et les influences orographiques, situent cette région parmi les plus arrosées du Bénin. Il pleut pratiquement d'avril à octobre à Boukoumbé et à Natitingou qui enregistrent plus de 1300 mm par an (Adam et Boko, 1993). On note cependant des signes de perturbation climatique caractérisés entre autres par le démarrage tardif des pluies, des poches de sécheresse en cours de saison pluvieuse, se traduisant par des arrêts brusques de précipitations (Thabi et Adétchi, 2014). Ce phénomène est général dans le département de l'Atacora dont fait partie les communes d'étude. La température moyenne est d'environ 27 °C avec des variations de 17 °C à 38 °C. Les amplitudes thermiques sont fortes entre le jour et la nuit surtout pendant la période de l'harmattan. Ce climat est favorable au développement de *Haematostaphis barteri*.

La majeure partie du sol des communes d'étude est de type ferrugineux parfois très concrétionné, squelettique, très peu riche. Ces sols ferrugineux présentent des caractéristiques agronomiques très variables. Ce sont des sols à texture fine argilo-sableuse. La profondeur utile moyenne peut être limitée par la discontinuité d'un horizon concrétionné parfois massif rendant médiocre le drainage qui généralement est moyen. Les réserves en eau utilisables sont faibles. Ces sols sont faiblement acides avec une capacité d'échange moyenne mais les réserves minérales sont faibles (FAO, 2002). Par rapport aux sols ferralitiques, ils ont une meilleure fertilité chimique par contre leurs propriétés physiques sont souvent très contraignantes pour les plantes (Azontondé, 2009). On retrouve aussi des sols minéraux bruts, les sols ferrugineux tropicaux lessivés non concrétionnés, les sols indurés et les sols à tendance hydromorphe.

La couverture végétale est constituée de forêts galeries, de forêts claires, de la savane arborée et arbustive (Figure 2.1) qui servent de réserves pour les espèces animales. Les espèces qui dominent les terroirs sont le baobab (*Adansonia digitata* L.), le karité (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn), le néré (*Parkia biglobosa* Jacq. R.Br. ex G.Don), le caïlcédrat (*Khaya senegalensis* Desr. A. Juss), le tamarinier (*Tamarindus indica* L.), le faux karité (*Lophira lanceolata* Tiegh. Ex Keay), le fromager (*Bligia sapinda* K.D. Koenig), *Isobertinia doka* Craib & Stapf, *Burkea*

africana Hook, *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel et *Afzelia africana* Sm. Ex Pers etc... (FAO, 1998 ; Adjanohoun *et al.*, 1989).

2.2.4 Population et activités économiques

La population des trois communes d'étude a été estimée à 226 072 habitants dont plus de 65% est agricole (INSAE, 2013). Les groupes socio-linguistiques dominants de la zone d'étude sont : les Bètemmaribè, les Waaba, les Natimba et les Dendi. A ces principaux groupes s'ajoutent les Bariba, les peulhs, les Yoruba.

Les activités économiques menées par ces groupes ethniques comprennent l'agriculture, l'élevage, la pêche, la chasse, la transformation de produits agricoles, le commerce et l'artisanat. La transformation de produits agricoles est pratiquée principalement par les femmes, individuellement ou en groupe avec des équipements rudimentaires. Les principaux matériaux transformés sont les noix de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. F. (transformés en beurre), les graines de *Parkia biglobosa* (transformées en condiment alimentaire), les graines de *Sorghum bicolor* (L.) Moench (transformées en une boisson alcoolisée et également utilisées dans certaines cérémonies traditionnelles), les gousses d'*Arachis hypogaea* L. (transformées en huile).

2.3 Présentation de *Haematostaphis barteri* Hook F. (Anacardiaceae)

2.3.1 Caractéristiques générales de *Haematostaphis barteri* Hook F. (Anacardiaceae)

2.3.1.1 Taxonomie, origine, habitat et distribution géographique de l'espèce

Le genre *Haematostaphis* appartient à la famille des Anacardiaceae, à l'ordre des Sapindales, au superordre des Rosanae, à la sous-classe des Rosidae ou Eudicots, à la classe des Magnoliopsida ou Eudicots, au sous-embranchement des Magnoliophyta ou Angiospermes et à l'embranchement des Spermaphytes (Guignard et Dupont, 2004; Pell, 2004). Dans ce genre, on note une seule espèce (*Haematostaphis barteri*) connue en Afrique tropicale de l'ouest (Hooker, 1860) même si Mabberley (1993) a signalé deux espèces sans toutefois les nommer.

Haematostaphis barteri est une espèce africaine décrite pour la première fois en 1860 dans le journal «translations of the linnean Society of London» par Hooker Joseph Dalton. Elle appartient à la famille des Anacardiaceae. C'est une espèce peu commune et disséminée qu'on retrouve dans les savanes boisées, surtout sur les collines rocheuses et éboulées en zone soudanienne et guinéenne (Arbonnier, 2005). Sa zone de répartition naturelle est exclusivement en Afrique tropicale, allant de la Côte d'Ivoire au Soudan, en passant par le Ghana, le Togo, le Bénin, le Nigéria, le Cameroun et le Tchad (Arbonnier, 2005 ; Figure 3.1).

Au Bénin, on connaît la répartition de *Haematostaphis barteri*. Elle a été signalée exclusivement dans le district phytogéographique de la chaîne de l'Atacora dans le nord du pays (Adomou, 2005 ; Akoègninou et *al.*, 2006 ; Wala, 2006).

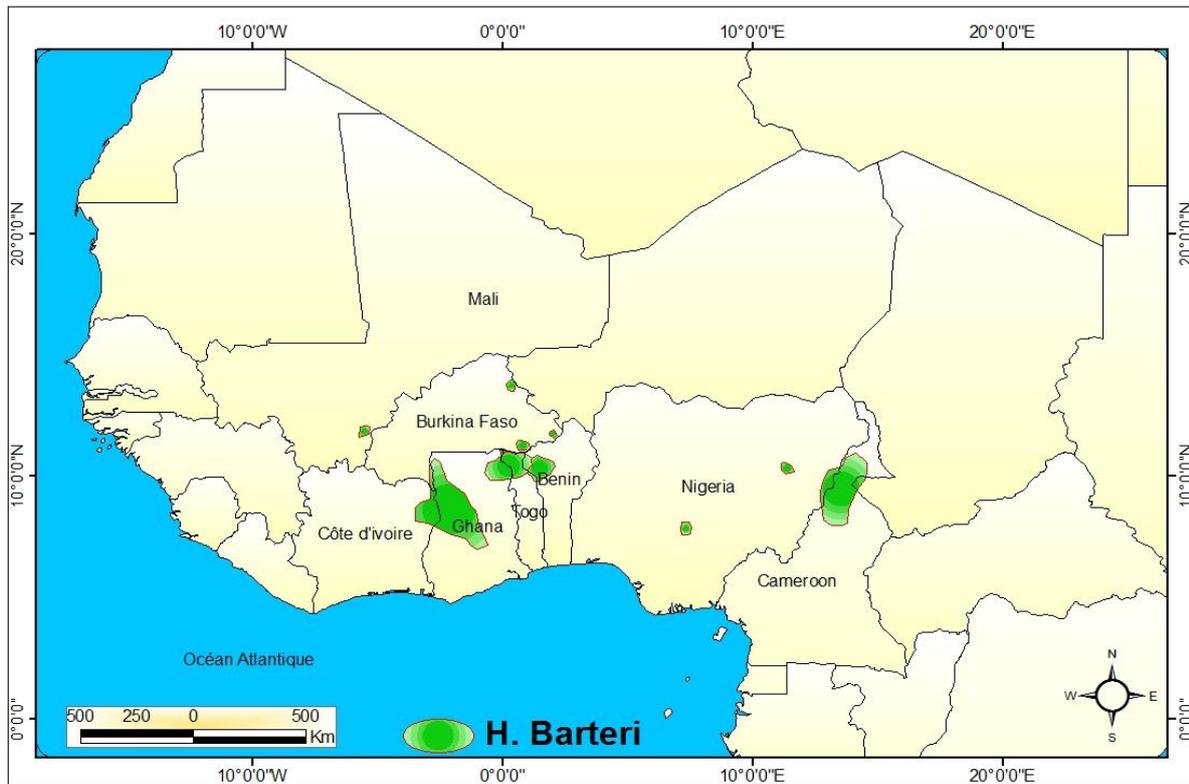


Figure 2.2: Distribution géographique de *Haematostaphis barteri* Hook F. en Afrique

(Source : Arbonnier, 2005)

2.3.1.2 Tempérament et reproduction

Haematostaphis barteri est une espèce exclusivement africaine qui pousse dans les savanes boisées, sur des sols rocailleux, rocheux et surtout sur les collines rocheuses et éboulées en zone soudanienne et guinéenne. C'est une espèce dioïque et les organes fonctionnels mâle et femelle sont portés par des pieds différents (Arbonnier, 2005 et Hutchinson, 1958). C'est une espèce allogame dont la régénération naturelle peut être générative (par graines) ou végétative (par rejets de souches ou de drageons). La pollinisation est assurée par le vent et les insectes dont principalement les abeilles.

2.3.1.3 Phénologie

De façon globale, les arbres de *Haematostaphis barteri* perdent toutes leurs feuilles pendant la saison sèche, de décembre à février. La floraison et la fructification démarrent vers

la fin de la saison sèche (février à avril) bien avant l'apparition de nouvelles feuilles (Arbonnier, 2005). La floraison et la fructification sont retardées par les feux de végétations tardives. La feuillaison a lieu en même temps que le développement des fruits de février à mai. La maturation des fruits commence vers juin et se poursuit jusqu'à mi-août.

2.3.1.4 Description morphologique de *Haematostaphis barteri*

Haematostaphis barteri est un petit arbre ou un arbuste pouvant atteindre rarement 8 mètres de haut (Photo 2.1). La cime est étalée et ouverte avec des feuilles regroupées au bout des branches. Le fût généralement droit, moins développé, court et cylindrique dépasse rarement 65cm de circonférence. Le tronc est peu développé et souvent recouvert d'une écorce écailleuse, brun-gris avec des branches brunâtres (Photo 2.2; Arbonnier, 2005; Hutchinson, 1958).

2.3.1.5 Description botanique de *Haematostaphis barteri*

Les feuilles: elles sont glabres, alternes, imparipennées et ayant 20 à 35 cm de long (Photo 2.3). Elles sont également composées avec 17 à 25 folioles alternes ou subopposées étroitement elliptiques ou oblongues de 5-8 x 1,5-3 cm à sommet échancré et à base arrondie ou en coin. Le jeune feuillage est souvent rouge (photo 2.4). Les folioles sont pennées et comportent 5 à 8 paires de nervures secondaires fines et irrégulières, se raccordant vers le sommet. (Arbonnier, 2005; Hutchinson, 1958)

Les inflorescences: elles sont terminales, pendantes, grêles, glabres et ayant la forme de panicule atteignant 30 cm de long. *Haematostaphis barteri* est une espèce dioïque. Les fleurs mâles d'une couleur crème et de 3 mm de diamètre, comportent trois sépales et trois pétales imbriqués avec six étamines (Photo 2.5). Les fleurs femelles sont apétales avec environ 3 mm de diamètre (Photo 2.6). Elles renferment un ovaire glabre, surmonté par des étamines stériles de taille très réduites. La floraison et la fructification commence en fin de saison sèche, généralement avant l'apparition des premières feuilles (Arbonnier, 2005 ; Hutchinson, 1958).

Les fruits: ils sont portés par de longues grappes pendantes. Ce sont des drupes ellipsoïdes, glabres, de couleur pourpre à maturité et ayant environ 2,5 cm de long (Photo 2.7). Ils renferment un noyau dur (Photo 2.8) noyé dans une pulpe mince, comestible avec un goût acide mais résineux (Arbonnier, 2005 ; Hutchinson, 1958)

La graine: débarrassé de sa pulpe charnue, le fruit de *Haematostaphis barteri* laisse apparaître un noyau très dur (c'est-à-dire à endocarpe lignifié), constitué d'une loge contenant une graine. La graine est allongée, de forme conique, composée d'une enveloppe très mince



Photo 2.1 : Pied de *H. barteri* dans une jachère à Pèpèrikou (Source: cliché Sourou, 2014)



Photo 2.2 : Tronc de *H. barteri* (Source: cliché Sourou, 2014)



Photo 2.3 : Feuilles âgées de *H. Barteri* (Source: cliché Sourou, 2014)



Photo 2.4 : Jeunes feuilles de *H. Barteri* (Source: cliché Sourou, 2014)



Photo 2.5 : Inflorescence mâle (Source: cliché Sourou, 2014)



Photo 2.6 : Inflorescence femelle (Source: cliché Sourou, 2014)



a- Fruits immatures



b- Fruits matures

Photo 2.7: Fruits de *Haematostaphis barteri* à divers degré de maturité (cliché Sourou 2014)



a- Noyaux



b- Endocarpe



c- Graine

Photo 2.8 : Vue d'ensemble noyau, endocarpe et graine de *Haematostaphis barteri* (Source: cliché Sourou, 2014)

recouvrant la partie charnue formée de deux cotylédons (Photo 2.8). Les graines renferment une huile comestible. (Arbonnier, 2005 ; Hutchinson, 1958)

Les racines : *Haematostaphis barteri* possède un système racinaire développé au niveau des couches superficielles à cause probablement du caractère squelettique et du fort taux de concrétions qui caractérisent les sols sous *Haematostaphis barteri*. Son système racinaire est donc essentiellement traçant (Arbonnier, 2005 ; Hutchinson, 1958).

2.3.2 Importance nutritionnelle de l'espèce

Haematostaphis barteri est un arbuste fruitier dont la pulpe des fruits sont consommés par les populations du Nord-Ouest de l'Atacora. *Haematostaphis barteri* fait partie des Anacardiaceae les plus consommées au Togo grâce à la pulpe de leurs fruits (Amana, 2007). Au nord du Cameroun, les fruits du *Haematostaphis barteri* sont consommés par les Foulbés alors que les feuilles sont occasionnellement consommées par les Hatakam (Pelé *et al.*, 1966). Les fruits et les feuilles de *Haematostaphis barteri* sont des sources de protéines, vitamines et d'oligoéléments (Eyog *et al.*, 2002).

La pulpe des fruits renferment les glucides (45,48%), les matières grasses brutes (17,76%), les protéines brutes (21,81%), les acides gras (14,21), les fibres brutes (8,44) et les éléments minéraux (2,97% ; Aremu *et al.*, 2015). Elle contient également des sucres réducteurs notamment le glucose (69,5 mg/g), le fructose (71,8 mg/g), le mannose (76,6 mg/g) et le galactose (66,9 mg/g) et des vitamines à savoir la Vitamine A, (22,401 USP/2g) et la Vitamine C, (46 mg/100g) et des éléments minéraux (2.3% ; Amoo et Lajide, 1999).

Les feuilles renferment une bonne proportion de fibre brute (33,04%), une proportion relativement moyenne en protéines (13,78 %), une quantité appréciable en hydrates de carbone, en lipide et en éléments minéraux. Les feuilles renferment tous les acides aminés en bonne proportion à l'exception de la cystéine et de la méthionine qui sont en faible proportion (Kubmarawa *et al.*, 2009).

Les graines fournissent une huile végétale comestible et riche en acides gras dont les plus abondants sont l'acide oléique (69,35%), l'acide stéarique (15,40%), l'acide éicosadiénoïque (6,92%), acide érucique (2,74%). Le taux d'insaturation de l'huile du *Haematostaphis barteri* est de 79,01% (Eromosele et Eromosele, 2002).

2.3.3 Importance économique de l'espèce

Haematostaphis barteri n'a encore aucune valeur économique remarquable. Sa production est toujours à l'étape de cueillette et la commercialisation de ses fruits est notée dans quelques marchés du Nord-Ouest de l'Atacora (Natitingou, Boukombé et Toucountouna) et à

une échelle assez réduite. Mais, comme l'indique Eyog *et al.* (2002), *Haematostaphis barteri* gagnerait aussi à être transformé en boissons et jus ou en confiture à une grande échelle.

2.3.4 Importance médicinale de l'espèce

Haematostaphis barteri est employé dans plusieurs pays dans le traitement de diverses maladies. Asase *et al.* (2005), ont indiqué que *Haematostaphis barteri* est l'une des Anacardiaceae les plus employées au Ghana dans le traitement de la Malaria. Selon Amana (2007), le cataplasme d'écorces sèches de *Haematostaphis barteri* est utilisé dans le traitement des abcès et boutons. La décoction d'écorce de tiges et de feuilles traite les maux de ventre et la fièvre accompagnée de céphalées. Les écorces ont une action vomitive et laxative, elles traitent les trypanosomiasés et l'hépatite (Arbonnier, 2005). Au Ghana, les racines sont utilisées pour traiter les enflures du corps (Ziblim *et al.*, 2013), et les écorces sont employées dans le traitement de la malaria (Asase *et al.*, 2005).

CHAPITRE 3

IMPORTANCE SOCIO-ECONOMIQUE DE LA PRUNE ROUGE (*HAEMATOSTAPHIS BARTERI HOOK F.*) AU BENIN

Publié sous la référence Sourou B.N., Yabi J., Ouinsavi C.I.A.N. et Sokpon N. (2016)

Importance socio-économique de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook F.) au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(1): 326-343.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.25>

Chapitre 3 : Importance socio-économique de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook F.) au Bénin

3.1 Introduction

En Afrique, les ressources génétiques forestières et en particulier les arbres fruitiers jouent un rôle important dans la résolution des problèmes des populations rurales aussi sur les plans agricole, alimentaire, socio-économique et médicinal. Elles procurent à travers la vente, des revenus aux ménages, et participent à la sécurité alimentaire et à l'amélioration de la santé et de l'état nutritionnel de ces populations grâce à une importante diversité (Bowe et Haq, 2010 ; Dan Guimbo *et al.*, 2012). Malgré cette importance de la biodiversité forestière pour les populations rurales africaines, un grand nombre d'espèces forestières sont menacées dans leur environnement naturel par les actions anthropiques. La conservation de cette biodiversité forestière permettra de maintenir leur rôle de production, de protection écologique et de satisfaction des besoins de la population (World Agroforestry Centre, 2008). Cette conservation de la biodiversité forestière passera entre autres par l'amélioration des pratiques culturales, l'agriculture favorisant les ressources naturelles et le développement de nouveaux systèmes de production qui permettront d'augmenter de façon durable la productivité de ces ressources naturelles (Assogbadjo, 2006). Ceci nécessite une meilleure connaissance du potentiel des ressources naturelles disponibles et déjà intégrées dans la culture des populations rurales.

Haematostaphis barteri est l'une de ces ressources génétiques forestières qui appartient à la famille des Anacardiaceae. C'est une espèce alimentaire mineure qui offre de multiples avantages aux populations rurales. L'écorce, les racines et les feuilles de l'espèce sont utilisés dans la médecine traditionnelle pour soigner plusieurs maladies ou affections (Asase *et al.*, 2005 ; Amana, 2007 ; Boampong *et al.*, 2015). La pulpe des fruits est directement consommée et constitue une excellente source d'éléments nutritifs vitaux (Kubmarawa *et al.*, 2009 ; Eromosele et Eromosele, 2002 ; amouzou *et al.*, 2006; Umaru *et al.*, 2007 ; Tadzabia *et al.*, 2013). Seuls les fruits sont collectés et commercialisés dans certains marchés locaux et contribuent ainsi à l'amélioration du revenu des ménages. La main d'oeuvre utilisée dans l'activité de collecte des fruits de *Haematostaphis barteri* est entièrement familiale et composée des femmes et des enfants qui parcourent les savanes, habitat naturel de l'espèce à la recherche des fruits mûrs. C'est donc la main d'oeuvre familiale que Norman (1973) évalue en heures de travail (puis converti en homme-jour), qui conditionne l'exploitation de *Haematostaphis barteri*.

En raison de cette importance socio-économique de *Haematostaphis barteri* pour les populations locales, elle subit une exploitation anarchique de plus en plus intense. A cette

surexploitation, s'ajoute le problème de disponibilité de la ressource en raison de sa niche écologique aussi restreinte sur la chaîne de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin. La survie de cette essence et de ses peuplements devra reposer en partie sur des approches d'exploitation appropriées associées à des techniques de régénération naturelle et/ou assistée (Ahoton *et al.*, 2009) en passant par la connaissance précise de sa contribution dans l'amélioration du revenu des ménages.

Il est donc nécessaire de mener des recherches scientifiques ethnobotanique et socio-économique afin d'établir des stratégies de conservation pour une utilisation durable des ressources de *Haematostaphis barteri*. L'étude vise donc à: (i) inventorier les différentes connaissances et utilisations de *Haematostaphis barteri* par les populations locales, (ii) évaluer la contribution financière de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* aux revenus des populations rurales.

3.2 Matériel et méthodes

3.2.1 Méthode d'échantillonnage et collecte de données

3.2.1.1 Enquête ethnobotanique

L'étude ethnobotanique s'est déroulée dans différentes localités (villages) situées dans trois communes (Natitingou, Toucountouna et Boukombé). Dans chacune de ces communes, le choix des localités d'étude (villages) a été basé sur deux critères. Le premier critère est la présence et l'abondance relative des individus de l'espèce *Haematostaphis barteri* dans les formations végétales de la localité. Le deuxième critère de choix des localités d'étude était relatif à l'existence dans ces dernières, de marchés où les divers organes et particulièrement les fruits de *Haematostaphis barteri* sont commercialisés, ceci pour s'assurer de l'importance économique de l'arbre pour les populations locales. En tenant compte des critères ci-dessus énumérés, 13 villages répartis dans l'ensemble des trois communes ont été considérés sur 118 villages au total (Tableau 3.1). La taille de l'échantillon pour l'étude a été obtenue en utilisant l'approximation normale de la distribution binomiale proposée par Dagnelie (1998) :

$$N = \mu_{1-\alpha/2}^2 \frac{Pi(1-Pi)}{\delta^2} \quad (1)$$

Pi (82 %) a été déterminé à partir de l'enquête exploratoire réalisée sur 45 personnes, et représente la proportion des personnes qui ont utilisé une fois les organes du *Haematostaphis barteri*. $\mu_{1-\alpha/2} = 1,96$, représente la valeur de la variable aléatoire normale pour un risque α égal à 0,05. La marge d'erreur δ prévue pour tout paramètre à estimer à partir de l'enquête est de 5 %. La taille N de l'échantillon est ainsi sensiblement égale à environ 230 individus. Le nombre de personnes interrogées par localité a été déterminé par proportionnalité en considérant la taille

de la population de chaque localité. L'enquête a tenu compte aussi bien des hommes que des femmes âgés de 25 à 80 ans.

L'enquête a été réalisée entre Septembre et Octobre 2014. Dans chaque commune un focus group de 10 à 20 personnes des deux sexes a d'abord été réalisé pour recenser les réponses collectives sur les différentes informations recherchées. A l'issue du focus group, la liste des différentes questions a été établie pour l'enquête individuelle. Les enquêtés ont été choisis au hasard dans chaque localité (Tableau 3.1). Les interviews ont été conduites en présence d'un traducteur en cas de besoin. Les données collectées auprès de chaque enquêté aussi bien quantitatives que qualitatives sont relatives aux caractéristiques sociodémographiques de l'enquêté, les différentes utilisations de *Haematostaphis barteri*, les organes utilisés, les fréquences d'utilisation, les lieux d'approvisionnement, les fréquences d'approvisionnement et le mode d'acquisition (achat ou cueillette etc.). Les données relatives aux connaissances sur l'habitat et le mode de gestion de l'espèce ont été également collectées.

Tableau 3.1: Tailles des échantillons

Communes	Villages	Groupes socio-linguistiques	Echantillons		Total
			Hommes	Femmes	
Natitingou	Kota	Waaba	8	7	15
	Pouya		10	5	15
	Koussantikou	Bètammaribè	5	5	10
	Koukpartikou		6	4	10
	Potéyéi		4	6	10
	Tagayéi		6	4	10
	Kouaba		4	6	10
Boukoubé	Tchapéta	Bètammaribè	5	5	10
	Koussoukouingou		16	14	30
Toucountouna	Pèpèrikou	Waaba	6	4	10
	Tampégré		4	6	10
	Maco		5	5	10
	Wansokou	Natimba	11	9	20
			28	32	60
TOTAL			118	112	230

3.2.1.2 Enquête économique

L'enquête économique a été réalisée sur les marchés de Natitingou, de Boukoubé et de Wansokou (dans la commune de Toucountouna) qui constituent les seuls marchés du milieu d'étude où la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* est observée chaque année de juin à août. La taille de l'échantillon a été obtenue en utilisant également l'approximation normale de la distribution binomiale proposée par Dagnelie (1998) et indiquée plus haut. A partir des valeurs de p issues des résultats de la phase exploratoire de l'étude, au total 100 vendeurs des fruits de *Haematostaphis barteri* ont été sélectionnés au hasard dans le milieu d'étude. Ils ont été répartis dans les trois marchés presque équitablement. Ainsi 35 vendeurs sur chacun des marchés de Natitingou et de Boukoubé et 30 vendeurs dans celui de Wansokou (dans la commune de Toucountouna) ont été sélectionnés au hasard. Les données de l'enquête économique de étude ont été collectées de Juin à Août 2014 à l'aide d'un questionnaire et a permis de recueillir des informations quantitatives et qualitatives relatives aux caractéristiques socio-économiques des vendeurs de fruits de *Haematostaphis barteri*, l'identification des acteurs impliqués dans la commercialisation, l'identification des circuits de commercialisation, la quantité de fruits collectés, le prix de vente des fruits et le coût des différentes charges liées à cette activité. Les fruits de *Haematostaphis barteri* étant vendus par petits tas à 25 FCFA, 150 tas de fruits ont été pesés durant toute la saison de vente (soit 50 tas en début de saison, 50 tas en période d'abondance et 50 tas vers la fin de la saison) auprès de 10 vendeurs choisis au hasard dans chacun des trois marchés. Ces mesures ont permis d'estimer la masse moyenne en kilogramme d'un tas de 25 FCFA dans chacun des marchés.

3.2.2 Estimation de la quantité de main d'œuvre

Deux types de main d'œuvre sont généralement utilisés: la main d'œuvre familiale et la main d'œuvre salariée temporaire. Mais dans notre contexte du présent travail, la collecte des fruits de *Haematostaphis barteri* est exclusivement assuré par la main d'œuvre familiale (non rémunérée). De façon générale, le travail a été quantifié en heures, puis converti en homme-jour à partir de la méthode de conversion élaborée par Norman (1973).

Pour la collecte des fruits, la quantité de main d'œuvre a été estimée grâce au questionnaire qui nous a permis d'avoir le nombre de personnes et la durée de travail pour l'activité. Pour la détermination de la durée de travail réalisée, l'effectif total (ET) des travailleurs en équivalent-homme a été calculé suivant la formule suivante:

$$\text{ET} = (\text{nombre d'hommes}) + 0,75 \times (\text{nombre de femmes}) + 0,5 \times (\text{nombre d'enfants de 6 à 12 ans}). \quad (\text{Kpadonou } et \text{ al.}, 2010) \quad (2)$$

Pour la conversion en homme-jour (hj), l'effectif total (ET) a été multiplié par la durée totale (DT) de l'opération culturale estimée en heure divisée par huit (8). Dans le contexte de l'étude, l'unité de travail équivalent à un homme-jour, est le travail qu'aurait accompli pendant une journée de (08 heures) un homme adulte. La formule peut s'écrire:

$$\text{ET (homme-jour)} = \text{ET} \times (\text{DT}/8) \quad (\text{Kpadonou } et al., 2010) \quad (3)$$

3.2.3 Analyses statistiques

3.2.3.1 Analyse des données d'enquête ethnobotanique

Pour le traitement des données, les informations collectées ont été compilées par groupe sociolinguistique, par village et par sexe grâce au tableur Microsoft Excel. Le taux de réponse par type d'utilisation a été exprimé par la formule utilisée par Gouwakinnou (2011a), et qui se présente comme suit:

$$F = S/N \times 100 \quad (4)$$

Avec S: nombre de personnes ayant fourni une réponse par rapport à une utilisation donnée et N: nombre total de personnes interviewées.

Le χ^2 (χ^2) a été déterminé afin de vérifier s'il y a un lien ou non entre les groupes sociolinguistiques, les formations de présence de *Haematostaphis barteri* et les différents usages faits des différents organes de l'espèce grâce au logiciel SPSS 16.0. Par ailleurs, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée sur les matrices de données correspondant aux fréquences absolues des réponses des interviewés sur les différentes maladies traitées par *Haematostaphis barteri* et les organes de l'espèce utilisés dans ces traitements afin de mieux décrire les relations existantes entre les maladies traitées par *Haematostaphis barteri*, les organes de l'espèce utilisés et les groupes socio-linguistiques grâce au logiciel Minitab 17.

3.2.3.2 Analyse des données d'enquête économique

Après codification dans le tableur Microsoft Excel, les données d'enquête ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS version 16.0 pour la détermination des statistiques descriptives en termes de pourcentage et de moyenne. Ces données quantitatives ont été ensuite soumises à une analyse de variance (ANOVA) en utilisant la procédure PROC GLM du logiciel SPSS version 16.0 et les comparaisons de moyennes multiples ont été réalisées avec le test de Student Newman-Keuls.

En se basant sur les considérations théoriques et en s'appuyant sur les travaux de Gnanglè *et al.*, (2012) et de Balogoun *et al.* (2014), il est possible d'écrire le modèle de la rentabilité de la

vente des fruits de *Haematostaphis barteri* sous la forme de l'équation de COBB-DOUGLAS défini comme suit :

$$RN_i = e^{\alpha_0} QMO_i^{k_1} CAPI_i^{k_2} \left(\sum_{p=1}^n Z_i^{\beta} \right) \quad (5)$$

En appliquant la fonction logarithme népérien à chaque membre de l'équation (4), on obtient :

$$\ln(RN_i) = \alpha_0 + k_1 \ln(QMO_i) + k_2 \ln(CAPI_i) + \sum_{p=1}^7 \beta Z_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

RN_i est le revenu net ou marge nette du vendeur i en FCFA. Il est calculé par la formule mathématique suivante :

$$RN_i = PBV_i - CT_i = PBV_i - CV_i - CF_i \quad (7)$$

Ici, PBV_i est le produit brut en valeur, donné par la quantité total de fruits (en Kg) collectés par le vendeur i pendant toute la période de collecte multiplié par le prix unitaire d'un kilogramme de fruits de *Haematostaphis barteri*, CV_i est l'ensemble des charges variables du vendeur i constituées ici essentiellement par les coûts de la main d'œuvre de collecte de fruits, CF_i est l'ensemble des charges fixes du vendeur i formées ici principalement du coût de droit de place au marché et CT_i (coût total) correspondant à la somme des coûts variables et des coûts fixes. Les variables QMO_i et $CAPI_i$ représentent respectivement pour le vendeur, la quantité totale de main d'œuvre utilisée en homme-jour et la quantité totale de capital utilisé en FCFA (main d'œuvre rémunérée, frais de transport vers le marché, droit de place sur le marché, etc...). Les Z_i sont les variables relatives aux caractéristiques socioéconomiques du vendeur i et des marchés. Les coefficients α , k et β sont les paramètres à estimer et ε_i sont les termes d'erreur.

Le modèle a été estimé par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO). De plus, des tests de Durbin-Waston, de Goldfeld et Quandt et de Farrar-Glauber ont été réalisés afin de vérifier respectivement si des erreurs d'autocorrélation, d'hétéroscédasticité et de multicolinéarité existent et sont significatives. En particulier, les erreurs de multicolinéarité ont été corrigées par la méthode d'estimation par étapes qui élimine au fur et à mesure les variables fortement corrélées à d'autres dans le modèle jusqu'à l'obtention d'une estimation sans erreur de multicolinéarité.

3.3 Résultats

3.3.1 Connaissances ethnoécologiques de *Haematostaphis barteri*

3.3.1.1 Appellation locale de *Haematostaphis barteri* et fondement

Haematostaphis barteri couramment appelé prune rouge en français et blood plum en anglais, porte différents noms locaux suivant les groupes socio-linguistiques. Le nom local de «Sanmoru» chez les Dendi et «éyégninrè» chez les bètammaribè signifie acide, qui correspond

à la description du goût des fruits tel que perçu par les populations locales. Le nom «tangninringnirimbou» chez les Waaba se rapporte à l'habitat naturel de l'espèce identifié par ces populations comme étant les collines rocheuses. Chez les Natimba le nom local «Tangnayibou» combine à la fois le goût acidulé des fruits et l'habitat naturel de l'espèce (collines rocheuses).

3.3.1.2 Habitat de *Haematostaphis barteri*

Presque tous les enquêtés (97%) indépendamment de leur ethnie ont affirmé que *Haematostaphis barteri* se retrouve dans les formations naturelles sur des sols gravillonnaires et sur les collines et les montagnes rocheuses. Par rapport aux autres types d'habitats qui abritent *Haematostaphis barteri*, la perception des populations a varié en fonction des groupes socio-linguistiques. Pour les Natimba, *Haematostaphis barteri* se retrouve également dans les jachères ($\chi^2 = 40,58$; ddl= 2 ; P < 0,001) tandis que chez les Bètamaribè, l'espèce se rencontre aussi bien dans les jachères que dans les champs ($\chi^2 = 70,78$; ddl = 2 ; P < 0,001) et les jardins de cases ($\chi^2 = 40,39$; ddl = 2 ; P < 0,001).

Il a été également reconnu par la plupart des populations (78%) que les jeunes pieds de *Haematostaphis barteri* bénéficient de peu de soins particuliers. Ils sont notamment épargnés lors du désherbage des champs. Certains arbres sont parfois émondés soit dans le but de les rajeunir ou alors lorsque les fruits deviennent impropres à la consommation suite à leur infestation par des parasites. La presque totalité des paysans qui possèdent dans leur jardin de cases ou dans leur champ des pieds de *Haematostaphis barteri* affirment les avoir obtenus naturellement et non par plantation.

3.3.2 Connaissances ethnobotaniques et utilisations de *Haematostaphis barteri* au Bénin

Dans la zone d'étude, différentes formes d'utilisation sont faites de *Haematostaphis barteri* à savoir : usage alimentaire, usage médicinal et économique (Tableau 3.2). Pour ces différentes formes d'utilisation, les populations recourent aux principaux organes de *Haematostaphis barteri* mais à des fréquences différentes. Ainsi, 31% des enquêtés utilisent les fruits, 28% utilisent les feuilles, 19% utilisent les racines et les écorces et 3% font usage des tiges (Figure 3.1). La plupart des formes d'utilisation de *Haematostaphis barteri* varient significativement en fonction des groupes socio-linguistiques (Figure 3.2). Ainsi, les Waaba utilisent les écorces et les racines de l'espèce pour traiter les morsures de serpents et d'araignées, la varicelle, les douleurs des côtes et de la hanche dues au rhumatisme, les entorses et pour lutter contre l'asthénie. Les Natimba quant à eux utilisent les mêmes organes de l'espèce que les Waaba pour traiter les hépatites, les hémorroïdes, les maux de ventre, l'anémie, la fièvre et les convulsions. Par contre les Bètamaribè utilisent le plus les feuilles de l'espèce pour traiter

le paludisme. Les fruits sont utilisés de façon homogène (100%) par les trois groupes socio-culturels dans l'alimentation. La pulpe des fruits mûrs est directement consommée comme aliment (Tableau 3.2).

La majorité des populations (98%) affirment que les organes de *Haematostaphis barteri* ne font l'objet d'aucune transformation. Néanmoins chez les Natimba (29,1%) et les Bètammariè (19,7%) les enfants fabriquent la boisson d'*Haematostaphis barteri* par simple extraction du jus de la pulpe des fruits auquel ils ajoutent du sucre ou de la cendre. Ladite boisson est destinée à la consommation familiale et non à la commercialisation.

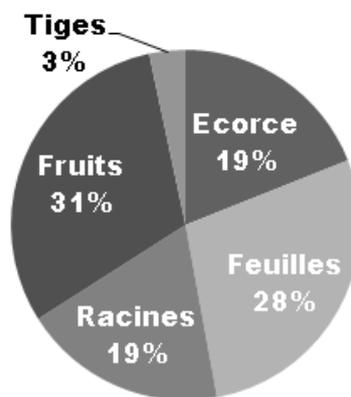


Figure 3.1: Répartition des différents organes de *Haematostaphis barteri* en fonction de leurs fréquences d'utilisation par les populations locales

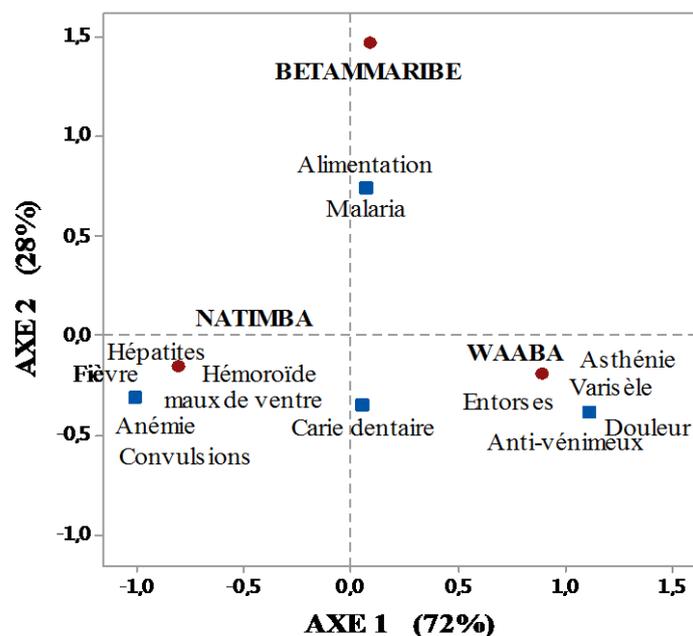


Figure 3.2: Représentation graphique des différentes maladies traitées par les organes de *Haematostaphis barteri* et les ethnies sur les axes factoriels 1 et 2

Tableau 3.2: Les différentes utilisations de *Haematostaphis barteri*

Organe	Domaine d'utilisation	Forme d'utilisation	But de l'utilisation	Taux de réponse par ethnie		
				Waaba (n = 80)	Bètamm aribè (n = 90)	Natimba (n = 60)
Feuilles	Médicinale	Décoction	Maux de ventre	–	11,1	86,7
			Paludisme	95*	74,5	90*
			Morsure de serpent et d'araignée	56,3	16,7	–
			Fièvre	–	–	83,3
			Convulsions	2,5	–	66,7
			Varisèle	47,5	–	–
			Hémoroïde	–	–	56,7
			Malaria	77,5*	4,4	90*
Ecorces	Médicinale	Décoction - Poudre	Anti-vénimeux	57,5	11,1	–
			Maux de ventre	–	13,33	86,7
			Fièvre	–	–	83,3
			Convulsions	2,5	–	66,7
			Hémoroïde	7,5	–	60
			Varisèle	47,5	–	–
			Carie dentaire	2,5*	–	3,3*
			Malaria	7,5*	4,5*	26,7
Racines	Médicinale	Décoction - Poudre	Anti-vénimeux	57,5	2,2	–
			Hémoroïde	5	–	56,7
			Asthénie	47,5	4,4	–
			Douleur	57,5	–	6,7
			Entorses	47,5	–	6,7
			Anémie	–	–	70
			Hépatites	–	–	46,7
			Malaria	7,5*	4,5*	26,7
Fruits	Médicinale	Jus de fruit	Anémie	–	–	80
	Alimentaire	pulpe	Aliment	100*	100*	100*
Tiges	Energétique	–	Source d'énergie	–	12	–

Les taux de réponse par ethnie d'une même ligne suivis d'un (*) ne sont pas significativement différents au seuil de 5% suivant le test khi² de Pearson.

3.3.3 Importance économique de *Haematostaphis barteri*

3.3.3.1 Caractéristiques socio-économique des vendeurs et quelques éléments de leurs comptes d'exploitation

Les fruits de *Haematostaphis barteri* font l'objet de commercialisation au niveau local. Les principaux acteurs de cette commercialisation sont des femmes (97%) des villages, qui collectent directement les fruits de *Haematostaphis barteri* dans les différents habitats (jardin de case, champs, jachère et savane) et les vendent dans les marchés des chefs-lieux de communes sauf à Toucountouna où ils ne sont vendus qu'au marché de Wansokou. Ces vendeurs des fruits de *Haematostaphis barteri* appartiennent essentiellement au groupe socio-linguistique des Bètamaribè (73%) et les 27% restant appartiennent aux groupes socio-linguistiques des Waaba et des Natimba. Il n'existe aucun instrument local de mesure pour cette commercialisation. Les fruits récoltés avec leurs pédoncules sont vendus en de petits tas à 25 FCFA. Les différentes pesées effectuées ont permis d'estimer la masse moyenne d'un tas de fruits de *Haematostaphis barteri* à $216,903 \pm 4,436$ g sur le marché de Natitingou; $343,285 \pm 16,292$ g sur le marché wansokou et $507,428 \pm 31,525$ g sur le marché de Boukoumbé.

Le Tableau 3.3 présente des éléments du compte d'exploitation des enquêtés. L'analyse de ce tableau révèle que la quantité moyenne de fruits collectés, le prix de vente moyen d'un kilogramme de fruits, les charges totales moyennes, la marge nette moyenne sur un kilogramme de fruits vendus et le profit annuel moyen des enquêtés du marché de Natitingou sont nettement plus élevés que ceux des vendeurs des marchés de Boukoumbé et de Wansokou (Toucountouna) dont les comptes de vente sont presque similaires. Cependant, la quantité moyenne de fruits collectés par les vendeurs du marché de Wansokou est plus faible avec une marge nette moyenne plus élevée que ceux des vendeurs du marché de Boukoumbé. Le profit moyen annuel issu de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* est de 10 077 FCFA dans la zone d'étude.

Tableau 3.3: Compte d'exploitation du vendeur suivant le marché.

Marchés	Quantité de fruits collectés (Kg) sur 2 mois (juin-juillet 2014)	prix moyen de vente (fcfa/Kg)	Charges totales (fcfa/Kg)	Marge nette (fcfa/Kg) sur 2 mois (juin-juillet 2014)	profit moyen annuel (fcfa) (juin-juillet 2014)
Natitingou (n = 35)	220,32 ^a (±13,5)	115,26 ^a (±0,001)	25,67 ^a (±3,2)	89,59 ^a (±3,2)	19154 ^a (±1204)
Boukoumbé (n = 35)	111,58 ^b (±7,04)	49,27 ^b (±0,001)	2,94 ^b (±0,064)	46,33 ^c (±0,064)	5180 ^b (±332)
Toucountouna (n = 30)	74,15 ^c (±2,42)	72,43 ^b (±0,001)	2,79 ^b (±0,001)	70,03 ^b (±0,001)	5200 ^b (±177)
Moyenne	138 (±8,20)	79,23 (±2,81)	10,85 (±1,61)	68,58 (±2,14)	10077 (±795)

Les nombres entre parenthèses représentent les erreurs standards; les nombres de la même colonne suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

3.3.3.2 Déterminants du profit net généré par la vente des fruits de *Haematostaphis barteri*

Les résultats du modèle de régression estimé pour identifier les déterminants du profit net du vendeur des fruits de *Haematostaphis barteri* sont présentés dans le Tableau 3.4. L'analyse de ce tableau montre que le modèle de régression est hautement significatif ($p < 0,001$). Ainsi, 88% des variations du profit net annuel des vendeurs enquêtés sont expliqués par les variations des variables introduites dans le modèle. Les 12% de variations du profit net annuel non expliquées par les variations des variables introduites dans le modèle seraient attribuables aux facteurs difficilement mesurables tels que le niveau de fertilité des sols, les conditions climatiques et les divers changements qu'on peut enregistrer d'une saison à l'autre. Les résultats obtenus indiquent que la quantité de main d'œuvre a des effets positifs et hautement significatifs ($P < 0,001$) sur le profit net du vendeur. Le coût total des charges a par contre un effet négatif hautement significatif ($P < 0,001$). Pour les variables socio-économiques mesurées, seuls le marché de Natitingou et l'appartenance du vendeur au groupe socio-linguistique des Waaba ont un effet positif et hautement significatif ($P < 0,001$) sur le profit annuel du vendeur.

Tableau 3.4: Déterminants du profit net de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri*.

Variables explicatives	Description des variables	Coefficient	Erreur standard	t de Student	P
Constante		5,425***	0,149	36,369	0,000
LnQMO	Logarithme népérien de la quantité de main d'œuvre en hommes-jour	0,327***	0,040	8,280	0,000
LnCAPI	Logarithme népérien du coût total des charges liées à la vente des fruits en FCFA	-0,216***	0,021	-10,26	0,000
SEX	Sexe du vendeur (Femme=1 et Homme=0)	-0,093	0,051	-1,829	0,071
AGE	Age du vendeur en années révolues	-0,001	0,001	-0,915	0,363
EXP	Nombre d'années d'expérience dans l'activité	0,022	0,026	0,848	0,398
NIVETU	Niveau d'étude du vendeur (aucun =1 et autre = 0)	0,027	0,031	0,876	0,383
WAABA	Appartenance du vendeur au groupe des Waaba (waaba = 1 et non = 0)	-0,1	0,071	-1,397	0,166
BETAM	Appartenance du vendeur au groupe des Bètamaribè (Bètamaribè= 1 et non= 0)	-0,204***	0,068	-2,982	0,004
MARNATI	Marché de Natitingou comme lieu de vente des fruits (Natitingou =1 et non = 0)	0,528***	0,062	8,456	0,000
Variable dépendante	Logarithme népérien du profit net du vendeur en FCFA				
Nombre d'observations	100				
Statistique F de Fischer	72,764*** (ddl1 = 09 ; ddl2 = 90), P < 0,001				
Coefficient de détermination (R ²)	0,88				

*** : Significatif à 0,001 ; P = Probabilité

3.4 Discussion

3.4.1 Savoirs ethnoécologiques et importance ethnobotanique de *Haematostaphis barteri*

La majorité des populations locales a indiqué que *Haematostaphis barteri* semble être bien adapté aux sols gravillonnaires et aux collines rocheuses des savanes. Certains noms vernaculaires de l'espèce révèlent bien cette perception des populations. Ce savoir local concorde bien avec non seulement les observations faites sur le terrain mais aussi avec celles de Arbonnier (2005) dans les zones sèches de l'Afrique de l'ouest ; Akoègninou *et al.* (2006) au Bénin ; Amana (2007) et Agbogan *et al.* (2012) au Togo sur l'habitat de la même espèce.

Haematostaphis barteri est une espèce végétale sauvage dont les principaux organes (racines, écorces, feuilles et fruits) sont employés dans divers usages au nord-ouest du Bénin. Les connaissances ethnobotaniques des populations du nord-ouest du Bénin sur *Haematostaphis barteri* sont bien similaires à celles notées par Amana (2007) au nord Togo et Asase *et al.* (2005) au Ghana sur la même espèce. Les propriétés médicinales de *Haematostaphis barteri* ont été d'ailleurs confirmées grâce aux travaux de Tadzabia *et al.* (2013) et Boampong *et al.* (2015) qui ont révélé la présence de certaines substances chimiques (flavonoïdes, saponines et alcaloïdes) dans les racines, les écorces et les feuilles de l'espèce ayant des actions antifongique et antibactérien avérées. Les principes actifs contenus dans ces organes de la plante sont donc consommés par les populations. Cependant, certains rapports ont révélé la présence des composés toxiques dans la plante et dans les graines tels que le tannin ($4,92 \pm 0,34$ mg/100g de feuilles), l'acide phytique ($17,80 \pm 1,80$ mg/100g de feuilles ; Umaru *et al.* 2007 ; Kubmarawa *et al.* 2009). A fortes doses, le tannin et l'acide phytique provoquent respectivement la diminution de la qualité des protéines en réduisant leur digestibilité et l'absorption des minéraux par les animaux y compris l'homme (Kubmarawa *et al.*, 2009). Bien que *Haematostaphis barteri* contribue à l'amélioration de la santé des populations, il se pose des questions de doses admissibles pour préserver cette santé. Des études de toxicité et pharmacologique plus approfondies doivent donc être entreprises pour contribuer à une meilleure valorisation des connaissances ethnobotaniques sur l'espèce.

Les fruits de *Haematostaphis barteri* sont exclusivement consommés par les populations locales et donc représentent une importante source d'éléments nutritifs. En témoignent les résultats obtenus par Amoo et Ladji (1999) et Amouzou *et al.* (2006) sur la composition en éléments nutritifs des fruits de *Haematostaphis barteri* en général. Ces résultats révèlent que les fruits de *Haematostaphis barteri* renferment en proportions appréciable de l'azote, des protéines brutes, des sucres réducteurs, quelques vitamines et des éléments minéraux. En effet, la grande période de fructification de cette espèce coïncide avec le début

des activités champêtres de la saison pluvieuse (mai et juin). Cette période est considérée comme période de soudure dans le département de l'Atacora, marquée par une faible disponibilité alimentaire. La maturation des fruits de *Haematostaphis barteri* à cette période contribue donc efficacement à l'alimentation des populations.

3.4.2 Importance économique de *Haematostaphis barteri*

La vente des fruits de *Haematostaphis barteri* est menée essentiellement par des femmes des milieux ruraux qui collectent les fruits dans les différents types d'occupation du sol et les vendent le plus souvent les jours de marché aux populations des villes et des grandes agglomérations pour la consommation directe. La vente des fruits de *Haematostaphis barteri* apparaît économiquement plus rentable pour les vendeurs du marché de Natitingou car la marge nette moyenne de ces derniers est significativement plus élevée que celle des vendeurs des deux autres marchés où les fruits sont vendus. Ceci peut s'expliquer par le fait que Natitingou est la plus grande ville du département de l'Atacora où les activités économiques sont développées : notamment, les fruits de *Haematostaphis barteri* sont utilisés par certaines femmes pour la fabrication d'une boisson naturellement colorée en rouge au vin et vendue frais aux populations.

La valeur du profit moyen sur un kilogramme de fruits vendus et le profit annuel moyen du vendeur pour une activité couvrant environ deux mois dans l'année ne sont pas négligeables eu égard aux statistiques du service de l'analyse de la sécurité alimentaire du Programme Alimentaire Mondial qui indiquent que la médiane des dépenses du ménage par personne par mois est de moins de 10 000 CFA dans l'Atacora en 2013 (Programme Alimentaire mondial, 2014). Le profit annuel des vendeurs est aussi significativement et positivement influencé par la quantité de main-œuvre employée. Ceci traduit le fait que des valeurs élevées de ce paramètre, contribuent à l'amélioration du profit net des vendeurs. L'effet significatif et positif de la quantité de main d'œuvre sur le profit net annuel du vendeur s'explique par le fait que les vendeurs n'achètent pas les fruits mais les collectent eux-mêmes ou bien recourent à la main d'œuvre familiale (principalement les enfants) non rémunérée. Le coût total des charges couvertes, bien que significatives ont des effets négatifs sur le profit net annuel.

De manière générale, le profit des vendeurs est faible compte tenu de la non valorisation des fruits de *Haematostaphis barteri*. En effet, les études effectuées par N'Diaye *et al.* (2003) sur la valeur ajoutée provenant d'une meilleure valorisation des principaux fruits de cueillette consommés et commercialisés en Guinée tels que *Vitellaria paradoxa*, *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa* etc..., ont montré qu'il y a une différence significative entre les revenus nets tirés des produits transformés et ceux obtenus des produits non transformés. La valorisation des fruits de *Haematostaphis barteri* et de leurs amendes peut constituer alors un moyen très

important pour augmenter le niveau de revenu des vendeurs. Le faible profit des vendeurs de fruits de *Haematostaphis barteri* serait aussi lié au fait que les fruits ne sont pas disponibles toute l'année.

3.5 Conclusion partielle

Haematostaphis barteri est une ressource végétale indigène bien connue et utilisée par les populations du nord-ouest de l'Atacora au Bénin. Les principaux organes de l'espèce à savoir les feuilles, les racines et l'écorce sont employés dans le traitement de plusieurs maladies/affections alors que les fruits sont essentiellement utilisés comme aliment par les populations locales de la zone d'étude. Ces différentes utilisations de *Haematostaphis barteri* varient d'un groupe ethnique à un autre.

Haematostaphis barteri n'a pas encore une valeur économique très remarquable à l'instar du baobab (*Adansonia digitata* L.), du néré (*Parkia biglobosa* Jacq. R.Br. ex G.Don) et du karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn) par exemple, mais le revenu issu de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri* par les populations locales est loin d'être négligé. Le revenu annuel réalisé pour les fruits *Haematostaphis barteri* est significativement influencé par la quantité totale de mains d'œuvre employée, la quantité totale de capital utilisée et l'ethnie du vendeur.

Une sensibilisation des paysans pour la protection de *Haematostaphis barteri* dans les champs et jachères et sa conservation *in situ* sur les flancs et les sommets des collines de l'Atacora, combinée à une valorisation des fruits de l'espèce à travers leur transformation en boissons, jus, sirop ou en confiture à une grande échelle permettront non seulement aux paysans d'améliorer considérablement leur niveau de revenu mais aussi d'assurer la pérennité et la domestication de l'espèce.

CHAPITRE 4:
CARACTERISATION STRUCTURALE ET PRODUCTION EN FRUITS DES
POPULATIONS DE *HAEMATOSTAPHIS BARTERI HOOK. F.* AU BENIN

Publié sous la référence : Sourou B.N, Ouinsavi C.A.I.N. and Sokpon N. 2016. **Ecological Structure and Fruit Production of Blood Plum (*Haematostaphis barteri Hook. F*) Subpopulations in Benin.** *International Journal of Plant & Soil Science* **9**(2): 1-12.
DOI: 10.9734/IJPSS/2016/22059.

Chapitre 4 : Caractérisation structurale et production en fruits des populations de *Haematostaphis barteri* Hook F. au Bénin

4.1 Introduction

Les écosystèmes forestiers africains sont reconnus comme faisant partie des plus importants et des plus riches en termes d'abondance et de diversité d'espèces végétales (Philips *et al.*, 1994). Ils jouent un rôle crucial dans le maintien de la vie sur la planète (Balla Eké, 2011). Ils interviennent dans la régulation des systèmes climatiques mondiaux et régionaux (FAO, 2012a). Malgré ces fonctions multiples, l'aménagement des forêts naturelles, particulièrement en Afrique subsaharienne, est confronté au manque de données devant permettre la compréhension du fonctionnement de ces écosystèmes en termes de composition floristique, de structure démographique et de régénération (Rabiou, 2015). Cependant, la récurrence des déficits pluviométriques des dernières décennies a causé la baisse d'une production vivrière essentiellement basée sur la culture pluviale (Rabiou *et al.*, 2015). Les écosystèmes naturels font dès lors l'objet d'un surcroît d'exploitation, par une population en croissance démographique galopante, recherchant des compléments alimentaires et des sources de revenus (Sawadogo, 2011).

Haematostaphis barteri Hook. F., espèce endémique de la chaîne de l'Atacora au Bénin (Adomou, 2005 ; Akoègninou *et al.*, 2006) figure parmi les espèces qui sont de ce fait les plus vulnérables (Garnier, 2008). C'est une espèce dioïque des savanes soudanaises, qui pousse dans des conditions écologiques extrêmes (collines rocheuses ou cuirassées). Elle a de nombreuses utilisations et joue donc un rôle socio-économique important pour les populations locales (Souroou *et al.*, 2016a). La forte pression subie par l'espèce, conjuguée aux variabilités climatiques, à la quasi absence de régénération naturelle et au vieillissement des peuplements de *Haematostaphis barteri*, fait de cet arbre l'un des plus vulnérables de la chaîne de l'Atacora.

Plusieurs études scientifiques ont été menées sur *Haematostaphis barteri* en Afrique de l'Ouest (Agbogou, 2012, 2014, 2015 ; Moutouama *et al.*, 2016, Biaou *et al.*, 2017). Cependant, des données concernant les caractéristiques structurales et la dynamique de l'espèce ne sont malheureusement pas documentées. Or l'étude de la structure d'un peuplement forestier sert de base à sa sylviculture, guide l'économie forestière, permet d'évaluer l'état de dégradation des écosystèmes, aide à comprendre l'historique de gestion passé des peuplements et la dynamique forestière (Wulder *et al.*, 2009 ; Nadkarni *et al.*, 2008 ; Merino *et al.*, 2007) en vue d'identifier les types d'aménagement à y appliquer (Hitimana *et al.*, 2004).

La présente étude se propose donc (i) d'analyser les structures démographiques des peuplements de *Haematostaphis barteri* selon le sexe des individus et la géomorphologie des sites, (ii) de quantifier la production fruitière des peuplements de *Haematostaphis barteri*.

4.2 Matériels et méthodes

4.2.1 Echantillonnage et collecte de données

4.2.1.1 Caractérisation structurale des peuplements de *Haematostaphis barteri*

La caractérisation dendrométrique et structurale de *Haematostaphis barteri* a été effectuée à partir d'un inventaire forestier exécuté suivant différentes positions géomorphologiques des sites de présence de *Haematostaphis barteri* (haut versant et sommet de colline ; mi-versant ; bas versant et plateau) dans les trois communes d'étude (Natitingou, Boukombé et Toucountouna ; Figure 5.1). L'unité d'échantillonnage a été un placeau de 1 ha en raison de la faible densité de l'espèce (Agbogon *et al.*, 2012). Au total 46 placeaux ont été inventoriés dans l'ensemble du milieu d'étude dont 09 placeaux sur les hauts versants et sommets, 15 placeaux sur les mi-versants, 13 placeaux sur les bas versants et 09 placeaux sur les plateaux. Les placeaux ont été installés lorsqu'au moins deux individus de *Haematostaphis barteri* étaient présents et, une distance d'au moins 100 m a été observée entre deux placeaux consécutives dans une même unité géomorphologique.

A l'intérieur de chaque placeau, les mesures des individus ont porté sur le diamètre à 1,30 m du sol de tous les arbres de *Haematostaphis barteri* dont le diamètre est supérieur ou égal à 5 cm à l'aide du ruban π , la hauteur totale à l'aide du clinomètre, deux diamètres perpendiculaires du houppier à l'aide du décamètre. Le sexe de chaque pied de l'espèce a été noté ainsi que les traces d'exploitation éventuelles (émondage, écorçage, coupe complète). Les jeunes plants constitués par les rejets de souches (individus régénérés à la suite de la coupe d'une tige) et les brins francs ($1 \text{ cm} \leq \text{dbh} < 5 \text{ cm}$ et de hauteur $\leq 1 \text{ m}$) ont été assimilés à la régénération puis notés. Compte tenu de sa rareté, un inventaire systématique par placeau de la régénération a été réalisé.

L'inventaire forestier a été exécuté en pleine période de floraison de l'espèce (de février à mars), ce qui a permis l'identification des pieds mâles et des pieds femelles grâce à l'examen des inflorescences à la loupe. Les individus ne portant pas d'inflorescence ont été classés dans le groupe des « indéterminés », et n'ont pas été pris en compte pour l'étude de la caractérisation dendrométrique en fonction du sexe.

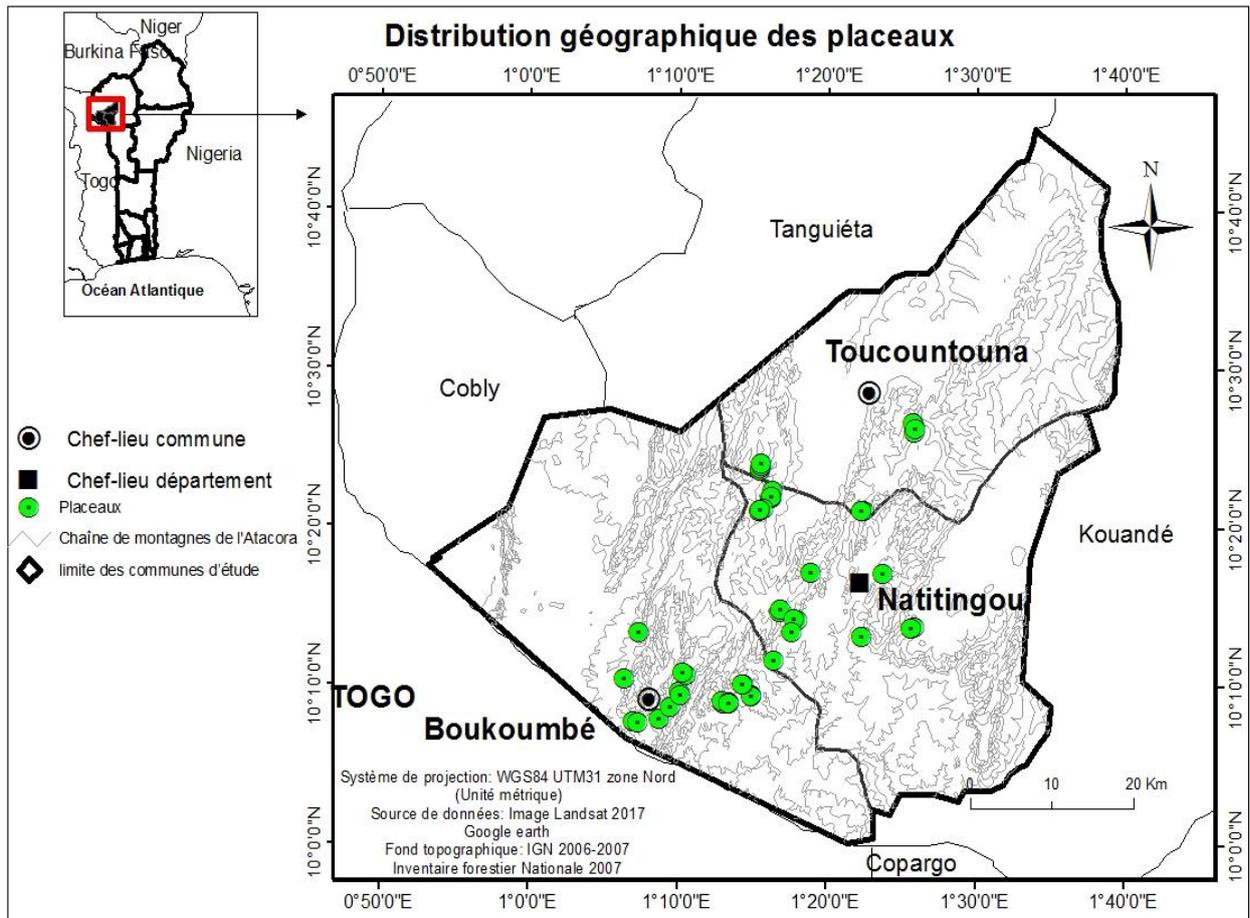


Figure 4.1: Milieu d'étude montrant la chaîne de l'Atacora et les sites d'implantation des relevés.
(Source : Sourou, 2017)

4.2.1.2 Production en fruit de *Haematostaphis barteri*

Dans l'ensemble du milieu d'étude, 126 pieds femelles de *Haematostaphis barteri*, et portants des fruits sains ont été échantillonnés au hasard dont 36 pieds sur les mi-versants, 30 pieds au niveau des bas versants, 30 pieds sur les hauts versants et sommets et 30 pieds sur les plateaux. Pour chacun des pieds de *Haematostaphis barteri* échantillonné, en plus des caractéristiques dendrométriques, les variables mesurées ont concerné les paramètres de fructification indispensables à l'estimation de la production en fruits à savoir le nombre de principales branches portant des fruits, le nombre total de fruits sur deux principales branches. Par ailleurs, dix rameaux portant des panicules ont été prélevés au hasard par arbre et le nombre de panicules a été compté. De même, dix panicules par arbre ont été échantillonnées, la longueur des panicules a été mesurée et le nombre total de fruits a été compté.

4.2.2 Méthode d'analyse et de traitement des données

4.2.2.1 Caractéristiques structurales de *Haematostaphis barteri*

A partir des données collectées, la densité (N), la surface terrière (G) et le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (D_g) ont été calculés par unité géomorphologique et par sexe afin de comparer les peuplements.

- **La densité N** est le nombre moyen d'individus par hectare ;

- **La surface terrière G**, correspond pour chaque peuplement à la somme de la surface terrière (m^2/ha) des arbres de *Haematostaphis barteri* à hauteur d'homme supérieur ou égal à 10 cm. Elle a été déterminée par la formule :

$$G = \sum \pi D^2 / 4 \quad (1)$$

Avec D, le diamètre à hauteur d'homme des arbres de *Haematostaphis barteri* à hauteur d'homme supérieur ou égal à 10 cm ;

- **Le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne** par la formule

$$D_g = \sqrt{\frac{4G}{n\pi}} \quad (2)$$

avec n = densité du peuplement à l'hectare et G = surface terrière moyenne du peuplement (m^2/ha)

- **L'indice de Blackman (IB)** : La structure spatiale correspond à un type de distribution au sol des individus de *Haematostaphis barteri* au sein de chaque peuplement. L'indice utilisé pour caractériser la distribution spatiale des individus de *Haematostaphis barteri* est l'indice de Blackman (1942) :

$$I_B = \delta^2 / \mu \quad (3)$$

avec σ^2 = variance et μ = moyenne. On parle de distribution poissonnienne pour $I_B = 1$; de distribution régulière pour $I_B < 1$ et de distribution agrégative pour $I_B > 1$.

Une analyse de variance a été effectuée pour comparer les paramètres dendrométriques (diamètre, hauteur totale, diamètre houppier, densité, surface terrière) des peuplements de *Haematostaphis barteri* dans les différentes unités géomorphologiques échantillonnées. Les données qui ne suivent pas une distribution normale selon le test de Ryan Joiner (Rondeux, 1999) ont été comparées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal Wallis. Les logiciels R 2.15.3 (R Development Core Team, 2010) et Minitab 17 ont été utilisés.

4.2.2.2 Structure démographique des peuplements

A partir d'un seuil de 10 cm, des classes de diamètre d'amplitude 10 cm ont été constituées. Les classes de hauteur ont été définies à partir d'un seuil de 1,5 m, avec une amplitude de 2 m. Ces classes ont permis d'établir des histogrammes de distribution des classes de diamètre et de hauteur. Un test d'ajustement à la distribution théorique de Weibull (Rondeux, 1999) a été effectué à l'aide du logiciel Minitab 17. La distribution théorique de Weibull à trois paramètres (de position a , d'échelle ou taille b et de forme c) a été utilisée pour caractériser la structure des peuplements, à la faveur de sa souplesse d'emploi et de la grande variabilité de formes de distribution qu'elle produit. Le paramètre a correspond à la valeur seuil, c'est-à-dire à la plus petite valeur de diamètre (respectivement de hauteur) retenue pour la constitution des histogrammes. Le paramètre b est lié à la valeur centrale de la distribution des classes de diamètre et de hauteur. Enfin, le paramètre c est lié à la structure observée et, selon sa valeur, conduit la distribution de Weibull à prendre plusieurs formes. Sa fonction de densité de probabilité $f(x)$ se présente sous la forme suivante (Johnson et Kotz, 1970) :

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \quad (4)$$

avec x le diamètre (cm), la circonférence (cm) ou la hauteur (m) des arbres, $f(x)$ sa valeur de densité de probabilité générée à partir des centres des classes de diamètre ou de hauteur et des paramètres a , b et c .

4.2.2.3 Production en fruits des peuplements de *Haematostaphis barteri*

A partir du nombre total de fruits comptés sur deux principales branches de chaque arbre échantillonné, le nombre moyen de fruits par branche a été déterminé et le nombre moyen de fruits par arbre a été estimé en multipliant le nombre de principales branches par le nombre moyen de fruits par principale branche.

Les statistiques descriptives des différentes variables ont été estimées. Des analyses de variances et des tests de Student-Newman et Keuls (grâce au logiciel SPSS version 16.0) ont permis de comparer au seuil de 5% non seulement le nombre moyen de panicules par rameau, mais aussi les rendements en fruits par panicule et par arbre suivant les différentes unités géomorphologique échantillonnées. Avant de procéder à ces différentes analyses, le test de normalité de Shapiro-Wilk a été effectué pour vérifier la normalité des résidus et le test de Breush-Pagan (appelé aussi test de Cook-Weisberg) pour vérifier leur homogénéité. Aussi, des corrélations ont été établies entre les paramètres dendrométriques et les variables de production en fruits de *Haematostaphis barteri* grâce au logiciel Minitab version 17.

4.3 Résultats

4.3.1 Caractéristiques structurales des peuplements de *Haematostaphis barteri*

4.3.1.1 Caractéristiques structurales suivant la géomorphologie

Le tableau 4.1 donne les caractéristiques structurales des peuplements de *Haematostaphis barteri* en fonction de la géomorphologie des sites.

La densité des individus de *Haematostaphis barteri* varie de 13 tiges/ha (peuplements des bas versants et des plateaux) à 18 tiges/ha (peuplements des mi-versants et des hauts versants et sommets). La surface terrière varie de 0,27 m²/ha (peuplement des plateaux) à 0,48 m²/ha (peuplement des hauts versants et sommets). Pour les peuplements des mi-versants et des bas versants, la surface terrière est respectivement de 0,37 m²/ha et 0,36 m²/ha. Le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne varie de 15,83 cm (peuplement des plateaux) à 19,57 cm (peuplement des bas versants). Le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) et la hauteur totale (Ht) sont respectivement de 15,22 cm et 04,19 m dans les peuplements des plateaux; 17,46 cm et 04,56 m dans les peuplements des hauts versants et sommets; 15,23 cm et 04,49 m dans les peuplements des mi-versants ; 17,03 cm et 04,07 m dans ceux des bas versants (Tableau 4.1).

La densité, la surface terrière et le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne n'ont pas présenté de différence significative entre les quatre unités géomorphologiques. Par contre le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur totale et le diamètre houppier des individus de *Haematostaphis barteri* ont montré une différence significative ($P < 0,001$) suivant la géomorphologie au seuil de 5% suivant le test de Student-Newman-Keuls. Les arbres de *Haematostaphis barteri* les plus gros (17,46 cm), les plus hauts (4,56 m) et ayant le plus grand diamètre houppier ont été observés dans le peuplement des hauts versants et sommets de colline alors que les arbres les moins gros (15,23 cm) ont été notés au niveau des peuplements des mi-versants et des plateaux. Les individus les moins hauts (4,61 m) avec un faible diamètre du houppier ont été notés au niveau des bas versants.

Les valeurs de l'indice de dispersion de Blackman obtenues pour les quatre unités géomorphologiques sont toutes supérieures à 1, et indiquent que les individus de *Haematostaphis barteri* des quatre peuplements étudiés ont une distribution agrégative. Cette distribution peut paraître irréaliste pour une densité de 13 à 18 tiges/ha, mais les observations directes faites sur le terrain révèlent bien qu'au niveau des sites de présence de *Haematostaphis barteri*, plusieurs individus se confinent sur une petite superficie déterminant ainsi des poches de présence de l'espèce.

Tableau 4.1: Caractéristiques structurales des peuplements de *Haematostaphis barteri* suivant la géomorphologie des sites

Peuplement de <i>Haematostaphis barteri</i>	DBH (cm)		Ht (m)		Dcime (m)		N (tiges/ha)		G (m ² /ha)		Dg (cm)	
	moy	se	moy	se	moy	se	moy	se	moy	se	moy	se
Haut versant et sommet	17,46a	0,737	4,56a	0,141	4,60a	0,221	18a	4,675	0,48a	0,12	17,5a	2,433
mi-Versant	15,23b	0,347	4,49a	0,066	3,97b	0,104	18a	2,204	0,37a	0,056	16,67a	1,147
Bas versant	17,03ab	0,395	4,07b	0,076	3,70b	0,118	13a	2,145	0,36a	0,055	19,57a	1,117
Plateau	15,22b	0,717	4,19ab	0,139	3,94ab	0,215	13a	3,817	0,27a	0,098	15,83a	1,987
Moyenne	16,23	0,289	4,33	0,055	4,05	0,087	15	1,693	0,37	0,043	17,395	0,881
Probabilité	0,001***		< 0,001***		0,005***		0,383ns		0,597ns		0,227ns	

(*) : Différence significative au seuil de 5% ; (**) : Différence significative au seuil de 1% ; (***) : Différence significative au seuil de 0,1% ; ns=non significative. Les moyennes des caractéristiques par colonne entre les différents regroupements de *Haematostaphis barteri* suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test de comparaison de moyennes de Student et Newman Keuls. n= nombre d'arbres ; DBH= Diamètre ; Ht= hauteur totale ; N= Densité ; G= surface terrière ; Dg= Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne, IB = Indice de Blackman.

Tableau 4.2: Caractéristiques structurales des peuplements de *Haematostaphis barteri* suivant le sexe des pieds

Peuplement de <i>Haematostaphis barteri</i>	DBH (cm)		Ht (m)		Dcime (m)		N (tiges/ha)		G (m ² /ha)		Dg (cm)	
	moy	se	moy	se	moy	se	moy	se	moy	se	moy	se
Mâle	16,23a	0,314	4,26a	0,06	3,91a	0,094	9a	0,805	0,215a	0,023	16,29a	0,9
Femelle	15,87a	0,353	4,41a	0,067	3,97a	0,106	7a	0,805	0,155a	0,023	16,77a	0,9
Global	16,23	0,289	4,33	0,055	4,05	0,087	15	1,693	0,37	0,043	17,4	0,881
Probabilité	0,446 ns		0,101ns		0,642ns		0,112ns		0,066ns		0,705ns	

4.3.1.2 Caractéristiques structurales suivant le sexe

Le tableau 4.2 présente les caractéristiques structurales du peuplement global et des peuplements d'individus mâles et femelles de *Haematostaphis barteri*.

La densité est de 9 tiges/ha pour les pieds mâles et 7 tiges/ha pour les pieds femelles, avec une moyenne globale de 15 tiges/ha pour l'ensemble du peuplement. La surface terrière moyenne globale du peuplement est de 0,37 m²/ha dont 0,215 m²/ha pour les pieds mâles et 0,155 m²/ha pour les pieds femelles. Pour le diamètre de l'arbre de surface terrière moyen, les valeurs obtenues pour les pieds mâles et les pieds femelles sont respectivement de 16,29 cm et 16,77 cm, avec une moyenne du peuplement global de 17,40 cm. Concernant le diamètre, la hauteur totale et le diamètre houppier, les valeurs obtenues ont été respectivement de 16,23 cm, 4,26 m et 3,91 m pour le peuplement d'individus mâles et de 15,87 cm, 4,41 m et 3,97 m pour le peuplement d'individus femelles.

Tous ces paramètres dendrométriques n'ont montré une différence significative au seuil de 5% de probabilité suivant le sexe des individus. Les pieds mâles et les pieds femelles de *Haematostaphis barteri* présentent alors globalement les mêmes caractéristiques dendrométriques.

4.3.2 Distribution des pieds de *Haematostaphis barteri* par classes de diamètre

La figure 4.2 représente la répartition par classe de diamètre des pieds de *Haematostaphis barteri* des différents peuplements. L'analyse de cette figure montre que toutes les distributions ont une allure en cloche et présentent une valeur du paramètre de forme (c) de la fonction de densité de Weibull à 3 paramètres comprise entre 1 et 3,6. La distribution est alors asymétrique positive ou asymétrique droite, caractéristique des peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre, centrée sur la classe [10-20[.

4.3.3 Distribution des pieds de *Haematostaphis barteri* par classe de hauteur totale

La figure 4.3 représente la répartition par classe de hauteur des pieds de *Haematostaphis barteri* des différents peuplements. L'analyse de cette figure montre que toutes les distributions ont une allure en cloche et présentent une valeur du paramètre de forme (c) de la fonction de densité de Weibull à 3 paramètres comprise entre 1 et 3,6. Tout comme la structure diamétrique, la répartition par classe de hauteur totale des pieds de *Haematostaphis barteri* des quatre peuplements montre une prédominance de jeunes pieds. Les arbres de la classe de hauteur totale [4 – 6[sont les plus dominants.

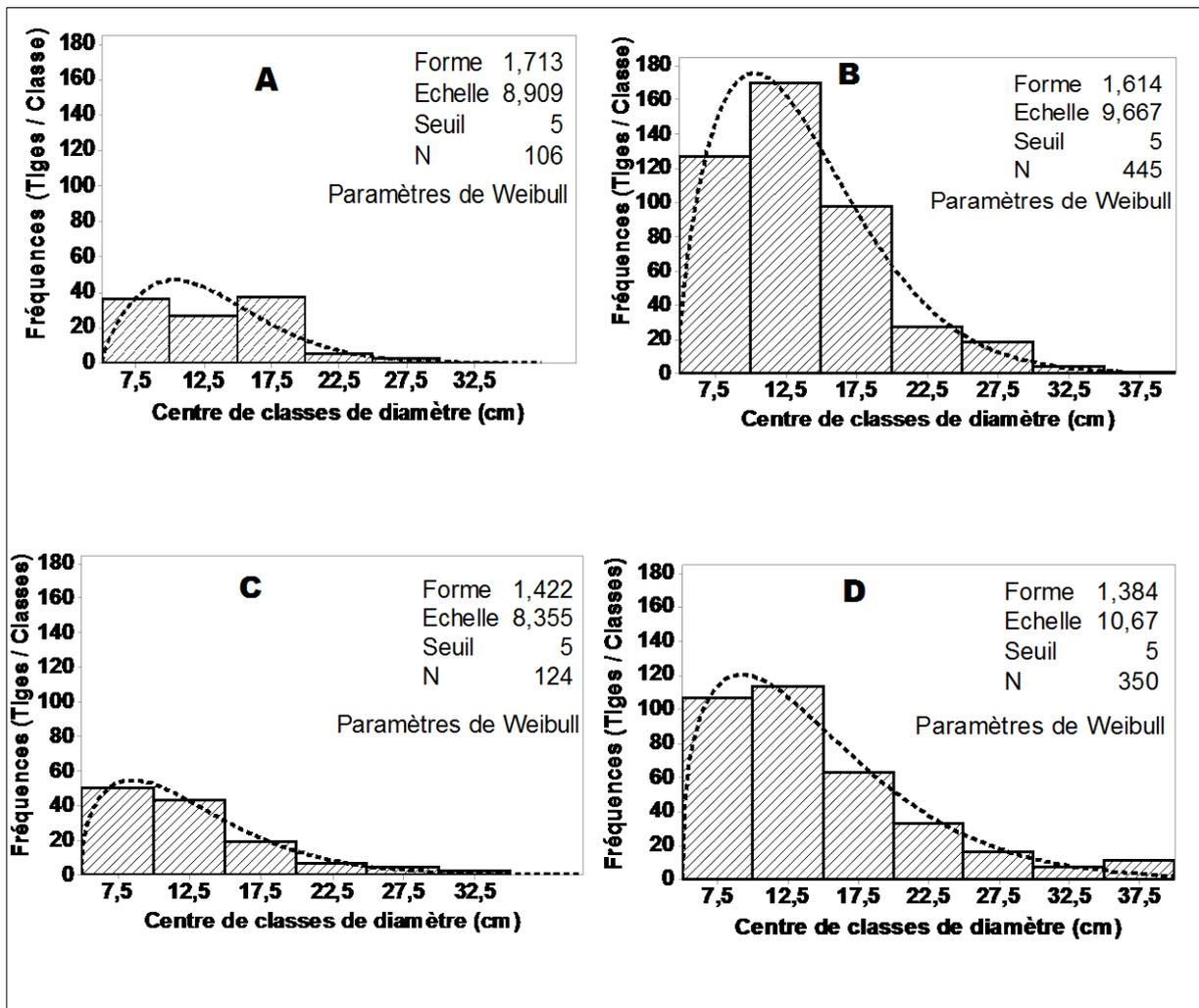


Figure 4.2: Répartition par classes de diamètre des pieds de *Haematostaphis barteri*

A : Haut versant et sommet de colline B : Mi-versant C : Plateau D : Bas versant

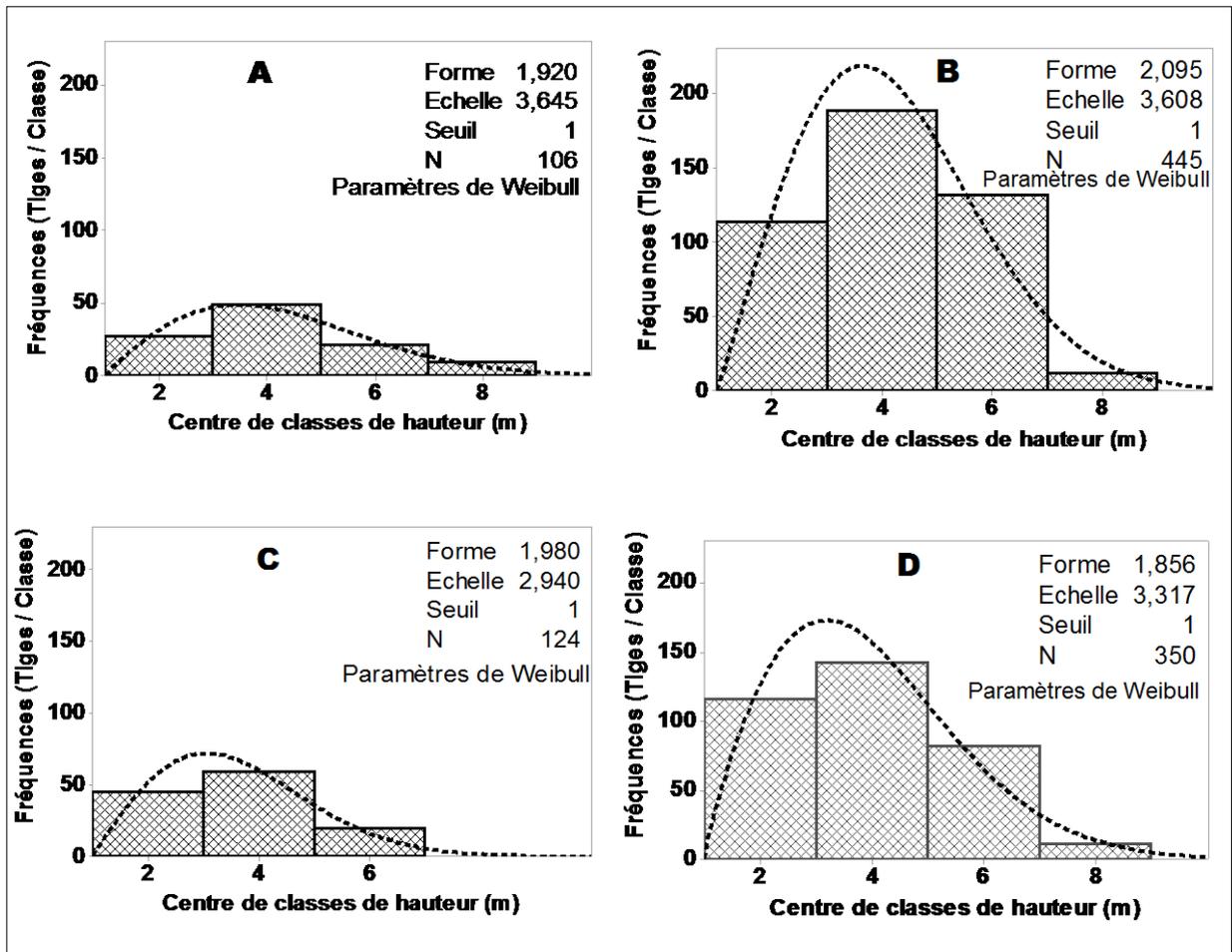


Figure 4.3: Répartition par classes de hauteur totale des pieds de *Haematostaphis barteri*

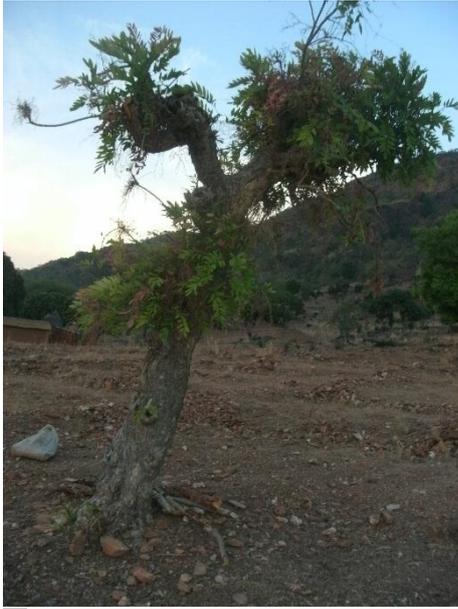
A : Haut versant et sommet de colline B : Mi-versant C : Plateau D : Bas versant

4.3.4 Régénération naturelle

La régénération naturelle constituée des semis est quasi-absente sous les semeniers. La densité par hectare de la régénération (jeunes plants et plantules) varie entre 1 tige sur les mi-versants de colline et 3 tiges sur les hauts versants et sommets des collines. Cependant, elle n'a pas varié significativement d'une sous-population à une autre ($P = 0,375$). Par ailleurs, les rejets de souches ont été plus abondants sur les bas versants (67%) que sur les autres sites (15% à 29%).

4.3.5 Pressions sur les peuplements de *Haematostaphis barteri*

Les individus de *Haematostaphis barteri* sont soumis à diverses pressions humaines telles que l'émondage, la coupe complète, l'écorçage et l'effet des feux de végétation (Photo 5.1) dans les différents peuplements mais à des degrés divers. L'intensité d'émondage et de coupe est la plus importante au niveau des mi-versants et des bas versants de colline, et le plus souvent portés sur les individus mâles. Le phénomène est moins ressenti au niveau des hauts versants et sommets et des plateaux. Les feux de végétation également ont un impact sur les individus de *Haematostaphis barteri* (Photo 4.1).



A Pied de *H. barteri* émondé



B Pied de *H. barteri* complètement coupé



C Pied de *H. barteri* écorché



D Pied de *H. barteri* brûlé par le feu

Photo 4.1: Impacts des actions anthropiques sur *Haematostaphis barteri*
(Source : cliché Sourou, 2014)

4.3.6 Production de fruits par les peuplements de *Haematostaphis barteri*

Le tableau 4.3 présente le nombre moyen de panicules par rameau, le nombre moyen de fruits par panicule et le nombre moyen de fruits par arbre des quatre peuplements de *Haematostaphis barteri* étudiés. L'analyse de ce tableau montre que le nombre moyen de panicule par rameau est environ de 3 (peuplement des hauts versants et sommets) à 5 (peuplement de plateaux). Le nombre moyen de fruits par panicule varie de 15 fruits environ (peuplement des hauts versants et sommets) à 29 fruits environ (peuplement des mi-versants). Dans les peuplements de plateaux et des bas versants, le nombre moyen de fruits par panicule est respectivement de 23 et 20 environ. Le nombre moyen de fruits par arbre varie de 2325 (peuplement des hauts versants et sommets) à 7879 fruits (peuplement des plateaux). Dans les peuplements des versants et des bas versants, le nombre moyen de fruits par arbre est respectivement de 6640 et 7466.

Le nombre moyen de panicule par rameau et le nombre moyen de fruits par panicule ont révélé une différence hautement significative ($p < 0,001$) entre les différents peuplements étudiés alors que le nombre moyen de fruits par arbre n'a montré aucune différence significative.

Tableau 4.3: Caractéristiques de production en fruits de *Haematostaphis barteri* suivant la géomorphologie

Peuplements de <i>H. barteri</i>	Nombre moyen de panicules par rameau	Nombre moyen de Fruits par Panicule	Nombre moyen de Fruits par Arbre
Plateaux (n = 30)	5,00±0,14 ^a	23,00±0,98 ^b	7879±2379 ^a
Sommets et hauts versants (n = 30)	3,00±0,089 ^c	15,00±0,62 ^d	2325±1872 ^a
Versants (n = 36)	4,00±0,075 ^b	29,00±0,52 ^a	6640±1265 ^a
Bas versants (n= 30)	4,00±0,094 ^b	20,00±0,65 ^c	7466±1566 ^a
Moyenne Générale	4,00±0,05	22,00±0,35	6078±1277
Probabilité (P)	P < 0,001***	P < 0,001***	0,142ns

n = nombre de pieds de *Haematostaphis barteri* échantillonné par sous-population, *** = significatif au seuil de 0,1%. Pour chaque variable, les chiffres portant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5% suivant le test de comparaison de moyennes de Student et Newman Keuls.

4.3.7 Corrélation entre les paramètres dendrométriques et les variables de production de fruits de *Haematostaphis barteri*

Le tableau 4.4 présente les corrélations entre le DBH, la hauteur totale et les variables de production de fruits de *Haematostaphis barteri*. L'analyse de ce tableau montre que le DBH est hautement corrélé avec le nombre moyen de fruits par arbre et le nombre moyen de panicules par rameau alors que la hauteur totale est très significativement corrélée avec le nombre moyen de fruits par arbre. Par contre le DBH et la hauteur totale ne sont pas corrélés avec le nombre moyen de fruits par panicule. Par ailleurs, il y a une forte corrélation entre le DBH et la hauteur totale ; entre le nombre moyen de fruits par arbre et le nombre moyen de panicules par rameau, le nombre moyen de fruits par panicule; entre le nombre moyen de panicules par rameau et le nombre moyen de fruits par panicule.

Tableau 4.4: Corrélation entre le DBH, la hauteur totale et les variables de production de fruit de *Haematostaphis barteri*

	DBH (cm)	Hauteur totale (m)	Nombre moyen de fruits par arbre	Nombre moyen de panicules par rameau	Nombre moyen de fruits par panicule
DBH	1				
Hauteur totale	0,751***	1			
Nombre moyen de fruits par arbre	0,525***	0,486***	1		
Nombre moyen de panicules par rameau	0,308***	0,256	0,560***	1	
Nombre moyen de fruits par panicule	0,24	0,205	0,362***	0,314***	1

*** corrélation très significative au seuil de 5%

4.4 Discussion

4.4.1 Caractéristiques dendrométriques de *Haematostaphis barteri*

Haematostaphis barteri est une espèce inféodée au sol rocheux. Elle est présente aussi bien sur les hauts versants et sommets, les mi-versants, les bas versants de collines que sur les plateaux du Nord-Ouest de la chaîne de l'Atacora. Les peuplements de *Haematostaphis barteri* de ces quatre unités géomorphologiques ont présenté des caractéristiques dendrométriques différentes en ce qui concerne le diamètre moyen, le diamètre houppier moyen et la hauteur totale moyenne.

Les individus de *Haematostaphis barteri* les plus gros, les plus hauts, et ayant un houppier développé ont été observés sur les hauts versants et sommets de collines. Cela tend à prouver que les hauts versants et sommets des collines constitueraient l'habitat privilégié de *Haematostaphis barteri*. Ce qui concorde bien avec les observations faites par Arbonnier (2009) sur la même espèce dans les zones sèches d'Afrique de l'ouest. La présence de *Haematostaphis barteri* uniquement sur les flancs et les sommets de collines a été également notée sur la chaîne montagneuse de l'Atacora au Togo (Agbogon *et al.*, 2012) et au Bénin (Wala *et al.*, 2006, Akoègninou *et al.*, 2006). Ces positions topographiques qu'occupe l'espèce pourraient être liées non seulement à l'existence au niveau de ces dernières, des conditions écologiques particulières et propices au développement végétatif de *Haematostaphis barteri* mais aussi au faible impact de l'emprise humaine sur les sommets et les hauts versants des collines. La plus faible hauteur totale et le houppier le plus faible ont été notés sur les bas versants, avec cependant un diamètre moyen relativement plus gros. Cette faible élongation de la hauteur du fût au profit de la croissance latérale observée au niveau des bas versants pourrait s'expliquer par la forte pression humaine qui se traduit par l'émondage exercé par les populations sur les individus de *Haematostaphis barteri*. En effet, s'agissant des forêts à vocation pastorale, De Caluwé (2005) et Rabiou *et al.* (2015) ont souligné que la mutilation des branches au fil des années par les paysans limite la croissance en hauteur, favorisant plutôt la croissance en diamètre. Cette explication est corroborée par une relative abondance d'individus émondés et des rejets de souches sur les mi-versants et les bas versants de colline. De tels résultats ont été également obtenus par Kiki (2008) sur *Vitex doniana*, Fandohan *et al.* (2010a) sur *Tamarindus indica* et Houèchégnon (2016) sur *Prosopis africana*, qui ont montré que les pressions anthropiques ont un effet négatif sur les paramètres dendrométriques tels que la hauteur totale, la densité de régénération et la densité des adultes mais un effet positif sur le diamètre moyen.

La densité, la surface terrière et le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne n'ont pas variés significativement suivant les positions géomorphologiques des individus de

Haematostaphis barteri. De même, tous les paramètres dendrométriques étudiés, n'ont pas révélé de différences significatives entre les individus mâles et les individus femelles de *Haematostaphis barteri*. Ce qui indique que les individus mâles et femelles présentent globalement les mêmes caractéristiques dendrométriques.

4.4.2 Caractéristiques structurales de *Haematostaphis barteri*

L'aménagement des peuplements forestiers nécessite la maîtrise de la structure en diamètre et en hauteur des arbres. Ces structures sont révélatrices des événements liés à la vie des peuplements (Rondeux, 1999). Les peuplements forestiers, selon qu'ils soient monospécifiques ou multispécifiques, équiniennes, jeunes ou âgés présentent des structures-types. Il est connu que les structures en diamètre et en hauteur de ces types de peuplements forestiers s'ajustent à des distributions théoriques connues (Husch *et al.*, 2003). D'après Rondeux (1999), Philip (2002) et Chris *et al.* (2005), en structure équienne, les grosseurs par classes de diamètre présentent une distribution typique s'apparentant souvent à une courbe de Gauss qui peut devenir dissymétrique voir bimodale dans certaines circonstances. Selon les mêmes auteurs, dans un peuplement équienne, tous les arbres ont le même âge ou à peu près avec une faible variation de la hauteur s'expliquant principalement par leur position sociale (dominants, co-dominants). Deux grands types de distribution diamétrique sont couramment distingués (Rollet, 1984; Dupuy *et al.*, 1997): les distributions de type exponentielle décroissante pour les essences sciaphiles et les distributions en « cloche » pour les essences héliophiles. Un troisième type de distribution a également été signalé pour les essences héliophiles. Il s'agit de la distribution « erratique » (Rollet, 1984) qui n'obéit ni à la distribution exponentielle ni à celle en « cloche ».

Les quatre peuplements de *Haematostaphis barteri* étudiés ont montré une distribution diamétrique similaire, avec une assymétrie à droite ($1 < C < 3,6$), suggérant la prédominance d'individus de faible diamètre. Cependant, cela ne saurait être interprété comme un bon état de conservation spécifique des peuplements de l'espèce, bien au contraire. Elle serait probablement liée à la physiologie de l'espèce, qui, est un arbuste (2 à 6 m) dont le diamètre dépasse rarement 35 cm (Arbonnier, 2002 ; Agbogon *et al.*, 2012), mais aussi à sa perturbation ou sa vulnérabilité à certains stades de son développement (Ouédraogo *et al.*, 2006). Cette perturbation des populations de *Haematostaphis barteri* est corroborée par l'allure en cloche des distributions diamétriques obtenues, et soutenue par une relative abondance des rejets de souches et une quasi-absence de semis et de brins francs notés sur le terrain. D'autres études ont aussi révélé des allures régressives de populations vieillissantes de *Sclérocarya birrea* au Bénin (Gouwakinnou *et al.*, 2009), de *Lannea microcarpa* au Burkina Faso (Ky *et al.*, 2009 ;

Thiombiano *et al.*, 2010), et de *Hematostaphis. barteri* sur la chaîne de l'Atakora au Togo (Agbogon *et al.*, 2012). La mauvaise régénération de l'espèce peut d'une part s'expliquer par la prédation de ses graines par des rongeurs et d'autre part par les téguments épais et très durs de la graine qui retardent sa germination (Agbogon *et al.*, 2014). Cependant, quelques graines germent sous les rebords de rochers ou dans leurs fissures. Les excavations effectuées délicatement autour de quelques plantules ont montré qu'elles proviennent toutes de rejets souterrains émanant de tubercules ligneux (collet et pivot) d'anciens semis. Cette capacité de multiplication végétative de l'espèce a été aussi observée au Togo (Agbogon *et al.*, 2012) et pourrait expliquer en partie le maintien de l'espèce malgré ses réelles difficultés de régénération naturelle.

En ce qui concerne la distribution en hauteur des arbres, elle présente globalement une forme gaussienne qui peut être asymétrique selon les conditions de vie du peuplement. Quant à la structure en hauteur de *Haematostaphis barteri*, l'ensemble des peuplements étudiés ont présenté une allure en cloche d'une distribution à dissymétrie gauche, caractéristique des peuplements avec prédominances d'individus de faibles hauteurs.

4.4.3 Production de fruits par les peuplements de *Haematostaphis barteri*

Même si, le nombre moyen de fruits par arbre n'a pas varié significativement d'une unité géomorphologique à l'autre, les arbres de *Haematostaphis barteri* des plateaux qui sont significativement moins gros et hauts par rapport aux arbres des autres peuplements, ont été les plus productifs en terme de nombre de fruits (7879 fruits par arbre). Par contre, les moins productifs ont été les arbres de *Haematostaphis barteri* des hauts versants et sommets de collines (2325 fruits par arbre) qui sont pourtant significativement plus gros et plus hauts que les autres. Cela suggère que la géomorphologie n'influencerait pas significativement la production de *Haematostaphis barteri* en termes de nombre de fruits moyen par arbre. Ces résultats obtenus sont nettement plus élevés que ceux obtenus au Burkina-Faso par Niéyidouba *et al.* (2007) et Bayala *et al.* (2008) sur *Vitellaria paradoxa* qui est aussi une espèce de savane. Cette différence peut être d'une part liée à la physiologie des espèces et d'autre part à la méthode de quantification. En effet, la méthode utilisée pour la quantification de la production de fruits de *Haematostaphis barteri* est basée sur un échantillonnage aléatoire de principales branches (Shields, 1992) alors que celle utilisée par Niéyidouba *et al.* (2007) est basée sur un comptage systématique des fruits de chaque arbre.

4.5 Conclusion partielle

L'étude a montré que la géomorphologie des sites a une influence significative sur le diamètre, la hauteur totale et le houppier des individus de *Haematostaphis barteri*. Le peuplement des hauts versants et sommets de colline ont présenté une densité relativement plus élevée avec des individus de *Haematostaphis barteri* les plus gros, les plus hauts et ayant un houppier plus développé. Par contre, les pieds mâles et femelles ont présenté globalement les mêmes caractéristiques dendrométriques. Les individus de *Haematostaphis barteri* de toutes les unités géomorphologiques étudiées ont révélé des structures diamétriques en cloche, caractéristique des peuplements vieillissants et ayant des difficultés de régénération naturelle. Ceci montre une précarité de l'état de ces peuplements dans tous les sites. Toutefois, les hauts versants et sommets de colline apparaissent comme l'habitat privilégié de *Haematostaphis barteri*.

Le rendement moyen de fruits par arbre n'a pas montré une différence significative entre les différents peuplements de *Haematostaphis barteri*. Cependant le peuplement des plateaux est le plus productif en termes de nombre moyen de fruits par arbre.

Dans une perspective de conservation et de domestication de *Haematostaphis barteri*, des investigations méritent d'être poursuivies notamment sur les plans de la variabilité morphologique des fruits et de la caractérisation génétique moléculaire de l'espèce.

CHAPITRE 5

CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE LA PRUNE ROUGE (*HAEMATOSTAPHIS BARTERI HOOK. F.*) AU NORD OUEST DU BENIN.

Soumis pour publication dans '*Fruits*' suivant la référence: Sourou B.N., Ouinsavi C., Nestor Sokpon N (2017). **Morphological variability of the endemic Blood plum (*Haematostaphis barteri Hook. F.*) in the North West Benin.**

Chapitre 5 : Caractérisation morphologique de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook F) au Nord-Ouest du Bénin

5.1 Introduction

L'amélioration des ressources phytogénétiques est perçue comme étant une solution immédiate aux problèmes liés aux conditions d'existence des paysans vivant en milieux ruraux, surtout lorsqu'il s'agit d'arbres fruitiers sauvages locaux. Ces derniers ont des traits morphologiques qui sont le résultat de leur adaptation aux conditions environnementales, et jouent un double rôle : support de la subsistance des populations locales et conservation de la biodiversité (World Agroforestry Centre, 2008). Une meilleure connaissance des arbres fruitiers locaux renforcerait leur production sur des espaces cultivables et, par conséquent, améliorerait les conditions de vie des paysans, tout en assurant une stabilité environnementale. Au Bénin il existe une multitude d'arbres fruitiers sauvages comestibles parmi lesquels *Haematostaphis barteri*.

Haematostaphis barteri est un arbuste dont la circonférence du tronc dépasse rarement 65 cm. C'est une espèce dioïque dont les pieds femelles portent des fruits contenant une pulpe comestible (Arbonnier, 2005). Les principaux organes de l'arbre jouent un rôle dans l'alimentation humaine, dans la médecine traditionnelle et même dans l'économie locale (Sourou *et al.*, 2016b).

La mise en place d'une stratégie de gestion durable et de conservation des arbres ne peut se faire sans une meilleure connaissance de l'espèce sur les plans morphologique, biochimique et génétique afin de différencier les individus (Houëtchégnon, 2016). De nombreuses études scientifiques ont été menées sur la variabilité morphologique de plusieurs espèces ligneuses qui présentent un intérêt pour les populations. On peut citer entre autres les travaux de Atangana *et al.* (2001) sur *Irvingia gabonensis*, Kouyaté (2005) sur *Detarium microcarpum*, Sanou *et al.* (2006) sur *Vitellaria paradoxa*, Gouwakinnou (2011) sur *Sclerocaria birrea*, Fandohan *et al.* (2011) sur *Tamarindus indica*, Abasse *et al.* (2011) sur *Balanites aegyptiaca*, Ammari *et al.* (2016) sur *Celtis australis*. Les études réalisées à ce jour dans la sous-région sur *Haematostaphis barteri* n'ont pas porté sur la variabilité phénotypique. Cette étude constitue donc la première tentative dans ce domaine sur les populations de *Haematostaphis barteri* au Bénin. L'étude morphologique est pourtant nécessaire pour l'ensemble des activités d'amélioration génétique et de sélection variétale des plantes, car elle permet d'étudier les descripteurs morphologiques intéressants et d'identifier parmi eux ceux qui seraient liés aux facteurs environnementaux (Zhang, 2012). Tout processus de domestication débute par l'exploitation de la variabilité naturelle existante en sélectionnant, avec l'aide des populations,

les sujets aux phénotypes les plus intéressants pour les critères considérés, (Soloviev *et al.*, 2004).

Le présent travail a pour objectif principale d'étudier la variabilité morphologique de *Haematostaphis barteri* au Bénin. Spécifiquement, il sera question (i) d'analyser les caractéristiques morphologiques des organes de *Haematostaphis barteri*, (ii) d'analyser l'influence de la provenance et de la géomorphologie sur les caractères morphologiques de *Haematostaphis barteri*, (iii) de caractériser les morphotypes de *Haematostaphis barteri*.

5.2 Matériels et méthodes

5.2.1 Echantillonnage et collecte de données

L'étude de la variabilité morphologique de *Haematostaphis barteri* a été effectuée à partir d'arbres de huit Provenances réparties dans trois communes du nord-ouest du département de l'Atacora et appartenant à une même zone agro-écologique (Figure 6.1). Dans cette étude, tous les individus de *Haematostaphis barteri* d'une même localité ont été considérés comme étant une provenance. L'échantillonnage de ces provenances a tenu compte de la géomorphologie des sites, à savoir : hauts versants et sommets de colline, mi-versants de colline, bas-versant de colline et plateau, (Tableau 6.1).

Dans l'ensemble des huit provenances, 99 arbres de *Haematostaphis barteri* organisés en grappes ont été échantillonnés en fonction de leur accessibilité et de la présence de fruits. Une grappe correspond dans cette étude à l'ensemble des géniteurs femelles autour d'un géniteur mâle (Figure 6.2). Les grappes ont été distantes d'au moins 100 m les unes des autres à l'intérieur d'une provenance et les pieds femelles de *Haematostaphis barteri* échantillonnés ont été numérotés et repérés par de petites plaques métalliques, puis géo-référencés.

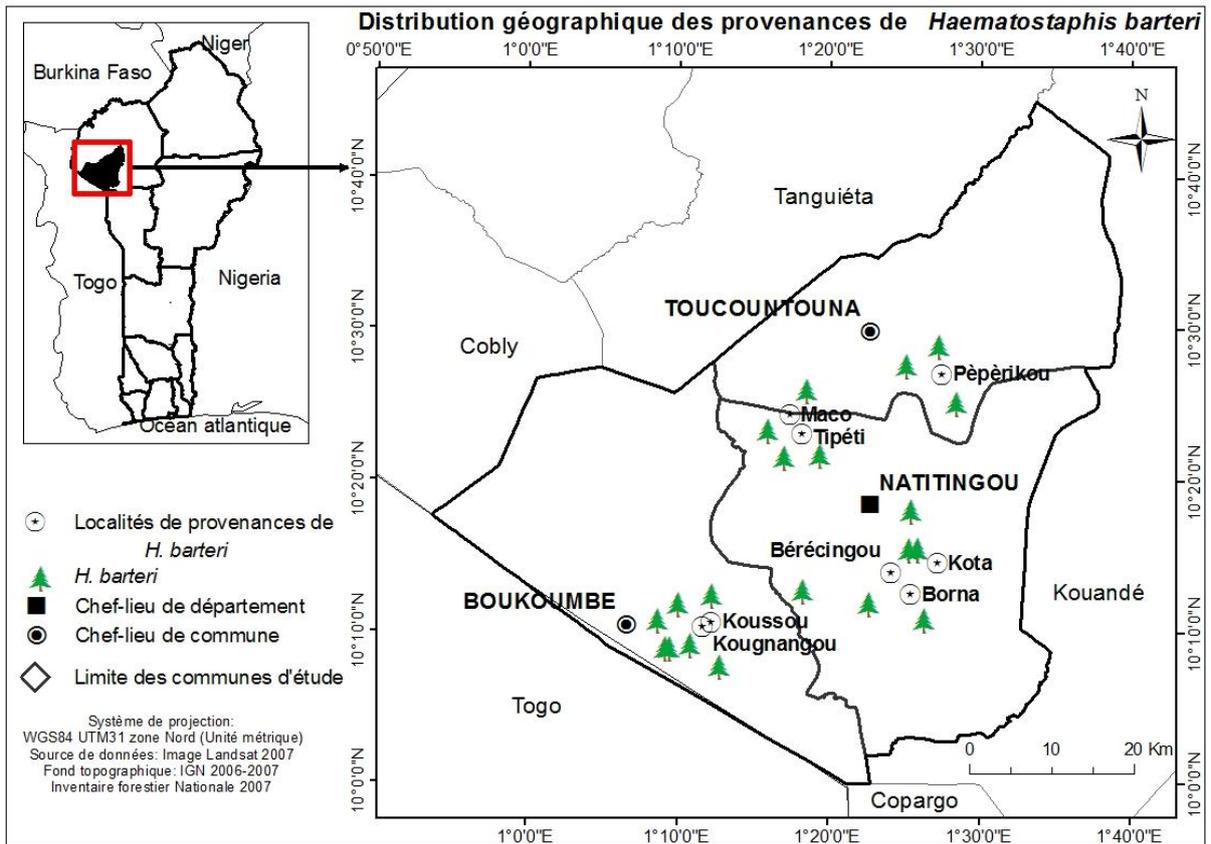


Figure 5.1: Distribution géographique des provenances de *Haematostaphis barteri* du milieu d'étude.

(Source : Sourou, 2017)

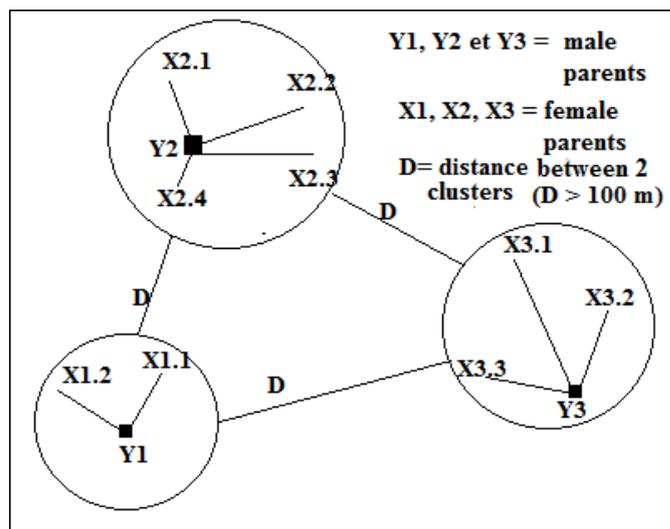


Figure 5.2: Schéma de la constitution des grappes de *Haematostaphis barteri* échantillonnés.

Tableau 5.1: Caractéristiques agro-écologiques des huit localités du Bénin dans lesquelles ont été collectés les fruits et les feuilles de *Haematostaphis barteri*.

Provenances	Echantillon	Géomorphologie des sites	Type de sols	Latitude N	Longitude E	Altitude (m)
Bérécingou	9		Brun jaunâtre rouge, ferrugineux tropicaux peu profonds, appauvris et concrétions assis sur du quartzite.	325001	1131580	420
Borna	9	Haut versant et sommet	Brun jaunâtre rouge, ferrugineux tropicaux peu profonds, appauvris et concrétions assis sur du quartzite.	327459	1128855	449
Koussou	19		Brun rougeâtre olive, ferrugineux tropicaux, concrétions et hydromorphes en profondeur.	303351	1125524	570
Maco	13		Rouge, peu profond, ferrugineux, appauvris et concrétions assis, sur du quartzite.	312846	1150766	525
Tipéti	22	Mi-versant	Brun jaunâtre rouge, ferrugineux tropicaux peu profonds, appauvris et concrétions assis sur du quartzite.	314273	1148413	540
Koungangou	9	Bas-versant	Brun rougeâtre olive, ferrugineux tropicaux, concrétions et hydromorphes en profondeur.	302226	1124998	370
Kota	4		Brun jaunâtre rouge, ferrugineux tropicaux peu profonds, appauvris et concrétions assis sur du quartzite.	330699	1132664	580
Pèpèrikou	14	Plateau	Rouge, peu profond, ferrugineux, appauvris et concrétions assis, sur du quartzite.	331253	1155680	506

Pour cette étude, 11 descripteurs morphologiques des panicules, des fruits et des feuilles ont été retenus.

La description morphologique des panicules a été réalisée directement sur le terrain et a porté sur la longueur de la panicule et le nombre de fruits par panicule. La longueur de la panicule a été mesurée du point d'attache au rameau jusqu'à l'extrémité du dernier fruit grâce à une règle graduée avec une précision de 0,1 cm. Au total 15 panicules ont été choisies au hasard par arbre soit 1485 panicules pour l'ensemble du milieu d'étude.

La description morphologique des fruits a été réalisée vingt-quatre heures après chaque récolte au laboratoire des Sciences de la Vie et de la terre de l'Ecole Normale Supérieure de Natitingou. Par arbre échantillonné 15 fruits ont été choisis au hasard soit un total 1485 fruits pour l'ensemble de la zone d'étude. La description a concerné la longueur et la largeur du fruit, son poids frais, le poids de la peau (péricarpe) et celui du noyau (endocarpe + amande). La longueur du fruit a été mesurée du point d'attache du pédoncule jusqu'à l'extrémité du fruit. La largeur du fruit a été évaluée au milieu de la longueur du fruit suivant deux directions perpendiculaires et la valeur moyenne a été retenue. La mesure de la longueur et de la largeur du fruit a été opérée à l'aide d'un pied à coulisse électronique d'une précision de 0,01 cm. Le poids frais du fruit a été déterminé par pesée. Le péricarpe du fruit a été délicatement prélevé et pesé. Le reste du fruit (pulpe + noyau) a été emballé solidement dans un linge épais pour éliminer la pulpe (Gouwakinnou *et al.* 2011b). Le noyau obtenu à l'issue de cette opération a été séché à l'air ambiant durant quatre heures puis pesé. Les pesées ont été réalisées avec un peson électronique d'une précision de 0,01 g. La masse de la pulpe a été déterminée selon la formule :

$$\mathbf{M(pulpe) = M(fruit) - [M(peau) + M(noyau)]} \quad (1)$$

Avec : M (pulpe) = la masse de la pulpe du fruit

M (fruit) = la masse du fruit entier frais

M (peau) = la masse du péricarpe du fruit

M (noyau) = la masse du noyau du fruit,

Dix (10) feuilles par arbre ont été récoltées en mai 2015, soit un total de 990 feuilles sur le même échantillon d'arbres et ont été conditionnées dans des sacs en plastique jusqu'à la mesure de leurs dimensions environ 4 h après. Cinq (05) folioles dont aussi bien les plus grandes que les moins grandes, ont été prélevées par feuille, soit 50 folioles par arbre et 4950 folioles pour l'ensemble des arbres échantillonnés. La description morphologique a concerné la longueur de la feuille, la longueur du pétiole, le nombre de folioles par feuille, la longueur et la largeur des folioles. La longueur de la feuille a été mesurée du point d'attache du pétiole

au rameau jusqu'à l'extrémité de la foliole terminale, la longueur du pétiole est mesurée du point d'attache du pétiole au rameau jusqu'à la première foliole. La longueur de la foliole a été évaluée du point d'attache de la pétiolule à la nervure principale jusqu'à l'extrémité de la foliole. La largeur de la foliole a été mesurée au milieu de la longueur de la foliole. Toutes ces mesures ont été faites à l'aide d'une règle graduée avec une précision de 0,1cm.

5.2.2 Traitement statistique des données

Les données morphologiques de *Haematostaphis barteri* collectées ont été enregistrées par provenance et suivant leur géomorphologie dans le tableur excel. Elles ont été ensuite soumises à une analyse de variance et à la classification hiérarchique ascendante de Ward (distances euclidienne sur les moyennes des caractères étudiés) à l'aide du logiciel R, version 2.15.3. La comparaison des moyennes a été faite à l'aide du test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%. La variabilité entre les descripteurs morphologiques a été évaluée par le coefficient de variation. La classification de la variabilité à l'intérieur et entre les provenances d'une part, à l'intérieur et entre la géomorphologie des sites d'autre part a été faite en utilisant une échelle proposée et testée sur la bio-systématique des provenances ouest-africaines de *Parkia biglobosa* (Ouédraogo, 1995) puis utilisée avec succès par Kouyaté *et al.* (2011) et Dadégnon *et al.* (2014): variation faible (CV = 0-10%) ; variation moyenne (CV = 10-15%) ; variation assez-importante (CV = 15-44%) ; variation importante (CV > 44%).

5.3 Résultats

5.3.1 Caractéristiques morphologiques des organes de *Haematostaphis barteri*

Les différents descripteurs choisis sont basés sur des paramètres quantitatifs. Les tableaux 5.2 et 5.3 présentent respectivement les variations de onze (11) descripteurs morphologiques des panicules, des fruits et des feuilles de *Haematostaphis barteri* par provenance et la variation des mêmes descripteurs suivant la géomorphologie des sites.

5.3.1.1 Panicules

La longueur des panicules varie de 6 à 71 cm avec une moyenne de 29,42 ($\pm 0,25$) cm. Le nombre de fruits par panicule est compris entre 2 et 130 fruits avec une moyenne d'environ 21 ($\pm 0,36$) fruits.

La variabilité intra-provenance pour la longueur des panicules a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) dans toutes les provenances alors qu'elle a été importante ($CV > 44\%$) pour le nombre de fruits par panicule dans toutes les provenances.

La variabilité intra-géomorphologie pour la longueur des panicules a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) quelle que soit la géomorphologie des sites alors qu'elle a été

importante ($CV > 44\%$) pour le nombre de fruits par panicule quelle que soit la géomorphologie des sites.

Les variabilités inter-provenance et inter-géomorphologie ont été assez importantes ($15 < CV < 44\%$) pour la longueur des panicules mais importantes ($CV > 44\%$) pour le nombre de fruits par panicule.

6.3.1.2 Fruits

La longueur des fruits de *Haematostaphis barteri* varie de 20,40 à 36,90 mm avec une moyenne de 27,49 ($\pm 0,06$) mm et la largeur varie de 18,25 à 32,25 mm avec une moyenne de 24,43 ($\pm 0,5$) mm. La masse du fruit entier frais varie de 4,33 à 20,93 g avec une moyenne de 9,82 ($\pm 0,05$) g. La masse de la pulpe de fruit varie de 0,96 à 14,45 g avec une moyenne de 5,79 ($\pm 0,04$) g.

La variabilité intra-provenance de la longueur et de la largeur des fruits a été moyenne ($10\% < CV < 15\%$) à Bérécingou et faible ($0\% < CV < 10\%$) dans toutes les autres provenances. La variabilité intra-provenance de la masse du fruit entier frais a été moyenne ($10\% < CV < 15\%$) à Borna et Kota mais assez importante ($15\% < CV < 44\%$) dans les autres provenances alors qu'elle a été assez importante pour la masse de la pulpe dans toutes les provenances.

La variabilité intra-géomorphologie a été faible ($0\% < CV < 10\%$) pour la longueur et la largeur des fruits quelle que soit la géomorphologie des sites. Par contre la variabilité intra-géomorphologie pour la masse du fruit entier frais et la masse de la pulpe a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) quelle que soit la géomorphologie des sites.

La variabilité inter-provenance et inter-géomorphologie a été faible ($0\% < CV < 10\%$) pour la longueur et la largeur du fruit mais assez importante ($15 < CV < 44\%$) pour la masse du fruit entier frais et pour la masse de la pulpe.

Tableau 5.2: Descripteurs morphologiques des panicules, fruits et feuilles de *Haematostaphis barteri* étudiés par provenance

Provenance	Paramètres	Lpan (cm)	Nfruit	Lfruit (mm)	Lafruit (mm)	MFruit (g)	Mpulpe (g)	Lfeuille (cm)	Lpétiole (cm)	Nfoliole	Lfoliole (cm)	Lafoliole (cm)
Bérécingou	Moy	22,47 e	14,26 c	28,80 a	25,59 a	11,23 a	6,87 a	36,61 abc	7,97 ab	19,47 bc	7,98 a	2,81 c
	SE	0,57	0,87	0,25	0,24	0,27	0,22	0,64	0,17	0,2	0,16	0,08
	CV(%)	29,48	70,66	10,23	10,77	27,57	36,53	15,51	19,77	9,39	39,78	18,71
Borná	Moy	24,05 e	12,50 c	28,10 b	25,27 a	10,21 b	6,28 b	35,22 cd	8,08 ab	20,24 ab	7,27 c	2,94 b
	SE	0,66	0,59	0,11	0,12	0,13	0,1	0,51	0,18	0,3	0,04	0,07
	CV(%)	31,70	54,51	4,74	5,66	14,87	17,99	15,48	21,15	14,65	12,94	50,61
Kota	Moy	35,28 a	20,33 b	27,05 c	24,22 c	10,59 b	6,05 bc	37,45 a	8,21 ab	20,38 a	7,60 b	2,92 b
	SE	1,4	1,43	0,2	0,21	0,18	0,14	0,9	0,35	0,41	0,09	0,03
	CV(%)	30,83	54,52	5,72	6,86	13,20	17,65	13,98	24,68	14,18	15,84	16,90
Tipéti	Moy	32,15 b	26,64 a	27,13 c	23,95 c	9,50 c	5,67 cd	35,62 bcd	8,34 a	18,81 c	7,29 c	2,96 b
	SE	0,5	0,87	0,01	0,1	0,09	0,22	0,24	0,09	0,11	0,03	0,002
	CV(%)	28,23	59,52	6,57	6,82	16,98	20,22	10,03	17,14	10,63	13,65	20,98
Kougnagou	Moy	26,14 d	15,21 c	26,92 c	24,13 c	9,27 c	5,40 de	37,11 ab	8,34 a	18,9 c	7,15 c	2,90 b
	SE	0,68	0,76	0,18	0,15	0,17	0,01	0,43	0,13	0,2	0,05	0,03
	CV(%)	30,29	57,74	7,88	7,00	20,83	31,32	11,43	22,17	9,67	13,43	19,56
Koussou	Moy	28,46 c	18,27 b	28,09 b	24,86 b	10,21 b	5,92 bc	36,77 abc	7,93 ab	19,63 ab	7,19 c	2,63 d
	SE	0,58	0,69	0,13	0,1	0,12	0,1	0,28	0,13	0,15	0,03	0,14
	CV(%)	34,39	63,30	7,88	6,69	20,06	29,92	11,69	22,95	11,02	13,72	16,96
Maco	Moy	32,45 b	27,38 a	27,12 c	24,09 c	9,46 c	5,59 cd	34,24 d	7,94 ab	19,76 ab	6,67 d	2,74 c
	SE	0,75	1,35	0,14	0,12	0,13	0,11	0,33	0,14	0,19	0,04	0,03
	CV(%)	32,40	68,90	7,25	6,76	18,97	27,68	10,95	18,01	10,31	16,45	23,50
Pèpèrikou	Moy	31,94 b	20,25 b	26,81 c	23,86 c	9,15 c	5,13 e	36,12 abc	7,60 b	18,77 c	8,09 a	3,09 a
	SE	0,54	0,62	0,15	0,12	0,14	0,11	0,34	0,1	0,17	0,04	0,02
	CV(%)	24,41	44,32	7,84	7,28	22,01	30,19	10,45	18,63	10,07	13,51	13,27
Probabilité (P)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0025	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Minimum Général		06,00	02,00	20,40	18,25	04,33	0,96	21,50	02,00	10,00	3,00	01,20
Moyenne Générale		29,42	20,52	27,49	24,43	9,83	5,79	35,98	8,08	19,00	7,34	2,86
Maximum Général		71,00	130,0	36,90	32,25	20,93	14,45	57,00	14,20	31,00	12,00	05,60
Erreur-type Générale		0,25	0,36	0,06	0,05	0,05	0,04	0,12	0,05	0,06	0,02	0,008
CV Général (%)		32,70	67,50	7,83	7,63	20,95	28,65	12,25	20,42	11,04	15,39	19,69

Moy: moyenne ; Lpan : longueur panicule ; Nfruit: fruit par panicule ; Lfruit : longueur fruit ; Lafruit : largeur fruit ; Mfruit : masse fruit ; Mpulpe : masse pulpe ; Lfeuille : longueur feuille ; Lpétiole : longueur pétiole ; Nfoliole : nombre de foliole par feuille ; Lfoliole : longueur foliole ; Lafoliole : largeur foliole ; Moy : moyenne ; se : erreur standard ; CV : coefficient de variation.

Tableau 5.3: Descripteurs morphologiques des panicules, fruits et feuilles de *Haematostaphis barteri* étudiés suivant la géomorphologie.

Géomorphologie	Paramètres	Lpan (cm)	Nfruit	Lfruit (mm)	Lafruit (mm)	Mfruit (g)	Mpulpe (g)	Lfeuille (cm)	Lpétiole (cm)	Nfoliole	Lfoliole (cm)	Lafoliole (cm)
Haut versant et sommet	Moy	25,93 b	15,89 c	28,27 a	25,14 a	10,46 a	6,24 a	36,30 a	7,89 b	19,81 a	7,35 b	2,73 c
	SE	0,38	0,55	0,09	0,08	0,09	0,07	0,22	0,08	0,19	0,03	0,01
	CV (%)	34,67	66,21	8,01	7,80	21,84	30,39	14,02	21,76	12,14	14,81	18,49
Mi-versant	Moy	32,27 a	26,91 a	27,12 b	24,00 b	9,48 b	5,64 b	34,94 b	8,20 ab	19,13 b	7,06 c	2,88 ab
	SE	0,39	0,56	0,09	0,08	0,09	0,07	0,21	0,08	0,10	0,03	0,01
	CV (%)	29,84	63,25	6,83	6,80	17,72	23,19	10,60	17,64	9,79	15,25	22,19
Bas-versant	Moy	26,14 b	15,21 c	26,92 b	24,13 b	9,27 b	5,40 b	36,73 a	8,47 a	19,21 b	7,15 c	2,90 ab
	SE	0,78	1,11	0,18	0,15	0,17	0,14	0,38	0,14	0,19	0,05	0,03
	CV (%)	30,29	57,74	7,88	7,00	20,83	31,32	11,43	22,17	9,67	13,43	19,56
Plateau	Moy	32,68 a	20,27 b	26,86 b	23,94 b	9,47 b	5,34 b	36,72 a	7,98 b	18,99 b	7,98 a	3,06 a
	SE	0,55	0,79	0,13	0,11	0,12	0,1	0,24	0,09	0,12	0,04	0,02
	CV (%)	26,52	46,68	7,42	7,20	20,96	28,19	11,47	21,21	11,18	14,24	14,27
	Probabilité	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Minimum Général	06,00	02,00	20,40	18,25	04,33	0,96	21,50	02,00	10,00	3,00	01,20
	Moyenne Générale	29,42	20,52	27,49	24,43	9,83	5,79	35,98	8,08	19,00	7,34	2,86
	Maximum Général	71,00	130,0	36,9	32,25	20,93	14,45	57,00	14,20	31,00	12,00	05,60
	Erreur-type Générale	0,25	0,36	0,06	0,05	0,05	0,04	0,12	0,05	0,06	0,02	0,01
	CV Général (%)	32,70	67,50	7,83	7,63	20,95	28,65	12,25	20,42	11,04	15,39	19,69

Légende: Moy : moyenne ; SP : Provenance ; Lpan : longueur panicule ; Nfruit : fruit par panicule ; Lfruit : longueur fruit ; Lafruit : largeur fruit ; Mfruit : masse fruit ; Mpulpe : masse Pulpe ; Lfeuille : longueur feuille ; Lpétiole : longueur pétiole ; Nfoliole : nombre de foliole par feuille ; Lfoliole : longueur foliole ; Lafoliole : largeur foliole ; Moy : moyenne ; SE : erreur standard ; CV : coefficient de variation.

5.3.1.3 Feuilles

La longueur des feuilles est comprise entre 21,50 et 57 cm avec une moyenne de 35,98 ($\pm 0,12$) cm. La longueur du pétiole varie de 2 à 14,20 cm avec une moyenne de 8,08 ($\pm 0,05$) cm, quant au nombre de folioles par feuille, il est compris entre 10 et 31 avec une moyenne de 19 ($\pm 0,06$) folioles.

La variabilité intra-provenance de la longueur des feuilles a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) à Bérécingou et Borna mais moyenne ($10\% < CV < 15\%$) dans les autres provenances alors qu'elle a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) pour la longueur du pétiole dans toutes les provenances. Pour le nombre de folioles par feuille, la variabilité intra-provenance a été faible ($0\% < CV < 10\%$) à Bérécingou et Koungangou mais moyenne ($10\% < CV < 15\%$) dans les autres provenances.

La variabilité intra-géomorphologie pour la longueur des feuilles et le nombre de folioles par feuille a été moyenne ($10\% < CV < 15\%$) quelle que soit la géomorphologie des sites alors qu'elle a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) pour la longueur du pétiole quelle que soit la géomorphologie des sites.

La variabilité inter-provenance et inter-géomorphologie a été moyenne ($10\% < CV < 15\%$) pour la longueur de la feuille et pour le nombre de folioles par feuille mais assez importantes ($15 < CV < 44\%$) pour la longueur du pétiole.

5.3.1.4 Folioles

La longueur des folioles varie de 3 à 12 cm avec une moyenne de 7,34 ($\pm 0,02$) cm alors que la largeur des folioles varie de 1,2 à 5,6 cm avec une moyenne de 2,86 ($\pm 0,008$) cm.

La variabilité intra-provenance pour la longueur des folioles a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) à Bérécingou, Kota et Maco mais moyenne ($10\% < CV < 15\%$) dans les autres provenances. Par contre, la variabilité intra-provenance de la largeur des folioles a été moyenne ($10\% < CV < 15\%$) à Pèpèrikou et assez importante ($15 < CV < 44\%$) dans les autres provenances.

La variabilité intra-géomorphologie de la longueur des folioles a été moyenne ($10\% < CV < 15\%$) au niveau des hauts versants et sommets, des plateaux et des bas-versants de colline mais assez importante ($15 < CV < 44\%$) au niveau des mi-versants de colline. Par contre pour la largeur des folioles, la variabilité intra-géomorphologie a été moyenne au niveau des plateaux et assez importante ($15 < CV < 44\%$) au niveau des autres unités géomorphologiques.

La variabilité inter-provenance et inter-géomorphologie a été assez importante ($15 < CV < 44\%$) pour la longueur et la largeur des folioles.

5.3.2 Variation des provenances et influence de la géomorphologie sur *Haematostaphis barteri*

La longueur des panicules et le nombre de fruits par panicule ont montré des différences hautement significatives entre les provenances au seuil de 0,1% ($P < 0,001$) suivant le test de Student-Newman-Keuls (Tableau 5.2). Les panicules les plus longues (35,28 cm) ont été notées à Kota et les plus courtes (22,47 cm) à Bérécingou. Les panicules portant le plus grand nombre de fruits (27 fruits) ont été rencontrées à Maco et celles présentant les panicules ayant le plus faible nombre de fruits (13 fruits) à Borna.

Les descripteurs morphologiques qui discriminent le mieux les panicules en fonction de leurs provenances sont la longueur des panicules et le nombre de fruits qu'elles portent.

La longueur et la largeur des fruits, la masse des fruits entiers frais ainsi que celle de leur pulpe ont révélé des différences hautement significatives en fonction des provenances au seuil de 0,1% ($P < 0,001$) suivant le test de -Newman-Keuls (Tableau 5.2). Les plus gros fruits (28,8 mm de long et 25,59 mm de large) et ayant le poids frais le plus élevé (11,23 g) avec une importante masse de la pulpe (6,87 g) ont été distingués à Bérécingou. Par contre, les plus petits fruits (26,81 mm de long et 23,86 mm de large) ayant le poids frais le plus faible (9,15 g) avec la masse de la pulpe la moins importante (5,13 g) ont été notés à Pèpèrikou.

Les descripteurs morphologiques qui discriminent le mieux les fruits en fonction de leurs provenances sont la longueur et la largeur, ainsi que la masse du fruit entier et celle de la pulpe.

L'analyse de la variance a mis en évidence des différences hautement significatives au seuil de 0,1% ($P < 0,001$) entre les provenances pour tous les descripteurs morphologiques des feuilles étudiés (Tableau 5.2). Les feuilles les plus longues (37,45 cm) ont été observées à Kota, et les feuilles à long pétiole (8,34 cm) ont été enregistrées à Tipéti alors que les feuilles les plus courtes (34,24 cm) ont été notées à Maco et les feuilles à courts pétioles (7,60 cm) ont été notées à Pèpèrikou. Les feuilles constituées des plus grandes folioles (8,09 cm de long et 3,09 cm de large) ont été distinguées à Pèpèrikou, alors que les folioles les moins longues (6,67 cm) et les moins larges (2,63 cm) ont été observées respectivement à Maco et à Koussou.

Les descripteurs morphologiques qui discriminent le mieux les feuilles en fonction de leurs provenances sont leur longueur, la largeur et la longueur de leurs folioles, ainsi que de leur nombre.

L'analyse de la variance a mis en évidence des différences hautement significatives au seuil de 0,1% ($P < 0,001$) suivant la géomorphologie des sites pour tous les descripteurs

morphologiques des panicules, fruits et feuilles de *Haematostaphis barteri* étudiés (Tableau 5.3).

Les panicules les plus courtes (25,93 cm) et portant le plus faible nombre de fruits (16 fruits) ont été observées au niveau des Hauts versants et sommets des collines. Cependant, elles portent les plus gros fruits (28,27 mm de long et 25,14 mm de large), ayant la masse la plus élevée (10,46 g) avec une importante masse de la pulpe (6,24 g). Les plus longues panicules (32,68 cm) portant un nombre moyen de fruits (20 fruits) et, les feuilles les plus longues (36,72 cm) avec de grandes folioles (7,98 cm de long et 3,06 cm de large) ont été notées au niveau des plateaux avec cependant, de petits fruits (26,86 mm de long et 23,94 mm de large) avec une faible masse de pulpe (5,34 g).

5.3.3 Classification des Provenances suivant les caractéristiques étudiées

Le dendrogramme issu de la classification hiérarchique ascendante faite à partir des caractéristiques des panicules, des fruits et des feuilles de *Haematostaphis barteri* observés dans huit provenances différentes du Bénin a mis en évidence quatre morphotypes (Figure 5.3).

Un premier morphotype, constitué des provenances de Bérécingou et Borna dans la commune de Natitingou. Ce morphotype se caractérise par la production de gros fruits ayant un poids élevé (10,72 g) avec une masse de pulpe plus importante (6,58 g). Les panicules sont cependant courtes (23,26 cm) et portent un faible nombre de fruits (13 fruits), les feuilles portent en moyenne 20 folioles beaucoup plus longues (7,63 cm) et de largeur (2,88 cm) moyenne (Tableau 5.4). Ce morphotype a été nommé sous-population de Natitingou I.

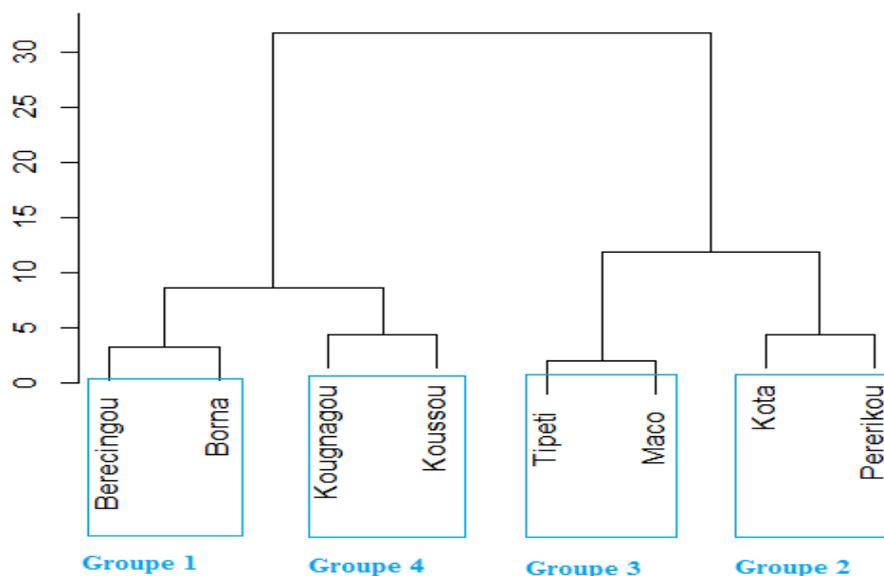


Figure 5.3: Classification hiérarchique ascendante de huit localités, effectuée à partir de l'étude de caractères morphologiques de la feuille et du fruit de *Haematostaphis barteri* échantillonnés au Bénin.

Un deuxième morphotype, représenté par les provenances Kota et Pèpèrikou. Les fruits des individus de ce morphotype sont de petite taille (26,93 cm de long et 24,04 cm de large), avec une faible quantité de pulpe (05,59 g). Les panicules sont assez longues (33,61 cm) mais portant un nombre moyen de fruits (20 fruits). Les feuilles sont de grande taille (36,78 cm) et constituées de 20 folioles aussi longues (7,85 cm) que larges (03 cm) (Tableau 5.4). Ce morphotype constitué d'un mélange de tous les individus de la commune de Toucountouna et ceux de Kota (commune de Natitingou), a été baptisé sous-population Mixte.

Un troisième morphotype, formé par les provenances Tipéti et Maco dans la commune de Natitingou. Les panicules sont ici de taille moyenne (32,3 cm) avec cependant un nombre très élevé de fruits (27 fruits), de petite taille avec une faible masse de la pulpe (5,6 g). Les feuilles de petite taille (34,93 cm) avec des folioles de taille moyenne (6,98 cm de long et 2,85 cm de large). Ce morphotype a été nommé sous-population Natitingou II.

Un quatrième morphotype, constitué des provenances de Koungangou et Koussou dans la commune de Boukombé. Les arbres de ce dernier morphotypes présentent des fruits de taille moyenne (27,51 mm de long et 24,5 mm de large) avec une masse de pulpe et du fruit entier moyenne. Les feuilles sont longues (36,94 cm) et composées de 19 folioles environs de taille aussi moyenne. Ce morphotype a été nommé sous-population de Boukombé.

En dehors du nombre de fruits par panicule et la longueur des panicules qui ont présentés une variabilité inter sous-populations assez importante ($15\% < CV < 44\%$), les autres descripteurs morphologiques des fruits et des feuilles ont révélés une faible variabilité ($0\% < CV < 10\%$) intra et inter sous-populations.

Tableau 5.4: Descripteurs morphologiques des panicules, fruits et feuilles des quatre morphotypes de *Haematostaphis barteri* identifiés.

Morphotypes	Paramètres	Lpan (cm)	Nfruit	Lfruit (mm)	Lafruit (mm)	Mfruit (g)	Mpulpe (g)	Lfeuille (cm)	Lpétiole (cm)	Nfoliole	Lfoliole (cm)	Lafoliole (cm)
I	Moy	23,26	13,38	28,45	25,43	10,72	6,58	35,92	8,03	19,86	7,63	2,88
	SE	0,79	0,88	0,35	0,16	0,51	0,295	0,695	0,055	0,385	0,355	0,065
	CV (%)	4,80	9,30	1,74	0,89	6,73	6,35	2,74	0,97	2,74	6,58	3,20
II	Moy	33,61	20,29	26,93	24,04	9,87	5,6	36,79	7,91	19,58	7,63	3,01
	SE	1,67	0,04	0,12	0,18	0,72	0,46	0,67	0,31	0,81	0,25	0,09
	CV (%)	7,03	0,28	0,63	1,06	10,32	11,64	2,56	5,46	5,82	4,42	4,00
III	Moy	32,3	27,01	27,13	24,02	9,48	5,63	34,93	8,14	19,29	6,98	2,85
	SE	0,15	0,37	0,01	0,07	0,02	0,04	0,69	0,20	0,48	0,31	0,11
	CV (%)	0,66	1,94	0,03	0,41	0,30	1,00	2,79	3,47	3,48	6,28	5,46
IV	Moy	27,3	16,74	27,51	24,5	9,74	5,66	36,94	8,14	19,27	7,17	2,77
	SE	1,16	1,53	0,59	0,37	0,47	0,26	0,17	0,21	0,37	0,02	0,14
	CV (%)	6,01	12,93	3,01	2,11	6,82	6,50	0,65	3,56	2,68	0,39	6,90
Moyenne Générale		29,12	19,36	27,50	24,50	9,95	5,86	36,14	8,05	19,50	7,41	2,87
Erreur Standard Générale		1,61	1,94	0,26	0,23	0,26	0,19	0,38	0,09	0,22	0,16	0,05
CV (%) Général		15,65	28,33	2,64	2,68	7,33	9,32	2,96	3,08	3,23	6,29	4,97

Moy : moyenne ; Lpan : longueur panicule ; Nfruit : fruit par panicule ; Lfruit : longueur fruit ; Lafruit : largeur fruit ; Mfruit : masse fruit ; Mpulpe : masse pulpe ; Lfeuille : longueur feuille ; Lpétiole : longueur pétiole ; Nfoliole : nombre de foliole par feuille ; Lfoliole : longueur foliole ; Lafoliole : largeur foliole ; Moy : moyenne ; SE : erreur standard ; CV : coefficient de variation.

5.4 Discussion

La caractérisation morphologique de *Haematostaphis barteri* effectuée au Bénin a révélé une variabilité au niveau des caractéristiques étudiées aussi bien en fonction de la provenance des arbres que suivant la géomorphologie des sites.

L'importante variabilité intra-provenance et intra-géomorphologie observée au niveau de certains caractères tels que la longueur de la panicule, le nombre de fruits par panicule et la masse de la pulpe pourrait être liée à des facteurs génotypiques. Cette justification trouve son fondement dans le fait qu'il existe une corrélation partielle entre les traits morphologiques quantitatifs et les données génétiques des individus de l'espèce (Pompelli *et al.*, 2012). A ce facteur principal, peuvent s'ajouter d'autres facteurs secondaires notamment les micro-variations des caractéristiques du sol (Jongschaap *et al.* 2007) et dans une certaine mesure, les effets anthropiques et les attaques parasitaires qui peuvent rendre la plante rabougrie (Gbèmavo, 2014).

La faible variabilité intra et inter sous-populations observée pour les descripteurs morphologiques des fruits (longueur et largeur des fruits) à l'exception de la masse des fruits et de la pulpe, pourrait être expliquée par la fécondation croisée (allogamie), étant donné que *Haematostaphis barteri* est une espèce dioïque. La variabilité de la masse des fruits et de la pulpe observée entre sous-populations est probablement due aux effets de l'environnement (Roach et Wulff, 1987 cités par Diallo, 2001 ; Kouyaté, 2005).

La caractérisation morphologique de *Haematostaphis barteri* effectuée au Bénin a montré une influence significative de la géomorphologie des sites sur les descripteurs morphologiques des panicules, des fruits et des feuilles étudiés à l'exception de la longueur des feuilles. Les arbres de *Haematostaphis barteri* échantillonnés au niveau des Hauts versants et sommets ont présenté les plus gros fruits, avec, cependant, des panicules moins longues et portant un faible nombre de fruits. Ce constat a été aussi fait au niveau des provenances Bérécingou et Borna dont la quasi-totalité des arbres de *Haematostaphis barteri* ont été échantillonnés sur les Hauts versants et sommets. Ceci pourrait s'expliquer par la faible action anthropique (feux de végétation, agriculture) au niveau de ce type de relief. Selon Agbogon *et al.* (2012) et Agbogon *et al.* (2015), le faible impact de l'emprise humaine sur la population de *Haematostaphis barteri* des flancs de l'Atacora au Togo s'explique par les positions topographiques que l'espèce occupe (principalement sur les enchevêtrements rocheux en altitude) ainsi que par l'éloignement des agglomérations contrairement à celle située sur les cuvettes qui font objet d'anthropisation croissante.

Concernant les quatre morphotypes (sous-populations) de *Haematostaphis barteri* obtenus par la classification hiérarchique ascendante de Ward, il est noté une faible variabilité intra et inter morphotypes (sous-populations) de la plupart des descripteurs morphologiques étudiés et plus particulièrement ceux du fruit et des feuilles indiquant que ces quatre groupes de *Haematostaphis barteri* sont donc assez proches phénotypiquement les uns des autres. Cela suggérerait une faible diversité génétique de l'espèce (Basha *et al.*, 2007 ; Kaushik *et al.*, 2007). Ces résultats concordent bien avec ceux obtenus par Dadégnon *et al.* (2014) sur les fruits de *Chrysophyllum albidum* au Bénin et Gbèmavo (2014) sur les fruits et les graines du *Jatropha curcas* mais, s'écartent des résultats obtenus Fandohan *et al.* (2010b) sur les fruits et les graines de *Tamarindus indica* L. ; Kouyaté *et al.* (2011) sur *Adansonia digitata* ; Abasse *et al.* (2010) sur les fruits de *Balanites aegyptiaca* et de Savi (2011) sur les fruits de *Blighia sapida* K. D. Koenig. Cette faible variabilité au niveau des fruits en particulier peut être aussi liée aux caractères phénotypiques mis en évidence dans l'étude. En effet, Pompelli *et al.* (2012) dans leurs travaux ont trouvé que la période de floraison, le type et le nombre d'inflorescence, la couleur et la texture des feuilles sont les traits quantitatifs qui contribuent beaucoup plus aux variations de la plante. Ces caractères ne sont pas considérés dans cette étude. A ces facteurs, peuvent s'ajouter de faibles influences de l'environnement et de l'interaction génotypique x environnement sur les caractères étudiés.

A travers ces résultats, pour une valorisation de la plante dans le but d'obtenir de meilleurs rendements de fruits et de la pulpe, il est nécessaire de procéder à une sélection à l'intérieur de la sous-population I de *Haematostaphis barteri* constituée des provenances Bérécingou et Borna où les fruits sont plus gros avec une importante masse de la pulpe. Etant la seule partie comestible du fruit au Bénin, la pulpe constitue donc un critère de choix variétal pour sa production et sa transformation.

5.5 Conclusion partielle

L'étude de la variabilité morphologique de *Haematostaphis barteri* réalisée au Bénin a montré que la provenance et la géomorphologie ont une influence significative sur les descripteurs morphologiques étudiés. Dans toutes les provenances et en fonction de la géomorphologie des sites, la variabilité observée a différencié selon les descripteurs. La variabilité la plus importante des panicules a été notée au niveau du nombre de fruits par panicule, alors que celles des fruits et des feuilles ont été observées respectivement au niveau de la masse de la pulpe et de la largeur des folioles.

Quatre morphotypes différents (sous-populations) ont été identifiés à partir des individus de *Haematostaphis barteri* de huit provenances, avec cependant une faible variabilité

($0 < CV < 10\%$) intra et inter sous-populations pour la plupart des descripteurs morphologiques étudiés ; indiquant donc que ces quatre sous-populations de *Haematostaphis barteri* sont assez proches phénotypiquement les uns des autres. Une telle variabilité suggèrerait une faible diversité génétique de *Haematostaphis barteri*.

L'évaluation de la variabilité morphologique constitue un maillon essentiel de la sélection variétale afin d'identifier des individus répondant aux intérêts des populations rurales et à la domestication. Dans le cadre de cette étude, les arbres de *Haematostaphis barteri* des provenances de Bérécingou et de Borna (morphotype I), qui ont présenté les meilleures caractéristiques par rapport à la taille des fruits et à la quantité de la pulpe pourraient être utilisés pour la sélection variétale au Bénin.

CHAPITRE 6 :
DIVERSITE GENETIQUE MOLECULAIRE DE LA PRUNE ROUGE
(*HAEMATOSTAPHIS BARTERI HOOK. F.*) AU BENIN

Sourou B.N., Adéoti Z., Djèdatin G. & Ouinsavi C. **Analyse de la diversité génétique moléculaire chez la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook. F) à l'aide des marqueurs RAPD.**

Article à soumettre

Chapitre 6 : Caractérisation génétique moléculaire de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook. F) au Bénin

6.1 Introduction

Haematostaphis barteri Hook. F (Anacardiaceae), communément appelé prune rouge est l'un des fruitiers dioïques, spontanés, de l'Afrique tropicale dont l'aire de distribution s'étend de la Côte d'Ivoire au Soudan. Au Bénin, les populations de *Haematostaphis barteri* sont exclusivement présentes sur la chaîne de l'Atacora, au Nord-Ouest du département de l'Atacora, mais restent cantonnées dans trois communes frontalières, à savoir: Natitingou, Boukombé et Toucountouna (Akoègninou *et al.*, 2006).

Haematostaphis barteri Hook. F est une espèce alimentaire mineure qui joue un rôle socio-économique important pour les populations locales du Nord-Bénin en raison de ses multiples fonctions (Sourou *et al.*, 2016b). En dépit de son importance, *Haematostaphis barteri* subit, à l'instar des autres espèces de la savane, de sérieuses menaces liées aux pressions anthropiques et aux aléas climatiques. Ceci se manifeste par le vieillissement de ses peuplements, caractérisés par une absence de régénération naturelle et une régression de la taille de ses populations (Agbogon, 2012 ; Arbonnier, 2002).

Cette situation préoccupante commande que des mesures visant à préserver l'espèce soient prises et ceci est d'autant plus urgent que *Haematostaphis barteri* figure parmi les espèces dont la biologie et l'organisation génétique sont encore inconnues. La présente étude sur la diversité génétique moléculaire de *Haematostaphis barteri* répond à cette préoccupation. L'étude vise à obtenir des informations susceptibles de contribuer au développement d'actions de régénération, d'aménagement et d'utilisation durable de l'espèce. En effet, en plus des informations sur les aspects socio-économiques et ethnobotaniques, la structure, la variabilité morphologique, les études de diversité génétique sont d'une importance capitale car elles déterminent l'information de base requise pour l'amélioration génétique et la conservation des ressources génétiques d'une espèce.

Pour la caractérisation génétique moléculaire et le management des ressources génétiques, une gamme de marqueurs moléculaires basée sur l'ADN est de nos jours disponible. Au nombre de ces marqueurs d'ADN, nous avons: les Polymorphismes Simples des Nucléotides (SNP), les Répétitions de Séquences Simples non codantes (SSR ou microsatellites), le Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés (AFLP), le Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction (RFLP) et Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe (RAPD). La RAPD est basée sur la technique de PCR, réaction de polymérisation en chaîne et qui consiste en une amplification de segments aléatoires d'ADN

par des amorces de séquences nucléotidiques arbitraires (Williams *et al.* 1993). Cette méthode présente de nombreux avantages. Bowditch *et al.* (1993) notent qu'elle requiert une faible quantité d'ADN et ne nécessite aucune connaissance préalable sur le génome en question. De plus c'est une technique simple, rapide et relativement peu coûteuse. Compte tenu des avantages qu'ils offrent, ces marqueurs ont été utilisés pour évaluer la diversité de certaines espèces dont *Populus tremuloides* Michx (Yeh *et al.*, 1995), *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn (Lovett, 2000 ; Fontaine *et al.*, 2004), *Iringia gabonensis* (Aubry. Lec. ex O. Rorke) Bail (Lowe *et al.* 2000), *Vanilla planifolia* Jacks (Besse *et al.*, 2004), *Astragalus microcephalus* Willd (Mehrnia *et al.*, 2005) et *Milicia excelsa* (Welw) C. C. Berg (Ouinsavi et Sokpon, 2010).

L'objectif de ce travail est d'évaluer la variabilité génétique moléculaire intra et inter sous-populations de *Haematostaphis barteri* au Bénin à l'aide des marqueurs RAPD.

6.2 Matériels et méthodes

6.2.1 Sites et collecte du matériel végétal

Pour cette étude, 110 arbres de *Haematostaphis barteri* dont 62 pieds femelles et 48 pieds mâles ont été échantillonnés au hasard dans l'ensemble des 4 morphogroupes (sous-populations) notés dans le chapitre précédent à partir des variables morphologiques à savoir : la sous-population de Natitingou I, la sous-population de Natitingou II, la sous-population Mixte et la sous-population de Boukombé. Le nombre d'arbres échantillonnés dans chacune des sous-populations a varié en fonction du nombre de sites de présence de l'espèce. Ainsi, 23 arbres ont été échantillonnés dans chacun des sous-populations Mixte et de Natitingou I et 32 arbres dans celles de Natitingou II et Boukombé (Tableau 6.1). A l'intérieur de chaque site, une distance d'au moins 100 mètres a été observée entre deux pieds échantillonnés. Les coordonnées géographiques des sites et de chaque arbre échantillonné ont été enregistrées à l'aide du GPS (Global Positioning System) Garmin 60.

Sur chacun des arbres de *Haematostaphis barteri* échantillonnés, 5 folioles âgées et saines ont été prélevées au hasard. Les folioles collectées ont été séchées à l'étuve, à 38 °C pendant 72 heures. Elles ont ensuite été conditionnées dans du papier aluminium puis stockées dans différents sacs en plastiques, et bien étiquetés, en vue de leur utilisation pour l'extraction de l'ADN.

Tableau 6.1: Sites de collecte et taille des échantillons

Sous-populations	Sites de collecte	Nombre d'arbres échantionnés		Total
		Pieds femelles	Pieds mâles	
Natitingou I (23)	Bérécingou	07	04	11
	Borna	09	03	12
	Koukpartikou	07	04	11
Natitingou II (32)	Maco	03	02	05
	Tipéti	03	03	06
	Tagayè	02	03	05
	Moukokotamou	03	02	05
Mixte (23)	Kota	06	02	08
	Pèpèrikou	05	05	10
	Koribéné	02	03	05
	Koussou	06	07	13
Boukombé (32)	Kougnangou	03	03	06
	Koumagou B	01	03	04
	Koukpank pangou	04	01	05
	Koussounougou	01	03	04
Total		62	48	110

6.2.2 Extraction et quantification de l'ADN

Les ADN ont été extraits des feuilles séchées de *Haematostaphis barteri* à l'aide du tampon d'extraction au MATAB (Sajida *et al.* 2010). Par échantillon 30 mg de feuilles séchées sont broyées dans 750 µl du tampon d'extraction au MATAB (1 M Tris-HCl PH 7,5 ; 5 M NaCl ; 0,5 M EDTA PH 8 ; 0,125% Sulfite de sodium ; 1% MATAB) à l'aide d'un mortier. Le broyat est transféré dans un microtube de 2 ml puis incubé dans un bain-marie à 65 °C pendant 2 heures après avoir été bien vortexé. Le broyat est homogénéisé par des retournements successifs des microtubes 3 fois au moins au cours de l'incubation. Après avoir laissé refroidi le broyat pendant 5 mn à la température ambiante, 750 µl de chloroforme iso-amyl (24:1) sont ajoutés, puis le mélange a été soumis au vortex et centrifugé à 14000 rpm pendant 20 mn à la température ambiante. Le surnageant liquide est récupéré puis transféré dans un nouveau tube de 1,5 ml. L'ADN a été précipité en ajoutant au surnageant un volume équivalent d'isopropanol glacial. Le mélange est centrifugé à 13 000 rpm pendant 15 mn et la phase liquide est délicatement jetée. Le culot d'ADN, obtenu au fond du tube est rincé deux fois avec 300 µl d'éthanol à 70% par centrifugation (13 300 rpm pendant 15 mn). Le culot d'ADN ainsi rincé, est séché à l'étuve à 37°C puis repris dans 100 µl d'eau distillée stérile et conservé à 4°C au réfrigérateur.

La concentration en ADN des différents échantillons a été directement déterminée au Nanodrop.

6.2.3 Amplification de l'ADN à l'aide des marqueurs RAPD

Sur un total de 26 amorces RAPD fournies par la firme Eurogentec (Technical Data Sheet, FRANCE, Montpellier 34090), et testées sur un échantillon de 12 individus de *Haematostaphis barteri* répartis dans les quatre sous-populations, seules 10 amorces ont été sélectionnées et utilisées pour l'amplification PCR dans cette étude car polymorphes.

L'amplification a été faite avec 30-60 ng d'ADN total et dans un volume réactionnel final de 25 µl contenant un tampon d'amplification associé au MgCl₂ d'une concentration de 5x, des amorces à une concentration de 100 µM, des dNTPs à 10 mM et 5U/µl de Taq DNA polymérase. Les amplifications PCR ont été réalisées avec le thermocycleur TECHNE, 3Prime et les conditions d'amplification sont les suivantes : une première dénaturation à 94 °C pendant 4 min suivie de 40 cycles successifs, chaque cycle comprend une succession de trois phases : une dénaturation à 94 °C pendant 1 min, une phase d'hybridation à la température optimale déterminée entre 32-34 °C pendant 1 min selon l'amorce et une élongation à 72 °C pendant 1 min. Enfin, une dernière étape d'élongation à 72 °C pendant 10 min est programmée et une phase de refroidissement à 4 °C.

Les fragments amplifiés lors de la PCR sont séparés par migration sur des gels d'agarose à 2 % en présence d'un marqueur de poids moléculaire (1Kb DNA Ladder). La solution de préparation des gels est composée de 2 g d'agarose, 100 ml de tampon de Tris Acetate EDTA (TAE 0,5X) pH 8.0 à laquelle on ajoute 3 µl de Bromure d'Ethidium (BET).

L'amplification a été répétée au moins deux fois, et seules les bandes reproductibles et ayant montré des profils clairs ont été considérées dans cette étude.

Deux échantillons de la sous-population de Natitingou II dont les rendements d'ADN ont été assez faibles et n'ayant révélé aucune amplification à la PCR, ont été écartés et cela, après plusieurs tentatives d'extraction d'ADN et de PCR sans succès.

6.2.4 Méthodes statistiques et analyses moléculaires

Des bandes d'ADN amplifiées clairement identifiables et reproductibles ont été transformées en une matrice binaire codée comme suit : présent =1; absent = 0

Pour décrire la diversité génétique moléculaire intra sous-populations, quatre paramètres ont été calculés. Ils ont été estimés pour chaque locus et la moyenne est prise sur tous les loci, à l'aide du logiciel GenAlEx, version 6.502 (Peakall et Smouse, 2012). Il s'agit : du pourcentage de polymorphisme (P), la diversité génétique de Nei (h), la fréquence d'allèles

majeurs (FAM) et la fréquence d'allèles privé (FAP ; Bączkiewicz *et al.*, 2012). Le taux de polymorphisme a été déterminé grâce à la formule suivante tirée de (Kadri *et al.*, 2006) :

$$P = \frac{\text{Nombre de bandes polymorphes}}{\text{Nombre total de bandes étudiés}} \times 100 \quad (1)$$

Une bande est dite polymorphe lorsqu'elle est présente chez certaines accessions et absente chez d'autres.

La différenciation génétique entre les sous-populations a été étudiée à l'aide des distances génétiques impartiales de Nei (GD) et les statistiques de diversité de gènes de Nei comprenant la diversité génétique totale (H_T) et la diversité génétique à l'intérieur des populations (H_S) (Nei, 1978). Afin de déterminer le degré de différenciation génétique entre les sous-populations (Φ_{PT}), une analyse hiérarchique de variance moléculaire (AMOVA) a été effectuée à l'aide du logiciel GenAlEx 6.502 (Meirmans, 2006). Une estimation de flux de gène (N_m) traduisant le nombre de migrants effectifs par génération d'une population à une autre a été aussi évaluée à travers la formule de Frankham *et al.* (2004).

$$N_m = [(1/\Phi_{PT}) - 1] / 2 \quad (2)$$

La relation génétique entre sous-populations a été investiguée à travers une Analyse en Coordonnées Principales (ACoP) basée sur la distance génétique (Chakraborty *et al.*, 1993), adéquate pour la comparaison de populations peu divergentes. Afin d'étudier plus en détail les relations génétiques entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri*, une analyse bayésienne a été conduite en considérant séparément chacune des 4 sous-populations grâce au logiciel STRUCTURE (Pritchard *et al.*, 2000). Pour cette analyse avec le logiciel STRUCTURE, le modèle avec « admixture » (le génotype d'un individu peut provenir de plusieurs populations) et l'option des fréquences alléliques indépendantes ont été choisis. Le nombre K de groupes a été varié de 1 à 8, en effectuant 10 simulations par valeur de K. Pour déterminer le nombre optimal K de groupes, la procédure définie par Evanno *et al.* (2005) a été utilisée. A terme, le logiciel STRUCTURE attribue à chaque individu sa probabilité d'appartenance à chaque population. On considère qu'une accession est assignée à un groupe quand sa probabilité d'appartenance à ce groupe est supérieure à 0,70 (Evanno *et al.*, 2005). Lorsque cette probabilité d'affectation est plus faible, les accessions sont considérées en « admixture »: le génotype provient alors de recombinaisons entre plusieurs groupes.

6.3 Résultats

6.3.1 Polymorphisme des marqueurs RAPD utilisés

Sur un total de 26 amorces RAPD testées sur un échantillon de 12 individus de *Haematostaphis barteri* répartis dans les quatre sous-populations, 04 n'ont généré aucune amplification, quel que soit l'accèsion analysée et 10 amorces ont généré des amplifications variables avec seulement quelques-unes des accessions. Sur les 12 amorces ayant produit des bandes reproductibles et intenses, 10 ont permis de générer un très grand nombre de bandes polymorphes et ont été donc utilisées dans le reste de l'étude (Figure 6.1).

Au total, 59 bandes ont été obtenues à partir des 10 amorces RAPD utilisées pour génotyper les 108 individus de *Haematostaphis barteri* échantillonnés. Le nombre de bandes varie de 2 (OPN-06) à 8 (OPF-08) avec une moyenne de 6 bandes par amorce (Tableau 6.2). Tous les marqueurs ont été polymorphes et le taux de polymorphisme variant de 75% (OPF-08) à 100% (OPA-10, OPR-15), avec une moyenne de 94,83%. La figure 6.1 illustre bien quelques exemples de profil génomiques de 12 accessions sélectionnées au hasard dans les 4 sous-populations de *Haematostaphis barteri* et qui ont servi au screening des amorces RAPD.

Tableau 6.2: Nombre de bandes et pourcentage de polymorphisme révélé par les marqueurs RAPD utilisés

Nom des Amorces	Séquence Nucléotidique des amorces	Nombre total de Bandes	Nombre de bandes polymorphes	Pourcentage de Polymorphisme
OPA-10	GTG-ATC-GCA-G	5	5	100
OPE-18	GGA-CTG-CAG-A	6	6	100
OPF-08	GGG-ATA-TCG-G	8	6	75
OPG-14	GGA-TGA-GAC-C	5	5	100
OPI-06	AAG-GCG-GCA-G	6	6	100
OPL-01	GGC-ATG-ACC-T	5	4	80
OPL-12	GGG-CGG-TAC-T	7	7	100
OPN-06	GAG-ACG-CAC-A	2	2	100
OPO-07	CAG-CAC-TGA-C	7	7	100
OPR-15	GGA-CAA-CGA-G	7	7	100
Moyenne		5,8	5,5	94,83

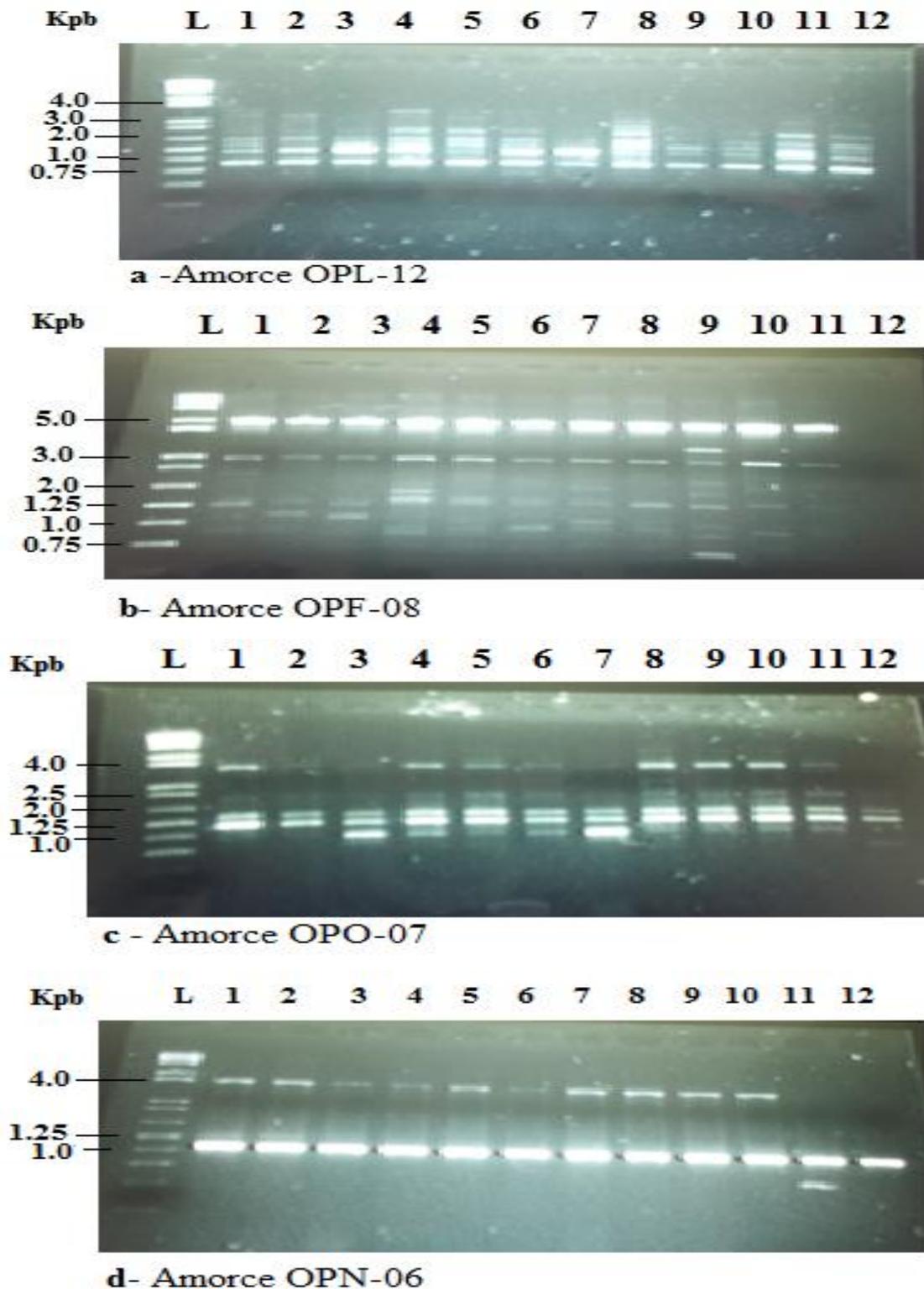


Figure 6.1: (a, b, c et d) Exemple de polymorphisme d'ADN génomique de *Haematostaphis barteri* détecté par des marqueurs RAPD. (L : marqueur de poids moléculaire « Ladder », 1 à 12 : différents échantillons d'ADN utilisé).

6.3.2 Diversité génétique intra sous-population de *Haematostaphis barteri*

La fréquence d'allèles majeurs (FAM) varie de $0,818 \pm 0,017$ (sous-population de Natitingou II) à $0,831 \pm 0,017$ (sous-population de Natitingou I) avec une moyenne de $0,825 \pm 0,009$ et la fréquence des allèles privés (FAP) varie de 0 (sous-population de Natitingou I, Natitingou II) à $0,051 \pm 0,029$ (sous-population de Boukombé) avec une moyenne de $0,015 \pm 0,017$ (Sous-population Mixte ; Tableau 6.3). La diversité génétique de Nei (h) varie de $0,238 \pm 0,024$ (sous-population de Boukombé) à $0,265 \pm 0,020$ (Sous-population Mixte) avec une moyenne de $0,250 \pm 0,011$. L'estimation de la diversité génétique de Nei a révélé une diversité génétique totale de $H_T = 0,295 \pm 0,020$ et l'estimation de la variation génétique intra sous-population est de $H_S = 0,245 \pm 0,011$ (Tableau 6.4).

Tableau 6.3: Résumé des Statistiques de la Diversité Génétique de quatre sous-populations de *Haematostaphis barteri*.

Sous-populations	Nombre d'arbres	h (\pm SE)	FAM (\pm SE)	FAP (\pm SE)
Natitingou I	23	0,246 (\pm 0,021)	0,831 (\pm 0,017)	0,000
Natitingou II	30	0,250 (\pm 0,021)	0,818 (\pm 0,017)	0,000
Mixte	23	0,265 (\pm 0,020)	0,829 (\pm 0,017)	0,017 (\pm 0,015)
Boukombé	32	0,238 (\pm 0,024)	0,824 (\pm 0,021)	0,051 (\pm 0,029)
Moyenne (\pm SE)		0,250 (\pm 0,011)	0,825 (\pm 0,009)	0,017 (\pm 0,012)

h= diversité génétique de Nei, FAM= Fréquence d'allèles majeurs, FAP= Fréquence d'allèles privés.

Tableau 6.4: Statistiques de la diversité génétique de Nei (1973) et différenciation génétique inter sous-populations via AMOVA.

Paramètres	Données haplotypes			
	H _T	H _S	Φ _{PT}	N _m
Différenciation génétique inter populations via AMOVA	0,295 ± 0,020	0,245 ± 0,011	0,170***	2,435

H_T= Diversité génétique totale, H_S= Diversité génétique intra sous-populations, Φ_{PT} = Coefficient de différenciation entre populations, N_m= Flux de gènes ; *** = significatif au seuil de 0,1%

Tableau 6.5: Coefficient de différenciation et flux de gènes entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri*.

Sous-populations (Φ _{PT} - N _m)	Natitingou I	Sous-population Mixte	Natitingou II	Boukombé
Natitingou I	****	4,148	2,681	1,207
Sous-population Mixte	0,108	****	8,288	1,701
Natitingou II	0,157	0,057	****	3,313
Boukombé	0,293	0,227	0,131	****

Φ_{PT} = Coefficient de différenciation entre populations (en dessous de la diagonale), N_m = Flux de gènes (en dessus de la diagonale).

6.3.3 Différenciation génétique inter sous-populations de *Haematostaphis barteri*

La différenciation génétique entre sous-populations a été estimée à Φ_{PT} = 0,170 (Tableau 6.4). Cela signifie que 17% de la variabilité génétique totale est inter sous-populations. Toutefois, lorsqu'on considère les paires de sous-populations, les valeurs les plus élevées du coefficient de différenciation (Φ_{PT} = 0,93 et Φ_{PT} = 0,227) ont été notées avec les paires de sous-populations de Boukombé (Tableau 6.5). Le flux de gène estimé à partir de Φ_{PT} (Hartl, 2000 ; Frankham *et al.* 2002) est égale à N_m = 2,435, ce qui montre qu'environ 3 migrants passent d'une sous-population à l'autre au cours d'une génération (Tableau 6.5). Cependant, lorsqu'on considère les paires de sous-populations, les valeurs les plus faibles du nombre de migrants par génération (N_m = 1,207 et N_m = 1,701) ont été notées avec les paires de sous-population de Boukombé (Tableau 6.5). La distance génétique (GD) déterminée par paire de sous-populations a variée de 0,036 à 0,162 (Tableau 6.6). Les plus grandes distances génétiques ont été notées au niveau des paires de sous-population de Boukombé : GD = 0,162 pour la paire sous-population de Boukombé - sous-population de Natitingou I et GD = 0,121 pour la paire

sous-population de Boukombé - Sous-population Mixte. Par contre, la plus faible distance génétique a été observée entre la Sous-population Mixte et celle de Natitingou II (GD = 0,036 ; Tableau 6.6).

Tableau 6.6: Distances génétiques impartiales et les identités génétiques de Néi entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri*.

Sous-populations (GD- GID)	(GD- GID)	Natitingou I	Natitingou II	Sous- population Mixte	Boukombé
Natitingou I		*****	0,923	0,941	0,851
Natitingou II		0,080	*****	0,965	0,939
Sous-population Mixte		0,060	0,036	*****	0,886
Boukombé		0,162	0,063	0,121	*****

GD=Distances génétiques impartiales de Néi (en dessous de la diagonale),
GID= Identités génétiques de Néi (en dessus de la diagonale).

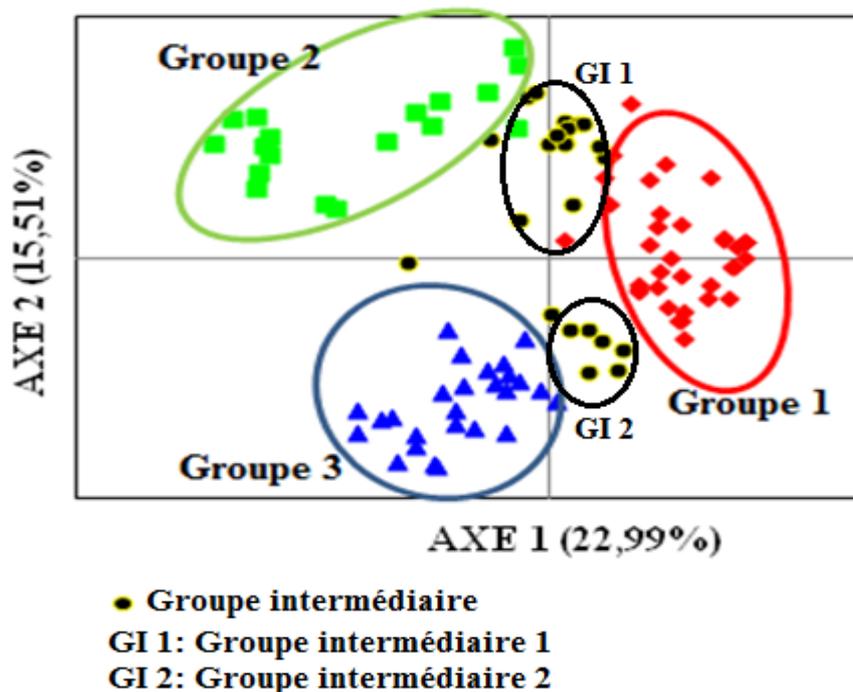


Figure 6.2: Représentation graphique de la structure génétique de *Haematostaphis barteri* sur les axes 1 et 2 de l'Analyse en Coordonnées Principales

L'analyse en Coordonnées Principales (PCoA) réalisée à partir des distances génétiques entre les paires d'individus de l'ensemble des 04 sous-populations explique, sur les 2 premiers axes, 38,50% de la variance totale. On distingue 03 groupes génétiques nettement constitués et un ensemble d'individus intermédiaires répartis en 02 autres groupes GI 1 et GI 2 ; Figure 6.2). L'axe 1 sépare nettement le groupe 1 des groupes 2 et 3, et l'axe 2 sépare nettement le groupe 3 du groupe 1. Le même axe (axe 2) sépare également le groupe intermédiaire 1 du groupe intermédiaire 2. Le groupe génétique 2 peut être divisé en deux sous-groupes dont l'un est négativement corrélé avec l'axe 1 et, l'autre positivement corrélé avec l'axe 2.

La procédure d'Evanno (2005), qui permet d'évaluer le nombre probable K de groupes en se basant sur le ΔK , montre que la structure génétique la plus représentative est obtenue pour K=2 ($\Delta K=87$), K=2 ($\Delta K=370$), K=3 ($\Delta K=85$) et K=3 ($\Delta K =203,33$) respectivement pour les Sous-population Mixte, Natitingou II, Natitingou I et Boukombé (Tableau 6.7). En considérant l'ensemble des sous-populations comme une seule population, le nombre de groupes K=3 a été choisi comme définissant le mieux la structure génétique de *Haematostaphis barteri*, sur la base du paramètre ΔK d'Evanno.

:

Tableau 6.7: Evolution du nombre K de groupes en fonction de delta K.

K	Reps	Delta K			
		Sous-population Natitingou I	Sous-population Natitingou II	Sous-population Mixte	Sous-population Boukombé
1	10	—	—	—	—
2	10	8,579896	369,717128	86,870285	0,957309
3	10	85,061509	171,1631	2,605585	203,333816
4	10	64,227671	8,717255	7,660238	58,603729
5	10	1,909251	0,315674	0,525729	0,631278
6	10	3,339149	0,431156	2,771314	0,335034
7	10	0,341137	0,059145	0,258789	0,801624
8	10	—	—	—	—

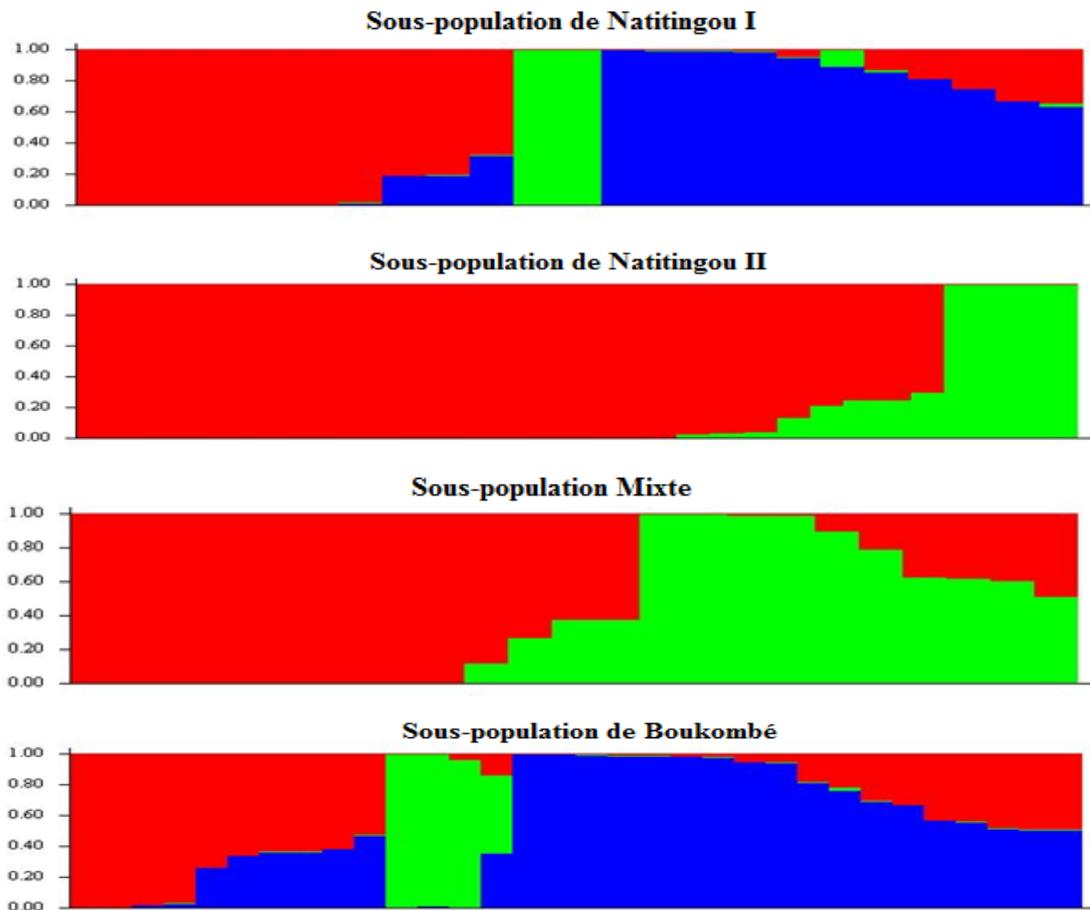


Figure 6.3: Structure génétique de *Haematostaphis barteri* obtenue sur la base de l'analyse bayésienne avec le logiciel STRUCTURE

(Chaque accession est représentée par une ligne verticale segmentée en 3 parties colorées. Une partie correspond à un groupe d'appartenance déterminé rouge = groupe 1, vert = groupe 2 et bleu = groupe 3 ; les accessions dont les probabilités d'appartenance sont inférieures à 0,70 ne sont pas assignées à un groupe).

Avec ce modèle, les groupes obtenus sont les suivants (Figure 6.3)

- le groupe 1 « en rouge » (52 accessions), est principalement composé de la quasi-totalité des accessions de la sous-population de Natitingou II, de la moitié des accessions de la sous-population de Natitingou I, de la moitié des accessions de la Sous-population Mixte et de quelques accessions de la sous-population de Boukombé.
- Le groupe 2 « en vert » (15 accessions), rassemble environ le quart des accessions de la Sous-population Mixte et quelques accessions provenant des trois autres sous-populations.
- Le groupe 3 « en bleu » (23 accessions), est constitué presque exclusivement des accessions de la sous-population de Boukombé plus quelques accessions de la sous-population de Natitingou I.

Au total, 90 accessions sur 108 sont clairement assignées, affectées à des groupes (probabilité d'assignation supérieure à 0,70). Les 18 accessions restantes sont en « admixture », c'est-à-dire dont le génotype provient de la recombinaison entre les 3 groupes génétiques clairement constitués. On note 34% d'accessions en « admixture » (11/32) pour la sous-population de Boukombé, 26% d'accessions en « admixture » (06/23) pour la population Mixte, 04% d'accessions en « admixture » (01/23) pour la sous-population de Natitingou I et 00% d'accessions en « admixture » pour la sous-population de Natitingou II. Le groupe intermédiaire 1 est essentiellement composé des individus intermédiaires génétiquement proches des groupes 1 et 2 que du groupe 3 alors que le groupe intermédiaire 2 est principalement composé des individus intermédiaires génétiquement proches des groupes 1 et 3 que du groupe 2.

Les 3 groupes génétiques ne correspondent pas exactement avec les 4 morphogroupes (sous-populations) de départ. Cependant, le groupe 3 coïncide bien avec le morphogroupe de Boukombé. Ce résultat conforte bien l'idée que la sous-population de Boukombé présenterait une structure génétique plus ou moins bien différenciée des autres sous-populations. Ce qui est soutenu par les fortes valeurs de Φ_{PT} et les faibles valeurs de N_m enregistrées au niveau des paires du groupe génétique 3 (Tableau 6.8 ; sous-population de Boukombé).

Tableau 6.8: Coefficient de différenciation et flux de gènes entre les trois groupes génétiques de *Haematostaphis barteri*

Groupes génétiques (Φ_{PT}, N_m)	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3 (sous-population Boukpmbé)
Groupe 1	****	1,150	0,962
Groupe 2	0,465	****	0,360
Groupe 3 (sous-population Boukombé)	0,509	0,735	****

Φ_{PT} = Coefficient de différenciation entre populations (en dessous de la diagonale), N_m = Flux de gènes (en dessus de la diagonale).

6.4 Discussion

Les marqueurs dominants ont fait l'objet d'une large utilisation pour des études de variabilité génétique et d'identification de variétés de plusieurs espèces (Aga *et al.*, 2005). Cependant, ils manquent de précision et de reproductibilité. Dans cette étude, la reproductibilité à été assurée par la répétition des amplifications d'au moins deux fois, et seules les bandes reproductibles et ayant montré des profils clairs ont été sélectionnées pour les analyses. Au total, 59 bandes reproductibles dont 56 bandes polymorphes ont été obtenues soit 94,83% de polymorphisme à partir de 10 amorces RAPD sélectionnées. Ce résultat traduit l'efficacité des marqueurs RAPD utilisés pour l'étude de la diversité génétique des sous-populations de *Haematostaphis barteri*. Sur un total de 26 amorces testées, 10 (soit 38,46%) se sont révélées exploitables. Le pourcentage d'amorces utiles engendrant des profils interprétables pour l'analyse de la diversité génétique semble être dépendant de l'espèce, de l'adaptabilité des amorces à l'espèce étudiée et des conditions expérimentales. En effet, des pourcentages variés ont été obtenus par différents auteurs sur d'autres espèces forestières tropicales mais avec des amorces différentes: 66% d'amorces chez *Prunus africana* (Dawson et Powell, 1999), 50% chez *Ivringia gabonensis* (Lowe *et al.*, 2000), 35% chez *Vitellaria paradoxa* (Fontaine *et al.*, 2004) et 28% chez *Gliricidia sepium* (Dawson *et al.*, 1995) générant un polymorphisme interprétable.

Sur la base de ces marqueurs RAPD, la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* ($h = 0,250$) est relativement importante. Ce résultat pourrait être expliqué par le mode de reproduction allogame observé chez *Haematostaphis barteri*. En général, les espèces allogames présentent une plus grande diversité génétique que les espèces autogames, résultat prédit par la théorie neutre de l'évolution sur la base du fait qu'un individu allogame (et diploïde) peut

stocker à chaque locus deux allèles de deux parents différents, tandis qu'un individu issu d'une autofécondation peut hériter facilement deux copies d'un même allèle du même parent (David *et al.*, 2006). En d'autres termes, c'est la taille du réservoir utilisé pour stocker l'information allélique qui apparaît déterminante pour expliquer le niveau de diversité d'une espèce. Cela laisse penser donc que les sous-populations de *Haematostaphis barteri*, bien qu'ayant une aire de répartition réduite au Bénin, ont atteint une taille génétique efficace. La valeur de la diversité génétique intra-sous-population ($H_S = 0,245$) de *Haematostaphis barteri* obtenue est relativement importante et reste bien comprise dans les limites (0,103 et 0,266) attendues pour les plantes allogames (Hamrick et Godt, 1997). Cependant, elle est plus importante que celle rapportée sur les populations de *Milicia excelsa* au Bénin (0,168), en Côte d'Ivoire (0,054) et au Sierra Leone (0,122 ; Ouinsavi, 2006 ; Khamuja *et al.*, 2005). Mais, est plus faible que celle notée sur les populations d'iroko des forêts humides et sèches du Ghana (0,405) (Khamuja *et al.*, 2005). Ce résultat relativement important de la diversité génétique intra sous-populations pourrait être lié à la migration non moins importante notée entre les paires de sous-populations de l'espèce ($N_m > 2$ migrants par génération). En effet, la migration augmente le niveau de diversité génétique au niveau intra-population en apportant de nouveaux allèles qui peuvent contribuer à augmenter le taux d'hétérozygotes dès la génération suivante (Mush et Valadon, 2004 ; Office National des Forêts, 2004). La diversité génétique totale (H_T) de *Haematostaphis barteri* est relativement importante. Elle est largement supérieure à celle rapportée pour les plantes ayant un mécanisme de pollinisation entomophile (0,167-0,182) et les espèces d'arbres tropicaux à faible aire de répartition géographique (0,150 ; Hamrick & Godt, 1989 ; Loveless & Hamrick, 1984).

Le coefficient de différenciation entre sous-populations de *Haematostaphis barteri* est faible ($\Phi_{PT} = 0,17$), indiquant que 17% de la diversité génétique totale est inter sous-populations. En considérant les caractéristiques bioécologiques de l'espèce (espèce tropicale, aire de répartition réduite, allogamie, pollinisation entomophile), on s'attend à ce qu'elle présente un coefficient de différenciation plus élevé que celui obtenu. En effet, (Hamrick et Godt, 1992) ont montré que pour un même niveau de diversité total, les espèces ligneuses endémiques présentent une différenciation plus de 4 fois supérieure à celle des espèces à aire de répartition plus large. Toutefois, les mêmes auteurs précisent que les caractéristiques bioécologiques des arbres n'expliquent qu'en partie la différenciation entre populations. La valeur relativement faible du coefficient de différenciation pourrait s'expliquer par le fait que les 4 sous-populations de *Haematostaphis barteri* seraient relativement proches génétiquement. Cette explication est soutenue par le flux de gènes entre sous-populations relativement modérée,

allant de 2 à 8 migrants par génération. En effet, contrairement au niveau intra-population, la migration limite, au niveau inter-population, la divergence génétique entre populations et s'oppose à l'adaptation locale et à la dérive génétique par l'apport d'allèles nouveaux (Mush et Valadon, 2004). Par ailleurs, lorsqu'on considère les paires de sous-populations, les valeurs les plus élevées du coefficient de différenciation et les plus faibles valeurs du nombre de migrants par génération ont été notées avec les paires de sous-populations de Boukombé. Ce résultat permet de penser à une différenciation relativement bien marquée de la sous-population de Boukombé par rapport aux autres sous-populations.

L'analyse en coordonnées principales et l'analyse bayésienne ont réparti les accessions des 4 sous-populations de *Haematostaphis barteri* en 3 groupes génétiques distincts, dont deux groupes hétérogènes, constitués d'un mélange d'accessions provenant de chacune des quatre sous-populations et un groupe plus homogène constitué presque exclusivement des accessions de la sous-population de Boukombé. Ce résultat vient renforcer l'idée de la relative différenciation de la sous-population de Boukombé par rapport aux autres. Cette explication est d'ailleurs soutenue par une fréquence d'allèles privés non nulle au niveau de quelques individus du groupe de Boukombé. Ce qui suggérerait l'existence d'une barrière génétique déterminée probablement par la chaîne de l'Atacora, limitant la dispersion des grains de pollens et des graines entre le groupe génétique de Boukombé et les autres groupes. Des résultats similaires, mettant en jeu des barrières génétiques dans la structuration des populations d'iroko au Bénin, ont été obtenus par Ouinsavi (2006).

7.5 Conclusion partielle

L'étude de la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* a une diversité génétique intra sous-population relativement importante. De même, la valeur du coefficient de différenciation entre les sous-populations est relativement faible, et le flux de gènes estimé est relativement modéré, indiquant un échange modéré de pollens et de graines entre les sous-populations. En outre, trois différents groupes génétiques semblent se distinguer, dont le groupe génétique 3, composé exclusivement des individus de la sous-population de Boukombé. Ce résultat suggère donc que les caractéristiques morphologiques que présentent les arbres de la sous-population de Boukombé ont beaucoup plus un fondement génétique que les autres sous-populations. De plus, il a été noté une différenciation plus ou moins marquée des accessions du groupe de Boukombé par rapport à celles des deux autres groupes génétiques, ce qui suppose l'existence d'une barrière génétique probablement due à la chaîne de l'Atacora et limitant les échanges de pollens et de graines avec les autres sous-populations. La mise en évidence

d'allèles privés au niveau de quelques accessions du groupe génétique de Boukombé pourrait servir, s'ils sont associés à des caractères morphologiques et biochimiques intéressants, à la création de programmes de sélection et d'amélioration génétique.

CHAPITRE 7

DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Chapitre 7 : Discussion générale, conclusion et perspectives

7.1 Discussion générale

La prune rouge (*Haematostaphis barteri*) est une espèce à usage multiple utilisée par les populations rurales africaines à des fins alimentaire, médicinale et économique (Amouzou *et al.*, 2006 ; Amana, 2007 ; Sourou *et al.*, 2016a). Malgré ses multiples usages, l'espèce demeure sous-valorisée par les communautés rurales. L'espèce est menacée dans son aire de distribution par les feux de végétation, l'agriculture, et son exploitation pour la commercialisation de ses fruits. Face aux menaces liées d'une part aux problèmes spécifiques de l'espèce (vieillesse des peuplements, très faible régénération naturelle) et d'autre part aux actions anthropiques sur la survie de l'espèce, il importe d'acquérir le plus possible d'informations sur l'espèce en vue de sa bonne gestion dans les systèmes agroforestiers traditionnels. C'est pour ces différentes raisons que la présente étude sur *Haematostaphis barteri* a été initiée au Bénin et devrait conduire à moyen terme à sa domestication. L'étude a été dans un premier temps concentrée sur l'évaluation des connaissances ethnobotanique et socio-économique de l'espèce, et dans un second temps, elle s'est intéressée à sa variabilité écologique, morphologique et génétique moléculaire.

Sur la base des résultats obtenus par rapport aux différentes utilisations de *Haematostaphis barteri*, trois classes d'utilité se distinguent : médecine traditionnelle, alimentation et économie. Toutes ces classes d'utilité sont bien connues des trois groupes sociolinguistiques majoritaires du milieu d'étude. Cependant, les organes utilisés et les différentes maladies traitées ont variés d'un groupe sociolinguistique à l'autre. Ce qui vérifie en partie la première hypothèse testée dans l'étude. En Afrique, au sud du Sahara, l'usage traditionnel des plantes médicinales est d'une importance socio-économique indéniable dans la mesure où la majorité des ménages ont un pouvoir d'achat qui ne leur permet pas de payer les médicaments pharmaceutiques (FAO, 2012b). L'utilisation de *Haematostaphis barteri* dans la médecine traditionnelle par les trois groupes sociolinguistiques du milieu d'étude se comprend aisément à travers les travaux de plusieurs chercheurs qui ont prouvé l'efficacité de cette espèce pour le traitement de plusieurs maladies (Tadzabia *et al.*, 2013; Boampong *et al.*, 2015; Yunana, 2015; Ngozi *et al.*, 2015 ; Ameyaw *et al.*, 2016 ; Milagawanda *et al.*, 2016). L'utilisation alimentaire de *Haematostaphis barteri* est non moins négligeable. En effet, la pulpe des fruits est directement consommée sans aucune restriction surtout par des enfants. Plusieurs travaux de recherches chimique et biochimique (Amoo et Lajide, 1999 ; Amouzou *et al.* 2006) s'accordent à reconnaître que les fruits de *Haematostaphis barteri* sont une importante source de micronutriments, de vitamines A et C pour les organismes juvéniles. En plus de l'influence

positive qu'ont les deux premières classes d'utilisation de *Haematostaphis barteri* sur l'économie des ménages, la vente des fruits frais dans les marchés locaux du milieu d'étude, vient améliorer un tant soit peu cette économie. En effet, le profit net issu de la vente des fruits frais de *Haematostaphis barteri* est faible (10 077 FCFA), et est significativement influencé par la quantité de la main d'œuvre, le coût total des charges. Ces résultats vérifient la deuxième hypothèse qui stipule que la main d'œuvre et le capital impactent le revenu moyen annuel obtenu de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri*. Le faible revenu lié à la commercialisation des fruits frais de *Haematostaphis barteri* serait dû d'une part à la non disponibilité du fruit pendant toute l'année, et d'autre part, au fait que les ressources génétiques de cette espèce ne font l'objet pour l'instant d'aucune transformation locale contrairement à plusieurs autres arbres forestiers fruitiers comme le karité, le néré et le baobab (Codjia *et al.*, 2003a ; Assogbadjo, 2006). En effet, les études effectuées par N'Diaye *et al.* (2003) sur la valeur ajoutée provenant d'une meilleure valorisation des principaux fruits de cueillette consommés et commercialisés en Guinée tels que *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa*, etc, ont montré qu'il y a une différence significative entre les revenus nets tirés des produits transformés et ceux obtenus des produits non transformés.

Il ressort de l'étude sur les caractéristiques structurales de *Haematostaphis barteri* que parmi les paramètres dendrométriques étudiés, le diamètre, la hauteur totale et le diamètre houppier des peuplements ont varié significativement ($P < 0,001$) d'une position géomorphologique à une autre. Par contre, la densité, la surface terrière et le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne n'ont pas varié significativement suivant la géomorphologie des sites. De même, les individus mâles et femelles ont présenté globalement les mêmes caractéristiques dendrométriques. Tous ces résultats confirment en partie l'hypothèse selon laquelle les caractéristiques dendrométriques de *Haematostaphis barteri* varient suivant la géomorphologie des sites, mais infirment l'influence du sexe sur les caractéristiques dendrométriques de *Haematostaphis barteri*. La structure diamétrique en cloche et la faible densité des pieds de *Haematostaphis barteri* notée au niveau des 4 peuplements traduisent une très faible régénération naturelle de l'espèce. Ces résultats sont similaires à ceux de Agbogban *et al.* (2012) sur la même espèce ; de Koura (2015) sur *Parkia biblobosa* et de Houèchégnon (2016) sur *Prosopis africana*. Selon Arbonnier (2002), cette espèce exclusivement soudano-sahélienne, dont les valeurs biochimiques sont fort appréciables, connaît un rétrécissement de son aire d'extension et se régénérerait mal. Pour Ouédraogo (1995) une faible régénération constitue une menace actuelle pour la conservation de l'intégrité du pool génétique de certains allèles rares. Plusieurs facteurs expliquent la faible régénération de *Haematostaphis barteri*,

notamment: le caractère récalcitrant de la graine dû à la présence d'un endocarpe lignifié qui constitue un facteur limitant à la germination, le sol de nature rocheuse ou fortement concrétionné ne favorise pas la germination des graines, la forte prédation des amandes par les petits rongeurs et enfin la pression de plus en plus forte exercée sur les fruits par les populations rurales.

Du point de vue morphologique *Haematostaphis barteri* a montré une variabilité relativement faible. Cette variation morphologique concerne principalement la longueur des panicules, le nombre de fruit par panicule, la longueur et la largeur du fruit frais, la masse du fruit entier frais et celle de la pulpe, la longueur des feuilles, la longueur du pétiole, la longueur et la largeur des folioles puis le nombre de folioles par feuille. Sur la base de ces variables morphologiques, quatre morphotypes de *Haematostaphis barteri* (sous-populations) ont été identifiés, à savoir : la sous-population de Natitingou I, la sous-population de Natitingou II, la sous-population de Boukombé et la sous-population Mixte. En dehors des descripteurs morphologiques des panicules (longueur des panicules et le nombre de fruits par panicule) qui ont présentés une variabilité inter-sous-populations assez importante ($15\% \leq CV \leq 44\%$), les autres descripteurs morphologiques des fruits et des feuilles ont révélé une faible variabilité ($0\% \leq CV \leq 10\%$) intra et inter sous-populations, indiquant que ces quatre sous-populations sont assez proches phénotypiquement. Cependant la sous-population de Natitingou I constituée des provenances Bérécingou et Borna dont la plupart des pieds de *Haematostaphis barteri* ont été échantillonnés sur les hauts versants et les sommets de colline, a présenté les fruits relativement plus gros, avec de courtes panicules portant un faible nombre de fruits. La sous-population Mixte, composée des provenances Pèpèrikou et Kota dont la plupart des pieds de *Haematostaphis barteri* ont été échantillonnés sur les hauts plateaux a présenté les fruits relativement plus petits, avec de longues panicules, portant un nombre moyen de fruits. Ces résultats confirment l'hypothèse 4 qui stipule que la provenance et la géomorphologie des sites ont une influence sur les caractéristiques morphologiques de *Haematostaphis barteri*. La variation significative de la plupart des descripteurs quantitatifs de la présente étude est comparable aux résultats de plusieurs études antérieures réalisées sur d'autres espèces fruitières telles que, *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. C. F. Gaertn. (Sanou *et al.*, 2006), *Canarium indicum* L. (Leakey *et al.*, 2005), *Ziziphus mauritiana* Lam. (Koné *et al.*, 2009), *Adansonia digitata* L. (Assogbadjo, 2006, 2008; Kyndt *et al.*, 2009 ; Kouyaté *et al.*, 2011), *Allanblackia floribunda* (Atangana, 2010), *Sclerocarya birrea* (Gouwakinnou *et al.*, 2011b), *Dacryodes edulis* (Makueti *et al.*, 2012), *Parkia biglobosa* (Koura *et al.*, 2013). En ce qui concerne l'importance pratique de ce travail, notons qu'il a permis de déceler les provenances qui

produisent plus de fruits et de feuilles. Les valeurs moyennes les plus élevées des fruits se retrouvent au niveau de la sous-population de Natitingou I et celles des feuilles se retrouvent au niveau de la sous-population Mixte. Elles sont donc particulièrement intéressantes et peuvent être pris en compte dans le cadre d'une sélection de variétés à haut rendement.

Du point de vue génétique, la diversité génétique moléculaire intra-sous-population ($H_s = 0,245$) de *Haematostaphis barteri* révélée par les marqueurs RAPD a été relativement élevée, mais reste bien comprise dans les limites (0,103 et 0,266) attendues pour les plantes allogames (Hamrick, Godt, 1997). Par contre le coefficient de différenciation ($\Phi_{PT} = 0,17$) entre les sous-populations a été faible, indiquant que seulement 17% de la variabilité génétique totale est inter sous-populations. Ces résultats confirment partiellement l'hypothèse 5 qui stipule qu'il existe une faible variabilité génétique moléculaire intra et inter sous-poulation. Par ailleurs, l'analyse en coordonnées principales et l'analyse Bayésienne ont révélé trois groupes génétiques différents de *Haematostaphis barteri* avec une différenciation plus ou moins marquée des accessions du groupe de Boukoumbé par rapport aux autres groupes, indiquant l'existence d'une barrière génétique probablement due à la chaîne de l'Atacora et limitant les échanges de pollens et de graines entre cette sous-population de Boukoumbé et les autres. Ce qui conforte au niveau génétique, la probable différenciation relativement marquée de la sous-population de Boukoumbé des autres sous-populations. Cela suggère donc que les caractéristiques morphologiques des arbres de la sous-population de Boukoumbé ont beaucoup plus un fondement génétique alors que celles des autres sous-populations sont plus déterminées par l'environnement. En d'autres termes, les variabilités morphologiques entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri* sont à la fois phénotypiques et génétiques. Des résultats similaires ont été également obtenus avec d'autres espèces forestières telles que *Milicia excelsa* (Ouinsavi, 2006), *Vitellaria paradoxa* (Allal, 2010), *Parkia biglobosa* (Sina, 2006).

La discussion portera ici après la critique de la méthodologie et les limites des résultats, sur la valorisation des ressources de *Haematostaphis barteri* et des stratégies de sa conservation.

7.1.1 Critique et limites des méthodes de l'étude

Pour mener à bien la présente étude de recherche qui porte sur divers domaines à savoir l'ethnobotanique, socio-économie, écologie et génétique, la combinaison de plusieurs méthodologies a été nécessaire. Ces méthodes sont critiquées ici au vu des informations collectées à travers leurs utilisations sur le terrain ou au laboratoire.

Le chapitre 3 porte sur l'importance socio-économique de *Haematostaphis barteri* et a été conduite sur la base d'enquêtes ethnobotanique et socio-économique dans trois communes

du département de l'Atacora, représentant le milieu d'étude. Avant la conduite de l'enquête ethnobotanique proprement dite, trois focus group ont été organisés dans l'ensemble du milieu d'étude. Ce qui a permis d'affiner le questionnaire individuel. De plus, afin d'avoir une fiabilité dans les réponses obtenues des personnes enquêtées la méthode de la triangulation a été utilisée pour s'assurer que les déclarations étaient conformes. Toutefois, en dépit de toutes ces précautions, il est bien possible que certains n'expriment pas leurs réelles connaissances sur la plante ou inventent des connaissances sur l'utilisation de la plante. *Haematostaphis barteri* en raison de son aire de distribution géographique assez réduite, est moins connue de plusieurs groupes sociolinguistiques du nord Bénin. Ce qui a limité au choix de 3 groupes sociolinguistiques pour l'enquête ethnobotanique. Pour la collecte de données, l'idéal aurait été d'interroger alors toutes les populations de ces 3 groupes socio-linguistiques de la zone d'étude. Mais cette méthode étant irréaliste, la détermination de la taille d'un échantillon représentatif en utilisant l'approximation normale de la distribution binomiale proposée par Dagnelie (1998) a permis de contourner la difficulté. Ainsi, les enquêtes ont été conduites auprès d'un échantillon représentatif de 230 personnes sur l'ensemble du milieu d'étude. Concernant l'évaluation des déterminants du profit net annuel obtenu de la vente des fruits de *Haematostaphis barteri*, le modèle de COBB-DOUGLASS n'a pas pris en compte 2 variables non moins importantes à savoir la superficie allouée à la prune rouge (en hectare) et le rendement en fruits (en Kg/ha). Ces deux variables sont difficilement mesurables pour la raison que *Haematostaphis barteri* demeure encore une espèce sauvage et il n'existe ni plantation ni parc agroforestier véritable à *Haematostaphis barteri* gérés par les paysans.

Les chapitres 4, 5 ont porté sur la caractérisation structurale et morphologique de *Haematostaphis barteri*. Cela a été réalisé à partir d'un inventaire des pieds de *Haematostaphis barteri* par population de *Haematostaphis barteri* choisis sur l'ensemble de l'aire de distribution de l'espèce. Les sommets de colline étant l'habitat privilégié de *Haematostaphis barteri*, certains pieds n'ont pu être échantillonnés en raison de leur inaccessibilité. De plus, la plupart des individus échantillonnés sont issus des champs, jachères et savanes et il est fort possible que ces pieds subissent de façon permanente la pression humaine. Tout ceci peut limiter les conclusions tirées de l'étude.

La diversité génétique moléculaire de *Haematostaphis barteri* a été analysée sur la base des marqueurs RAPD (chapitre 6). Le principal reproche fait à ces marqueurs dominants est leur faible reproductibilité d'un laboratoire à un autre. Dans cette étude, la reproductibilité a été assurée par la répétition des amplifications d'au moins deux fois et seules les bandes reproductibles et ayant montré des profils clairs ont été sélectionnées pour les analyses. De plus,

ce sont des marqueurs dominants ne pouvant pas révéler la richesse allélique de l'espèce. Cependant, ils demeurent très informatifs et sont bien adaptés pour la caractérisation génétique des espèces dont aucune information n'est disponible sur leur génome comme *Haematostaphis barteri*.

7.1.2 Valorisation des ressources de *Haematostaphis barteri*

Une meilleure valorisation des ressources forestières passe par leur prise en compte effective dans les programmes d'aménagement forestiers et agroforestiers, la domestication des espèces prioritaires. C'est d'ailleurs ce que Balla *et al.* (2008) ont finalement envisagé (actions de plantations d'espèces fruitières sauvages irriguées) suite à leurs investigations afin de mieux exploiter la connaissance du savoir-faire endogène dans la valorisation du pommier du Cayor (*Neocarya macrophylla*), une espèce forestière de la famille des Chrysobalanacées, très appréciée dans la région du Boboye au Niger. Ce travail a déjà commencé au Bénin avec l'intérêt manifeste et sans cesse grandissant pour certaines espèces comme *Blighia sapida* (Dossou *et al.*, 2004a , 2004b ; Ekué *et al.*, 2004), *Adansonia digitata* (Assogbadjo, 2006 ; Assogbadjo *et al.*, 2008), *Borassus aethiopicum* (Kodjo, 2006), *Vittelaria paradoxa* (Djossa *et al.*, 2008), *Parkia biglobosa* (Koura, 2015), *Prosopis africana* (Houèchégnon, 2016). Toutefois, *Haematostaphis barteri* et beaucoup d'autres espèces comme *Bombax costatum*, *Annona senegalensis*, *Vitex doniana*, *Cesathotheca sesamoides*, *Gynandropsis gynandra* et *Vernonia sp* méritent aussi une attention particulière.

La valorisation des ressources de *Haematostaphis barteri* peut se faire dans le domaine alimentaire à travers la transformation de la pulpe des fruits en sirop, confiture, en vin de table, et des amandes en huile végétale comestible puis dans le domaine pharmaceutique.

Actuellement, dans le monde entier, il est de plus en plus apprécié par les consommateurs, des produits alimentaires ayant des propriétés médicinales. En conséquence, il se développe de plus en plus de nouveaux marchés pour les « aliments fonctionnels » qui en plus de leur rôle alimentaire ont un effet positif sur la santé. Par exemple, les propriétés médicinales reconnues au jus obtenu de la pulpe des fruits de la prune rouge (utilisée traditionnellement dans la lutte contre l'anémie chez les enfants et connue pour la lutte de certaines maladies liées à l'insuffisance d'apport alimentaire en calcium, magnésium et phosphore) combinées à ses fonctions alimentaires (forte teneur en micro nutriments, en vitamines A et C, possibilité d'utilisation dans la fermentation alcoolique) font d'elle un potentiel candidat pour intégrer cette nouvelle génération «d'aliments fonctionnels». Par ailleurs, le développement d'autres produits à partir des fruits frais de la prune rouge (par exemple sirop, confiture, boisson stabilisée à base de la pulpe) serait une opportunité pour

accroître le revenu des femmes impliquées dans la commercialisation des fruits. Dans cette optique, la sous-population de Natitingou I qui offre les meilleurs fruits en termes de leur taille et de la quantité de la pulpe pourrait être déterminante dans cette valorisation de *Haematostaphis barteri*. Cependant, le marché des produits alimentaires est très compétitif et exige la mise en conformité à des normes internationales. Par exemple, depuis janvier 2005, pour vendre sur le marché européen, il est obligatoire, de pouvoir suivre la trace de chaque plante ou animal à partir du champ ou du lieu de production jusqu'à l'assiette. La traçabilité s'impose désormais à toutes les denrées alimentaires entrant dans l'Union Européenne (CTA, 2004). Les pays qui prennent du retard ont été déjà pénalisés. C'est le cas du Cap Vert dont les poissons et langoustes ont été mis sous embargo pendant trois ans, faute de respecter les normes sanitaires, et du Bénin dont les crevettes ont été refusées par l'Union Européenne (CTA, 2004). La traçabilité vise à mieux qualifier les produits mis sur le marché, mieux maîtriser les dangers et abaisser les niveaux de risques afin d'atteindre des objectifs de sécurité alimentaire. La traçabilité est en effet nécessaire pour remonter à la source d'un problème d'intoxication alimentaire ou d'une fraude. Elle est de plus en plus imposée par les certifications.

L'utilisation des différentes parties de la plante dans la pharmacopée traditionnelle constitue un aspect social important dans la vie des communautés rurales (Laouali *et al.*, 2014) et l'une des raisons fondamentales du choix de la conservation de la plante dans les champs. Ce potentiel médicinal de l'espèce peut être valorisé économiquement par la connaissance des principes actifs des organes de l'espèce afin qu'elle soit introduite dans l'industrie pharmaceutique locale. Au niveau local, les produits certifiés à base de *Haematostaphis barteri* peuvent être mis au point par les tradipraticiens pour être vendus et créer de la richesse.

7.1.3 Conservation des ressources génétiques de *Haematostaphis barteri*

La conservation des ressources génétiques d'une espèce vise essentiellement trois objectifs à savoir, assurer le maintien de la variation génétique présente au sein de l'espèce, piéger la variation nécessaire pour répondre aux changements futurs de l'environnement et assurer les processus évolutifs en cours, tels que le flux de gènes et la sélection naturelle, tout en évitant de tomber dans la dérive génétique (Assogbadjo, 2006). Deux méthodes de conservation sont bien connues, à savoir la conservation *in situ* et la conservation *ex situ*.

Pour Rajora et Mosseler (2001), la conservation *in situ* consiste à maintenir les espèces menacées dans leur milieu naturel, où elles ont développé leurs caractères distinctifs. Selon Sina (2006), cette méthode est capable d'assurer une adaptation continue aux conditions locales, même si celles-ci viennent à se modifier dans des limites compatibles avec la survie de l'espèce (évolution des facteurs physico-chimiques de l'environnement, réchauffement et pollution de

l'atmosphère, modification rapide du paysage phytosanitaire). Toutefois, le même auteur indique que ce type de conservation n'est efficace que si les espèces en conservation *in situ* sont protégées et bien suivies. Mais face à la diversité des menaces qui pèsent sur les espèces, certaines d'entre elles sont condamnées à la disparition si des mesures ne sont pas prises en dehors de la conservation *in situ*.

La conservation *ex situ*, quant à elle devient une nécessité lorsque la conservation *in situ* ne peut être pratiquée ou lorsqu'elle est insuffisante pour assurer une protection adéquate des ressources génétiques. Elle consiste donc à préserver les ressources génétiques hors de leur habitat naturel. Au sens strict du terme, la conservation *ex situ* des ressources génétiques peut être faite en tenant compte des propriétés de ces dernières dans une banque de gènes, de graines (Linington et Pritchard, 2001), un arboretum, une collection plantée dans un champ spécifique, ou *in vitro* sous la forme d'embryons. Cependant cette méthode a l'inconvénient de supprimer l'influence de l'environnement naturel sur les espèces qui sont alors soumises à l'activité humaine. Ce qui ne garantit pas le maintien de leur diversité génétique et donc de leur survie (El-Kassaby, 1992).

Pour Assogbadjo (2006), la conservation *ex situ* "à la ferme" ou "au champ" constitue un intermédiaire entre la conservation *in situ* et la conservation *ex situ, stricto sensu*. Elle permet de conserver des variétés cultivées sur pied dans leur région et leur système de culture d'origine, ce qui les laisse subir les contraintes du milieu.

La présente étude a permis de montrer l'importance socio-économique de *Haematostaphis barteri* pour les populations locales. Elle a également montré que l'exploitation de l'espèce affecte la régénération, et donc sa survie. En plus de cette pression humaine sur *Haematostaphis barteri*, la structure diamétrique en cloche et les difficultés de régénération naturelle montrent une précarité de l'état des peuplements de l'espèce dans tous les sites. Au vu de ces résultats, des mesures doivent donc être prises pour l'aménagement et la gestion durable de *Haematostaphis barteri* dans le milieu d'étude. A ce titre, l'administration forestière devrait s'intéresser à la gestion de l'espèce par la sensibilisation des populations sur les pratiques traditionnelles de conservation *in situ* telles que la préservation des jeunes pieds lors du défrichage, les feux de végétation précoces, la réalisation du pare-feu autour des jeunes plants, la non récolte systématique des fruits et la protection des semis et des brins francs contre les coupes de bois, mais aussi des semenciers dispersés dans les champs.

Toutefois, cette mesure paraît insuffisante pour garantir la conservation de l'espèce dans la mesure où l'aire de distribution de *Haematostaphis barteri* est en dehors des zones protégées du Nord-Ouest du Bénin. De plus, l'étude de la variabilité génétique moléculaire a

mis en exergue l'existence probable d'une barrière génétique limitant les échanges de pollens et de graines entre le groupe génétique de Boukombé et les deux autres groupes. Cette situation pourrait aboutir à long terme à l'isolement de cette sous-population, et aboutir à une réduction de la variabilité génétique de *Haematostaphis barteri*, préjudiciable à sa survie, si rien n'est fait pour tout au moins maintenir le niveau du flux de gène actuel. Il paraît donc plus judicieux de combiner les deux types de conservation (Conservation *in situ* et *ex situ*) à l'image de ce que Assogbadjo (2006) a qualifié de «conservation *ex-situ* au champ» (dans le cas de *Adansonia digitata*) pour garantir le maintien de la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* et donc de sa survie. D'une manière pratique, cette stratégie consistera à conserver des variétés de *Haematostaphis barteri* cultivées sur pied dans des régions judicieusement choisies à l'intérieur de la niche écologique de l'espèce, et de sorte que cette nouvelle population établisse un pont en terme de flux de gènes entre les différentes sous-populations préexistantes.

Dans ce contexte, l'échantillonnage des populations et des individus à conserver constitue une étape importante dans le processus d'utilisation des ressources génétiques forestières. Ainsi, Brown et Hardner (2000) cité par Assogbadjo (2006) recommandent d'éviter 3 pièges, notamment (i) un échantillon trop limité, qui ne couvrirait pas la variation existante au sein de la population; (ii) un échantillon biaisé soit au niveau de la population soit au niveau des individus avec le risque d'omission de certaines variantes; (iii) un échantillon trop grand et difficile à gérer, occasionnant une perte d'énergie et d'argent.

L'analyse de la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* conduite dans cette étude a montré que les individus des quatre sous-populations de *Haematostaphis barteri* ont été répartis dans trois pools de gènes distincts. Le coefficient de différenciation entre sous-populations a été estimé à 0,17. Ce qui signifie que 17% de la variation totale est inter sous-population et donc 83% de la variation totale est intra sous-populations c'est-à-dire que la grande majorité de la composition génétique de *Haematostaphis barteri* est présente au sein des sous-populations. Sur la base de ces résultats, un échantillonnage au niveau intra sous-populations devrait permettre de piéger la variation génétique de base existant au sein de l'espèce. Et la conservation *in situ* des ressources génétiques de la prune rouge au Bénin devra consister à définir pour toute la population de l'espèce des unités de conservation. A l'instar de la proposition faite par Assogbadjo (2006) pour le baobab, Il ne s'agira pas d'une protection absolue de domaine sous forme d'aire protégée, mais plutôt d'un nouveau système de production valorisant d'une part, les populations naturelles de la prune rouge à travers leur protection et d'autre part, les cultures annuelles non polluantes de l'environnement. Quant à la conservation *ex situ*, elle pourrait se faire, soit à travers la création de banque de gènes des

ressources génétiques de la prune rouge soit par extension de son habitat à travers son introduction dans des habitats similaires grâce aux plantations à conserver sous forme de systèmes agroforestiers.

Par ailleurs, les sous-populations de Natitingou I et de Bouboubé abritent en leur sein les individus de tous les pools de gènes inférés. De plus, dans la sous-population de Natitingou I, on note la présence des pieds de *Haematostaphis barteri* les plus gros et produisant de gros fruits avec une quantité de pulpe importante et dans la sous-population de Boukoubé, on note l'existence d'une fréquence d'allèles privés au niveau de certains individus de *Haematostaphis barteri*. Ces deux sous-populations mériteraient donc une attention particulière durant les opérations d'échantillonnage des graines et de conservation *in situ*. Aussi, l'étude a révélé une variation relativement importante des traits morphologiques liés à l'espèce en fonction du relief. La sélection des individus à échantillonner devra tenir compte de leur localisation soit sur les sommets de colline soit sur les versants de colline soit sur les plateaux afin de maximiser la chance d'avoir des génotypes différents.

7.2 Conclusion générale et perspectives

Au terme de la présente étude sur l'importance socio-économique et la caractérisation structurale, morphologie et génétique moléculaire de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook. F.) au Bénin, tous les objectifs spécifiques fixés au départ sont atteints. Les avancées apportées par l'étude pour la gestion efficiente de *Haematostaphis barteri* sont: (i) l'identification des groupes sociolinguistiques des populations locales comme un facteur déterminant l'utilisation durable de *Haematostaphis barteri*; (ii) l'identification de la quantité totale de la main d'œuvre et la quantité totale du capital comme les facteurs déterminants significativement le revenu net issu de la vente des fruits par les populations locales; (iii) les structures démographiques de *Haematostaphis barteri* ont révélé une précarité de l'état de ces peuplements dans tous les sites (vieillessement des peuplements et difficultés de régénération naturelle), toutefois, les hauts versants et sommets de colline apparaissent comme l'habitat privilégié de *Haematostaphis barteri*; (iv) l'identification de la géomorphologie des sites comme un facteur influençant les caractéristiques dendrométrique et morphologique de *Haematostaphis barteri*; (v) la révélation de quatre morphotypes dont celui de Natitingou I particulièrement intéressant pour les éventuels programmes de sélection au vu des caractéristiques des fruits de ses populations; (vi) la révélation de trois groupes génétiques différents avec une différenciation plus ou moins marquée du groupe génétique de Boukoubé par rapport aux deux autres groupes. La mise en évidence dans ce groupe d'une fréquence

d'allèles privés, quoi que faible, le rend particulièrement intéressant à la création de programmes de sélection et d'amélioration génétique.

Au regard des résultats obtenus à l'issue du présent travail de recherches, quelques points d'ombres méritent d'être éclaircis à travers d'autres travaux de recherche. Ainsi, nous suggérons les axes de recherches ci-après:

1. screening phytochimique de *Haematostaphis barteri* afin d'obtenir un maximum d'informations sur la plante relatives à son efficacité toxicologique, physiologique, pharmacodynamique, corrélée par les principes actifs que contient l'espèce. De telles études doivent permettre la mise au point des médicaments utilisables dans les soins de santé primaire à moindre coût. Elles doivent permettre de mettre en exergue les connaissances locales collectées sur la valeur médicinale de la plante sur le terrain ;
2. caractérisation biochimique des fruits de *Haematostaphis barteri* en considérant la provenance de pieds et la topographie des sites pour comparer leur teneur en éléments nutritifs ;
3. analyse de la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* à l'aide des marqueurs microsatellites. Cette étude nécessitera d'abord le développement des microsatellites propres à l'espèce (ne sont pas encore disponibles) puis permettra de mieux investiguer sur la structure génétique des populations de *Haematostaphis barteri* ;
4. analyse de la variabilité du comportement germinatif des graines de *Haematostaphis barteri* en relation avec la durée de stockage, les différents traitements pré-germinatifs, les provenances, la topographie des sites et les 3 pools de gènes identifiés ;

Références bibliographiques

- Abasse T., Weber C.J., Katkore B., Boureima M., Larwanou M., Kalinganire A. (2011). Morphological variation in *Balanites aegyptiaca* fruits and seeds within and among parkland agroforests in eastern Niger. *Agroforest Syst* **81**:57–66. DOI 10.1007/s10457-010-9323-x.
- Adam S.K., Boko M. (1993). Le Bénin. Les éditions du Flamboyants/EDICEF, 95 p.
- Adjanohoun E.J., Adjakidjè V., Ahyi M.R.A., Ake Assi L., Akoègninou A., d'Almeida J., Apovo F., Boukef K., Chadare M., Cusset G., Dramane K., Eyme J., Gassita J.N., Gbaguidi N., Goudote E., Guinko S., Hounnon P., Issa L.O., Keita A., Kiniffo H.V., Kone-Bamba D., Musampa Nseyya A., Saadou M., Sogodandji Th., de Souza S., Tchabi A., Zinsou Dossa C., Zohoun Th. (1989). Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Bénin. Agence de Coopération Culturelle et Techniques, Paris, 895 p.
- Adomou C.A. (2005). Vegetation pattern and environmental gradients in Benin: Implication for biogeography and conservation. PhD thesis Wageningen University, Wageningen, 133 p
- Aga E., Bekele E., Bryngelsson T. (2005). Inter-simple sequence repeat (ISSR) variation in forest coffee trees (*Coffea Arabica* L.) populations from Ethiopia, *Genetica* **124**: 213-221.
- Agbogon A., Tozo K., Wala K., Batawila K., Dourma M. et Akpagana K. (2012). Abondance et structure des populations d'un fruitier spontané : *Haematostaphis barteri* Hook. F. dans deux sites rocheux en région soudanienne au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6): 604-6048. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.31>.
- Agbogon A., Bammite D., Tozo K. et Akpagana K. (2014). Contribution à la multiplication par graines et par bouturage de segments de tiges et de racines de trois fruitiers spontanés de la région des savanes au Togo : *Haematostaphis barteri* Hook. F., *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. *European Scientific Journal* **10**(6): 195-211.
- Agbogon A., Tozo K., Wala K., Bellefontaine R., Dourma M., Akpavi S., Woegan Y.A., Dimobe K. et Akpagana K. (2015). Structure des populations de *Sclerocarya birrea*, *Lannea microcarpa* et *Haematostaphis barteri* au nord du Togo. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **25**(2): 3871-3886.
DOI: <http://www.m.elewa.org/JAPS>.

- Ahoton, L. E., Adjakpa, J. B., M'po, M. I. et Akpo, E. L. (2009). Effet des prétraitements des semences sur la germination de *Prosopis africana* (Guill., Perrot. Et Rich.) Taub., (Césalpiniciées), *Tropicultura*, **27**(4) :233-238.
- Akoègninou A., Adjakidje V., Essou J.P., Sinsin B., Yedomonhan H., Van Der Brug W.J., Van Der Maesen L.J.G. (2006). Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers : Cotonou & Wageningen, 1034 p.
- Alexandre D.Y. (1989). Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de Côte d'Ivoire. Série Etudes et thèses, Paris, ORSTOM, 102 p.
- Allal F. (2010). Patrons de variabilité chez *viitellariia paradoxa* (karité): étude phytogéographique et analyse combinée de la variation des acides gras, des tocophérols et de gènes candidats. Thèse de doctorat unique, Université de Montpellier 2, France 310 p.
- Amana K. E. (2007). Les Anacardiaceae du Togo : Etudes Botaniques, Ecologiques et Propriétés Antifongiques. Thèse de doctorat, Université de Reims, 183.p
- Ammari Y., Zouaoui R., Abbasi M., Jebali S. and Hamdi S. (2016). Study of Dendrometric and Morphological Variability of *Celtis Australis* Located in Northern Tunisia. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*. 5(3).
- Ameyaw E.O, Kukuia K.K.E, homford A.K.T, Kyei S., Mante P.K., Boampong J.N. (2016). Analgesic properties of aqueous leaf extract of *Haematostaphis barteri*: involvement of ATP-sensitive potassium channels, adrenergic, opioidergic, muscarinic, adenosinergic and serotonergic pathways. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. ISSN (Online) 2191-0286, ISSN (Print) 0792-6855, DOI: 10.1515/jbcpp-2015-0108.
- Amoo I.A., Lajide L. (1999). Chemical composition and nutritive significance of underutilised *Haematostaphis barteri* fruit. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, **76**(10): 441-442. ISSN 0035-6808.
- Amouzou K.S., Adaké B., Batawila K., Wala K., Akpavi S., Kanda M., Odah K., Titrikou K.K., Butaré I., Bouchet P. et Akpagana K. (2006). Études biochimiques et évaluation des valeurs nutritionnelles de quelques espèces alimentaires mineures du Togo. *Acta Botanica Gallica*, **153**(2): 147-152. DOI: 10.1080/12538078.2006.10515533.
- Angers V.A., Beaudet M., Guillemette F., Jetté P.J., et Messier C. (2014). Complexité structurale des peuplements feuillus : Caractérisation, influence de l'aménagement et avenues pour la restauration. Gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, de la Faune

- et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'aménagement et de l'environnement forestière, Rapport hors-série, 82 p.
- Arbonnier M. 2002. Arbres arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD-MNHN, 2è ed., 573 p.
- Arbonnier M. (2005). Arbres arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD-MNHN.
- Arbonnier M. (2009). Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Paris, France : MNHN, éd. QUAE.
- Aremu O.M., Oko J.O., Ibrahim H., Basu K.S., Andrew C., Ortutu S. C. (2015). Compositional evaluation of pulp and seed of Blood Plum (*Haematostaphis barteri*), a wild tree found in Taraba State, Nigeria. *Advances in Life Science and Technology*, **33**:9-17. ISSN 2224-7181 (Paper) ISSN 2225-062X
- Asase A., Oteng-yeboah A., Odamtten T., Simmonds M. (2005). Ethnobotanical study of some Ghanaian anti-malarial plants. *Journal of Ethnopharmacology*, **99**(2): 273-279.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2005.02.020>.
- Assogbadjo A.E. (2006). Importance socio-économique et étude de la variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. Thèse de doctorat. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium, 213.p
- Assogbadjo A.E., Glele kakai R. Chadare F.J. Thomson L. Kyndt T., Sinsin, B. Van Damme P. (2008). Folk classification, perception, and preferences of baobab products in West Africa: Consequences for species conservation and improvement. *Economic Botany* **62**: 74-84.
- Assogbadjo A.E., Glèlè Kakai R., Adjallala F.H., Azihou A.F., Vodouhê G.F., Kyndt T., Codjia J.T.C. (2010). Ethnic differences in use value and use patterns of the threatened multipurpose scrambling shrub (*Caesalpinia bonduc* L.) in Benin. *Journal of Medicinal Plants Research*, **5**(9): 1549-1557. DOI: [_http://www.academicjournals.org/JMPR](http://www.academicjournals.org/JMPR).
- Atangana A. R, Tchoundjeu Z., Fondoun J-M., Asaah E., Ndoumbe M.& Leakey R. R. B. (2001). Domestication of *Irvingia gabonensis*: Phenotypic variation in fruits and kernels in two populations from Cameroon. *Agroforestry Systems* **53**: 55–64.
- Atangana, A.R. (2010). Phenotypic diversity in fruit and seed traits and neutral genetic diversity in *Allanblackia floridunda*. PhD dissertation, Laval University, Quebec, Canada.
- Atato A., Wala K., Batawila K., Woegan Y.A., Akpagana K. (2010). Diversité des fruits ligneux spontanés du Togo. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*. **4**(1):1-9

- Azontondé H.A., Dagbénonbakin G., Igué M.A. (2009). Carte de fertilité des sols par zone agroécologique au Bénin. Rapport multigrade, Afrique étude, Cotonou, Bénin, 142 p.
- Avocèvou, C., Sinsin, B., Adégbidi, A., Dossou, G. and Van Damme, P. (2009). Sustainable use of non-timber products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin. In *Forest Ecology and Management* **257**: 1930-1938.
- Bączkiewicz A. (2012). Genetic diversity of leafy liverwort species (*Jungermanniiidae*, *Marchantiophyta*) in Poland: Regional genetic differentiation of leafy liverworts. *Biodiv. Res. Conserv.* **27**: 55-76. DOI 10.2478/v10119-012-0023-4.
- Bahuchet S., Hladik C. M., Hladik A., Dounias E. (1989): Les stratégies agricoles complémentaires de la chasse et de la pêche. In Hladik, C.M., Bahuchet, S. & Garine, I (eds). *Se nourrir en forêt équatoriale*. Paris : UNESCO/MAB/CNRS, 31-34
- Balla A., Baragé M., Larwanou M., Adam T. (2008): Le savoir-faire endogène dans la valorisation alimentaire des fruits du pommier du Cayor (*Neocarya macrophylla*) au Niger. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, **59**: 1-8.
- Balogoun I., Saïdou A., Ahoton E.L., Amadji L.G., Ahohuendo C.B., Adebo I.B., Babatounde S., Chougourou D., Adoukonou-Sagbadja H., Ahanchédé A. (2014). Caractérisation des systèmes de production à base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie Africaine*, **26** (1): 9–22.
- Basha S.D., Sujatha M. (2007). Inter and intra-population variability of *Jatropha curcas* (L.) characterized by RAPD and ISSR markers and development of population-specific SCAR markers. *Euphytica*. **156**: 375–386.
- Bayala J., Sibiri J. Ouedraogo Z. Teklehaimanot. (2008). Rejuvenating indigenous trees in agroforestry parkland systems for better fruit production using crown pruning. *Agroforest Systems*, **72**: 187–194.
- Bertault J. G., Dupuy B. & Maitre H. F. (1998). Recherches sylvicoles pour un aménagement durable en forêt dense humide. In : *Actes du Congrès IUFRO, Berlin, Allemagne*, 5-23
- Besse P., Da Silva D., Bory S., Grisoni M., Le Bellec F., Duval M. F. (2004). RAPD genetic diversity in cultivated vanilla: *Vanilla planifolia*, and relationship with *V. tahitensis* and *V. ponpona*. *Plant Science* **167**, 379-385.
- Biaou H.S.S., Moutouama K.J., Dan C.S.B., Amahowé I.O., Moutouama T.F. and Natta K.A. (2017). Uses of *Haematostaphis barteri* Hook.f. among the Waaba and Bètamaribè in North-Benin and impact on the species vulnerability. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, **9**(5):146-157.DOI: 10.5897/IJBC2016.1063.

- Bieng N.A.M. (2007). Construction de modèles de structure spatiale permettant de simuler des peuplements virtuels réalistes : application aux peuplements mélanges chêne sessile – pin sylvestre de la région centre. Thèse de doctorat unique en Sciences forestières, ENGREF, centre de Paris, France. 215 p.
- Blackman G.E. (1942). Statistical and Ecological Studies in the Distribution of Species in Plant Communities: I. Dispersion as a Factor in the Study of Changes in Plant Populations. *Ann Bot* **6** (2): 351-370.
- Block J et Treter V. (2001). Les facteurs limitants à la partie supérieure et inférieure des forêts dans les limites de montagne -bois. 18 p.
- Boampong J.N., Karikari A.A., Ameyaw E.O. (2015a). In vivo antiplasmodial and in vitro antioxidant properties of stem bark extracts of *Haematostaphis barteri*. *Asian Pac J Trop Biomed* **5**(6): 446–450. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.02.002>
- Boampong J.N., Ameyaw E.O., Afoakwah R., Darko N.D., Tsorme-dzebu F. (2015b). Evaluation of antimalarial, anti-inflammatory and antipyretic activities of leaves extracts of *haematostaphis barteri*. *International Journal of Biological & Pharmaceutical Research*, **6**(3): 182-188.
- Bourliere P, Lamotte M. (1978). La notion d'écosystème. Un problème d'écologie. Ecosystèmes terrestres, Ed, Masson. Paris, 10 p.
- Bowditch B.M., Albright D.G., Williams J.G.K. & Braun M.J. (1993). Use of Randomly Amplified Polymorphic DNA Markers in Comparative Genome Studies. *Methods in Enzymology* **224**: 294-309.
- Bowe C. and Haq N. (2010). Quantifying the global environmental niche of an underutilized tropical fruit tree (*Tamarindus indica*) using herbarium records. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **139**(1-2): 51-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.016>.
- Brown A.H.D., Hardner C.M. (2000). Sampling the gene pools of forest trees for ex situ conservation. In: Young A, Boshier D & Boyle T (eds) *Forest Conservation Genetics: Principles and Practice*. CSIRO Publishing, CABI Publishing, pp 185-196.
- Catinot R. (1997). *L'aménagement durable des forêts denses tropicales humides*, ATIBT, Editions SCYTALE, Paris, 100 p.
- Chakraborty R., Jin L. (1993). A unified approach to study hypervariable polymorphisms: statistical considerations of determining relatedness and population distances, in: Chakraborty R., Epplen T., Jeffreys A.J. (éds.), *DNA fingerprinting: State of the Science*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1993, pp. 153-175.
- Chris, M., Phillip, G., Cris, B. and Juergen B. (2005). Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *Forest Ecology and Management* **218**:1-24.

- Clark P.J., Evans F.C. (1954). Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*. **35**:445-453.
- Codjia J.T., Assogbadjo A.E., Ekue M.R. (2003a). Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales, forestières alimentaires au Bénin. *Cahier agricultures*, **12**(5):321-331.
- Codjia J.T.C, Assogbadjo A.E., Ategbo E.A.D. (2003b): Ressources végétales forestières de la forêt classée de la Lama et alimentation des populations riveraines. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* **2**(4) :121-142.
- Collinet F. (1997). Essai de regroupement des principales essences structurales d'une forêt dense humide d'après l'analyse de leur répartition spatiale (Forêt de Paracon - Guyane). Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard Lyon I/ENGREF. 203 p.
- Cordonnier T., Tran-Ha M., Piat J. François D. (2007). La surface terrière : méthodes de mesure et intérêts. In Rendez-vous (RDV) techniques de l'Office National des Forêts (ONF), n° 18. 84 p.
- CTA. (2004). Le Magazine Spore. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) – Accords de Cotonou ACP-UE. ISSN 1011 0054, 16 p.
- Dadegnon S., Gbemavo C, Ouinsavi C, Sokpon N. (2014). Morphological variation and ecological structure of *Chrysophyllum albidum* G. Don. *International Journal of Plant & Soil Science*. **5**: 25-39.
- Dagnelie P. (1998). Statistiques théoriques et appliquées, de Boeck et Larcier. Bruxelles, Belg.
- Dan Guimbo I., Barage M., et Douma S. (2012). Etudes préliminaires sur l'utilisation alimentaire des plantes spontanées dans les zones périphériques du parc W du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **6**(6): 4007-4017. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.12>.
- Dauglas A., Charles B., David L. (2007). Changes in forest structure following variable retention harvests in Douglas-fidominated forests. 9 p.
- David J., Loudet O., Glaszmann J.C. (2006). Le regard de la génomique sur la diversité naturelle des plantes cultivées : contribution Dossier BIOFUTUR n°266 « Génome et diversité chez les plantes cultivées ». 22-27.
- Dawson K.I., Simons J.A., Waugh R and Powell W. (1995). Diversity and genetic differentiation among subpopulations of *Gliciridia sepium* revealed by PCR-based assays. *Heredity*, **74**: 10–18; DOI:10.1038/hdy.1995.2
- Dawson K.I and Powell W. (1999). Genetic variation in the Afromontane tree *Prunus africana*, an endangered medicinal species. *Molecular Ecology*, **8**(1): 151-156
DOI: 10.1046/j.1365-294X.1999.00518.x

- De Caluwé E. (2005). Etnobotanie, morfologische variabiliteit en natuurlijke regeneratie van *Adansonia digitata* in Atacora (Benin). Université de Gand, Belgique, 189 p.
- Debroux L. (1998). L'aménagement des forêts tropicales fondé sur la gestion des populations d'arbres : l'exemple du Moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre) dans la forêt du Dja, Cameroun. Thèse de doctorale, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 323 p.
- Derout R. (1994). Méthode d'étude de la structure des populations en forêts tropicales humides. DEA de l'université Lyon I, France, 51 p.
- Diabaté M., Béavogui P., Guilavogui K., Lamanda N., De Foresta H. (2009). Comparaison agroforêt/forêt en Guinée Forestière : structure et composition. In: Les agroforêts d'Afrique de l'Ouest et du Centre: dynamiques, performances et avenir ? Atelier de réflexion à partir de visites de terrain du 11 au 15 novembre 2008, Sérédou (Guinée). Lamanda Nathalie (ed.), De Foresta Hubert (ed.), Diabaté Moussa (ed.). IRAG, CIRAD, IRD, ISAV. Montpellier, France.
- Diallo O.B. (2001). Biologie de reproduction et évaluation de la diversité génétique chez une légumineuse *Tamarindus indica* L. (Ceasalpinioideae). Thèse de doctorat. Université de Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc, 119 p.
- Djossa B., Fahr J, Wiegand T, Ayihouenou B.E., Kalko E.K., Sinsin B, (2008). Land use impact on *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. C.F. Gaerten. Stand structure and distribution patterns: a comparison of Biosphere Reserve of Pendjari in Atacora district in Benin. *Agroforestry System*, **72** : 205-220.
- Dossou M.K.R., Codjia J.T.C., Biaou G., (2004a). Utilisations, fonctions et perceptions de l'espèce-ressource *Blighia sapida* (ackee ou faux acajou) dans le Nord-Ouest du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* **45** :17-28.
- Dossou M.K.R., Codjia J.T.C., Biaou G. (2004b). Rôle de la ressource forestière *Blighia sapida* (ackee ou faux acajou) dans l'économie des ménages du Nord-Ouest du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* **46** :33-41.
- Dupuy B., Doumbia, F., Diahuissie, A. & Brevet, R. (1997). Effet de types d'éclaircie en forêt dense humide ivoirienne. *Bois Forêt Trop.* **253** (3): 5-18.
- Ekue M. R. M., Assogbadjo A. E., Mensah G. A, Codjia J.T.C. (2004): Aperçu sur la distribution écologique et le système agroforestier traditionnel autour de l'ackée (*Blighia sapida*) en milieu soudanien au Nord Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* **44**: 34-44.

- Ekue R. M., Gailing O., Vornam B., Finkeldey R. (2011). Assessment of the domestication state of ackee (*Blighia sapida* K.D. Koenig) in Benin based on AFLP and microsatellite markers *Conserv Genet*, **12**:475–489
- El-Kassaby Y.A. (1992). Domestication and genetic diversity: should we be concerned? *Forest Chronicles* **68**: 687-700.
- Eromosele C.O., Eromosele I.C. (2002). Fatty acid compositions of seed oils of *Haematostaphis barteri* and *Ximenia americana*. *Bioresource Technology*, **82**(3): 303-304. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00179-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00179-1).
- Evans J. (2001). The forests handbook, éd. 2001. Blackwell Science Ltd, Oxford, Royaume-Uni. Volume 1, ISBN 0-632-04821-2.
- Evanno, G., Regnaut, S., Goudet, J. (2005). "Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study." *Molecular Ecology*, **14**(8) : 2611-2620.
- Eyog Matig, Gaoué O.G., Dossou B. (2002). Réseau «Espèces Ligneuses Alimentaires». Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 11–13 décembre 2000 au CNSF Ouagadougou, Burkina Faso 241: Institut International des Ressources Phytogénétiques.
- Ezekiel J S., Adamu H M., Chindo I Y., Garba I H. (2016). Phytochemical Profile and Antioxidant Activities of Solvent-solvent Fractions of *Haematostaphis barteri* Hook F. (Anacardiaceae) Stem Bark Extracts. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, **8**(1):51-56.
- Fandohan, A. B., Assogbadjo, A. E., Glèlè kakai, R. L., Sinsin, B. and Van Damme, P. (2010a). Impact of habitat type on the conservation status of tamarind (*Tamarindus indica* L.) populations in the W National Park of Benin. *Fruits*, **65**:11–19.
- Fandohan A.B, Assogbadjo A.E, Glèlè Kakai R.L, Sinsin B. (2010b). Variation in seed morphometric traits, germination and early seedling growth performances of *Tamarindus indica* L. *International Journal of Biological and Chemical sciences*. **4**: 1102-1109.
- Fandohan B., Assogbadjo E.A., Kakai G.R., Kyndt T., Sinsin B. (2011). Quantitative morphological descriptors confirm traditionally classified morphotypes of *Tamarindus indica* L. fruits. *Genet Resour Crop Evol*, **58**:299–309. DOI 10.1007/s10722-010-9575-3
- FAO (1998). La Gestion de l'Information sur les Sols et les Eaux pour la Sécurité Alimentaire au Bénin. Rapport technique. Rome, Italie. 72p.
- FAO (2001). La situation des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne et nord-soudanienne et plan d'action sous-régionale pour leur conservation et utilisation durable. Note thématique FGR/2F, FAO, IPGRI & ICRAF. FAO, Rome (Italy), 2001. <http://www.fao.org/forestry/Forestry.asp>

- FAO (2002). Rapports sur les ressources en sol du monde. Edition Food & Agriculture Org, 2002. Volume **98**:232p.
- FAO (2012a). Situation des forêts du monde 2011. Rome, Italie. 193p.
- FAO (2012b). Rapport sous régional PFNL, Afrique de l'Ouest, FAO, 19p.
- FAO (2015). Evaluation des ressources forestières mondiales 2015. Rapport National du Bénin. 85p.
- FAO (2016). Situation des forêts du Monde 2016. Résumé du rapport principal. 36 p.
- Favrichon V. (1997). Réaction de peuplements forestiers tropicaux à des interventions sylvicoles. *Bois et Forêts des Tropiques*, **254**(4): 5-24.
- Foggie A. (1960). Natural regeneration in the humid tropical forest. *Caribbean Forest. In* : Bongers F, Parren M. P. E., Swaine M. D., Traoré D. (eds) Forest climbing plants of West Africa: introduction. Vol **21**.
- Fontaine C., Lovett P.N., Sanou H., Maley J and Bouvet J.M. (2004). Genetic diversity of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), detected by RAPD and chloroplast microsatellite markers. *Heredity*, **93**: 639–648. DOI:10.1038/sj.hdy.6800591.
- Forni E. (1997). Types de forêts dans l'Est du Cameroun et Etude de la Structure diamétrique de quelques essences. Mémoire de DEA en Sciences agronomiques et Ingénierie biologique, Université de Gembloux, Belgique, 75 p.
- Francllet R. (1972). Cours de sylviculture. Projet FAO (Education et formation forestière). Maroc, 19/SF/0387. 152 p
- Frankham R, Ballou D.J and Briscoe A.D. (2004). A Primer of Conservation Genetics. *Cambridge University Press*; 1 edition, 236 p.
- Frankham R., Briscoe D. A, and Ballou J. D. (2002). Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press, New York, New York, USA, 607 p.
- Garnier A. (2008). Qu'est-ce qu'une espèce rare ? Origines et fonctionnement de la rareté naturelle. Travail bibliographique DEA BEFA, 36p.
- Gbemavo D.S.J.C. (2014). La caractérisation ethnobotanique et la modélisation de la dynamique de production du pourghère (*Jatropha curcas* L.) au Bénin (Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 170 p.
- Gnanglè P.C., Yabi J., Yegbemey N.R., Glèlè K.R., Sokpon N. (2012). Rentabilité économique des systèmes de production des parcs à karité dans le contexte de l'adaptation au changement climatique du nord-bénin. *African Crop Science Journal*, **20**(2): 589–602. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.13>.

- Goreaud F. (2000). Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes. Thèse de doctorat en Sciences forestières. ENGREF, Centre Paris, France. 362p.
- Gouwakinnou G.N, Kindomihou V, Assogbadjo A.E, Sinsin B. (2009). Population structure and abundance of *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hochst subsp. *birrea* in two contrasting land-use systems in Benin. *International Journal of Biodiversity and Conservation* **1**: 194–201.
- Gouwakinnou N.G. (2011a). Population ecology, uses and conservation of *Sclerocarya birrea* (a. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae) in Benin, West Africa. PhD Thesis, University of Abomey Calavi, Republic of Benin, 150 p.
- Gouwakinnou G.N., Assogbadjo A.E., Lykke A.M., Sinsin B. (2011b). Phenotypic variations in fruits and potential for selection in *Sclerocarya birrea* subsp. *birrea*. *Scientia Horticulturae* **129**: 777 – 783.
- Guignard J.L. Dupont F. (2004). Botanique: Systématique moléculaire, 13^{ème} édition. Paris: Masson.
- Guyomard R. (1989). Principaux concepts et méthodes relatifs à la description de la diversité génétique d'une espèce. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **314**: 8-108
- Hamrick K.J.L., Godt M.J. (1989). "Allozyme diversity in plant species." In 'Plant population Press, Sunderland, Massachusetts: 43-63.
- Hamrick K.J. L., Godt M.J., Sherman-Broy S.L. (1992). Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests*, **6**: 95-124.
- Hamrick J.L., Godt J.W. (1997). Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Sci.* **37**:26–30.
- Hasnaoui B. (1992). Chênaies du Nord de la Tunisie, Ecologie et régénération. Doctorat d'état des sciences naturelles, Univ de Provence Aix-Marseille I, 186 p.
- Hitimana, J., Kiyiapi J. L. et Njunge J. T. (2004), Forest structure characteristics in disturbed and undisturbed sites of Mt. Elgon Moist Lower Montane Forest, western Kenya, *Forest Ecology and Management* **194**: 269-291.
- Hooker J.D. (1860). XIV Illustrations of the Floras of the Malayan Archipelago and of Tropical Africa. *Transactions of the Linnean Society of London* **23**(1): 155-172. DOI: 10.1111/j.1096-3642.1860.tb00128.x
- Houëtchégnon O.T. (2016). Etudes ethnobotaniques, écologiques et morphologiques de *Prosopis africana* (guill, perrott. et rich.) taubert au Bénin et impacts des changements climatiques sur l'espèce. Thèse de Doctorat Unique. Ecole Doctorale Sciences Agronomique et de l'Eau, Université de Parakou, Bénin. 159 p.

- Hubert-Vincent F. (2007). Diversité génétique et adaptation des espèces aquatiques en milieu anthropisé. Synthèse de rapport d'activité de l'Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la Mer (IFREMER), 39 p.
- Husch, B., Beers, T. W. and Kershaw, J. A. (2003). Forest Mensuration. (4th Ed). John Wiley and Sons, Inc., New York. 443 p.
- Hutchinson J, Dalziel JM (1958). Flora of West Tropical Africa. Crown Agents, ed. 2. (Revised by R. W. J. Keay), 574-575.
- INSAE. (2013). Résultats définitifs du RGPH4 : que retenir des effectifs de population en 2013. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin, 33 p. www.insae-bj.org.
- Johnson N.L., Kotz S. (1970). Distributions in Statistics: Continuous Univariate Distributions -2, New York: Wiley, 136-137.
- Jongschaap R.E.E., Corré W.J., Bindraban P.S., Brandenburg W.A. (2007). Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. *Plant Research International* B.V. Wageningen Stichting Het Groene Woudt, Laren, Report 158
- Kadri K., Snoussi., M'barek B. et Abdallah B.A. (2006). Application de marqueurs moléculaires pour l'analyse de la diversité génétique chez l'amandier (*Prunus dulcis* Mill.). *Cahiers Agricultures* **15**(2) :195-202.
- Kaushik N., Kumar K., Kumar S., Roy S. (2007). Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha (Jatropha curcas L.)* accessions. *Biomass and Bioenergy*. **31**: 497-502.
- Khanuja S.P.S., Shasany A.K., Pawar A., Lal R.K., Darokar M.P., Naqvi A.A., Rajkumar S., Sundaresan V., Lal N., Kumar S. (2005). Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon Spreng* (Poaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* **33**: 171–186.
- Kiki M. (2008). Structure et régénération naturelle des populations de *Tamarindus indica* L. et de *Vitex doniana* Sw. dans la Réserve de Biosphère Transfrontalière du W/Bénin : Cas de la Commune de Banikoara. Mémoire d'Ingénieur des travaux. EPAC/UAC : 89p.
- Kodjo S. (2006) : Les parcs à rônier (*Borassus aethiopum* Mart) au Bénin : Modes de gestion et importance socio-économique. Mémoire de DEA, FSA/UAC, Abomey-Calavi-Bénin, 52 p.

- Koné B.A. Kalinganire A. et Doumbia M. (2009). La culture du jujubier: un manuel pour l'horticulteur sahélien. ICRAF Technical Manual n°.10. *World Agroforestry Centre*: Nairobi.
- Koura K, Dissou EF, Ganglo JC. (2013). Caractérisation écologique et structurale des parcs à néré [*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don] du département de la Donga au Nord-Ouest du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **7**(2): 726-738.
DOI: doi.org/10.4314/ijbcs.v7i6.19.
- Koura K. (2015). Gestion durable des parcs à *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. du Nord-Bénin (Afrique de l'Ouest) : ethnobotanique, structure, caractéristiques physico-chimique et génétique. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, 204 p.
- Kouyaté A.M. (2005). Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. Au Mali. Thèse de doctorat. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium. P. 207.
- Kouyaté A.M., Decalluwé E., Guindo F., Diawara H., Diarra I., N'diaye I., Van Damme. (2011). Variabilité morphologique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Mali. *Fruits*, **66** : 247-255.
- Kpadonou B.A.R., Adégbola Y.P. ; Tovignan D.S. (2010). Application de la Programmation Stochastique Discrète à l'évaluation de l'impact de la contrainte de crédit sur le revenu et la production agricoles dans la basse vallée de l'Ouémé. Poster presented at the Joint 3rd African Association of Agricultural, Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference, Cape Town, South Africa, September 19-23, 2010.
- Kremer A. (1994). Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. *Genet Sel Evol*, **26**:105s – 123s.
- Kubmarawa D., Adnnyang I.F.H., Magomy A.M. (2009). Proximate composition and amino acid profile of two non-conventional leafy vegetables (*Hibiscus cannabinus* and *Haematostaphis barteri*). *African Journal of Food Science*, **3**(9): 233-236. DOI: <http://www.academicjournals.org/AJB>.
- Ky J.M.K., Gnoula C., Zerbo P., Simpore J., Nikiema J.B., Canini A. and Millogo-Rasolodimby J. (2009). Study of floristic diversity and the structural dynamics of some species providers of non woody forest products in the vegetable formations of the centre east of Burkina Faso. *Pakistan Journal of Biological Science* **12** (14): 1004-1011.

- Kyndt T., Assogbadjo A.E., Hardy O.J., Glele Kakaï, R., Sinsin, B., Van Damme, P. and Gheysen, G. (2009). Spatial and temporal genetic structuring of *Adansonia digitata* L. (Malvaceae) in the traditional agroforestry systems of West Africa. *Am. J. Bot.*, **96**(5): 950–957.
- Laouali A., Dan guimbo I., Larwanou M., Inoussa M. M. et Mahamane A. (2014). Utilisation de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub dans le sud du Département d'Aguié au Niger : les différentes formes et leur importance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **8**(3): 1065-1074.
- Leakey R.R.B., Shckleton S. and du Plessis P. (2005). Domestication potential of Marula (*Sclerocarya birrea* subsp *caffra*) in South Africa and Namibia: 1 phenotypic variation in fruit traits. *Agroforestry System*, **64**: 25-35.
- Lefort-Buson M., Hebert Y., Damerval C. (1988). Les outils d'évaluation de la diversité génétique et phénotypique. *Agronomie, EDP Sciences*, **8** (3):.173-178.
- Linington S.H., Pritchard, H. W. (2001). Gene banks. *Encyclopedia of Biodiversity* **3**:165-181.
- Loveless M.D., Hamrick J.L (1984). Ecological Determinants of Genetic Structure in Plant Populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* **15**: 65-95
DOI: 10.1146/annurev.es.15.110184.000433
- Lovett P. N. (2000). The Genetic Diversity of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*) in the Farming Systems of Northern Ghana. PhD Thesis, University of Southampton. 187 p.
- Lowe A.J., Gillies A.C.M., Wilson J., Dawson I.K. (2000). Conservation genetic of bush mango from central/west Africa: Implication from random amplified polymorphic DNA analysis. *Molecular Ecology* **9**:831-841.
- Mabberley D.J. (1993). The Plant Book: A portable dictionary of the higher plants. Cambridge: University Press, 1993. 707p.
- Makueti J.T., Tchoundjeu Z., Kalinganire A., Nkongmeneck B.A., Kouodiekong L., Asaah E. and Tsobeng A. (2012). Morphological traits of control-pollinated fruits in African plum (*Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam.) using multivariate statistical techniques. *IJAAR*, **2**(8): 1-17.
- Mapongmetsem P.M, Kapchie V.N, Tefempa B.H. (2012). Diversity of local fruit trees and their contribution in sustaining the rural livelihood in the northern Cameroon. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*. **5**(1): 32-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ejesm.v5i1.5>
- McElhinny C., Gibbons P., Brack C., Bauhus J. (2005). Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *Forest Ecology and Management* **218**: 1-24.

- Mehrnia M., Zarre S., Sokhan-Sanj A. (2005). Intra-and inter-specific relationship within the *Astragalus microcephalus* complex (Fabaceae) using RAPD, *Biochemistry Systematic and Ecology* **33**(2): 149-158.
- Meirmans PG. (2006). Using the AMOVA framework to estimate a standardized genetic differentiation measure. *Evolution* **60**, 2399-2402.
- Merino, A., Real C., Álvarez-González J. G., Manuel A. et Rodríguez-Guitián M. A. (2007). Forest structure and C stocks in natural *Fagus sylvatica* forest in southern Europe: The effects of past management, *Forest Ecology and Management* **250**: 206-214.
- M'Hirit O. (1982). Etude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (*Cedrus atlantica* manetti). Thèse de doctorat des sciences, uni - d'Aix - Marseille III ; 436 p+ annexes.
- Milagawanda H.H., Khan I.Z., Timothy S.Y., Iliya I. (2016). Phytochemical screening and acute toxicity study of leaf extracts of *Haematostaphis barteri* (Blood grapes). *International Journal of Experimental Pharmacology* 6(1) 35-37.
- Minae S., Sambo E.Y., Munthali S.S. & Ng'ong'ola, D.H. (1994), Selecting priority indigenous fruit-tree species for central Malawi using farmers' evaluation criteria in: Maghembe, J. A. *et al.* Improvement of indigenous fruit trees of Miombo woodlands of southern Africa. Proceeding of a conference held on 23-27 jan. 1994, Malawi, 85-99.
- Moutouama K. J., Fandohan B. A., Samadori S. Honoré Biaou S. S. H., Amahowe I. O., Moutouama T. F. and Natta K. A. (2016). Potential climate change favored expansion of a range limited species, *Haematostaphis barteri* Hook f. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*. **110** (2): 397-411.
- Mush B., Valadon A. (2004). A propos de génétique des populations: contribution de Rendez Vous Techniques de l'Office National des Forêts, hors-série n°1 « Diversité génétique des arbres forestiers ». pp. 6 – 15.
- Nadkarni, N. M., McIntosh A. C. S. et Cushing B. J. (2008). A framework to categorize forest structure concepts, *Forest Ecology and Management* **256**: 872-882.
- N'Diaye M., Kéita F.B, Martin P. (2003). Principaux fruits de cueillette consommés et commercialisés en Guinée. *Fruits*, **58**(2): 89-98.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2002040>.
- Nei M. (1973). Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **70**(12): 3321-3323

- Nei M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Center for Demographic and Population. *Genetics*, **89**: 583-590
- Ngozi J.N., Ibezim A., Ntie-Kang F., Adikwu M. U., Mbah C. J. (2015). Anti-Trypanosomal Activity of Nigerian Plants and Their Constituents. *Molecules*, **20**:7750-7771. DOI: 103390/molecules20057750.
- Niéyidouba L., Tigabu M., Guinko S., Oden C.P. (2007). Variations in dendrometric and fruiting characters of *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn populations and multivariate models for estimation of fruit yield. *Agroforest Systems*, **69**(1): 1-11.
- Norman R.G. (1973). Productivity measurement. Mechanical Engineer's Reference Book, Pages 20-142–20-197. DOI: 10.1016/B978-0-408-00083-3.50044-8.
- Nwodo J.N., Ibezim A., Ntie-Kang F., Adikwu U.M. and Mbah J.C. (2015). Anti-Trypanosomal Activity of Nigerian Plants and Their Constituents. *Molecules*, **20**:7750-7771. DOI: 10.3390/molecules20057750.
- Office National des Forêts. Direction technique, (2004). Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. Rendez-vous technique de l'ONF, hors-série n°1. 130 p.
- Ouédraogo A.S. (1995). *Parkia biglobosa* (Leguminosae) en Afrique de l'Ouest : Biosystématique et amélioration, Univ. Agron. Wagening. Thesis, Wagening. Neth., 205.p
- Ouédraogo A., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K., Guinko S. (2006). Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse* **17**(4):485-491. DOI: 10.1684/sec.2006.0058.
- Ouinsavi C.A. N. (2006). Gestion durable des populations reliques d'Iroko au Bénin : Caractérisation structurale, variabilité morphologique et génétique, et stratégies de conservation. Thèse de Doctorat (PhD), Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles (AGRN), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 152p.
- Ouinsavi and Sokpon. (2010): Spatial structure of genetic variation of *Milicia excelsa* population in Benin revealed by random amplified polymorphic DNA markers, Annales de l'Université de Parakou, Série: *Sciences Naturelles et agronomie*: 1-19.
- PAM-AGVSA. (2014). Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA), République du Bénin. <http://www.wfp.org/food-security>.
- Pascal J.P. (2003). Description et dynamique des milieux forestiers : Notion sur les structures et dynamique des forêts tropicales humides. *Rev. For. Fr. LV* - numéro special, 118-130.

- Peakall R and Smouse PE. (2012). GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics* **28**, 2537-2539.
- Pelé J., Le Berre S. (1966). Les aliments d'origine végétale au Caméroun. Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé 234p.
- Pell S.K., (2004). Molecular systematics of the cashew family (Anacardiaceae). Thèse de Doctorat. St Andrews Presbyterian College, 207p.
- Petrucci Y., Tandeau de Marsac G. (1994). Dispositif de Recherche en forêt dense de Boukoko-La Lolé. Campagne 13. Evolution du peuplement adulte et de la régénération acquise après interventions sylvicoles. FAC / CIRAD 49 p.
- Philip, S. M. (2002). Measuring Trees and Forests. Second Edition: 31p.
- Phillips O.L., Hall P., Gentry A.H., Sawver S.A., & Vásquez Martinez R. (1994). Dynamics and species richness of tropical rain forest. *Proceedings of the National Academy of the Sciences USA*, **91**: 2805-2809.
- Pielou E.C. (1977). Mathematical Ecology. Wiley, New York, 385 p.
- Pommerening A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* **75**(3), 305-324.
- Pompelli M.F., Antunes W.C., Ferreira D.T.R.G., Cavalcante P.G.S., Wanderley-Filho H.C.L., Endres L. (2012). Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy*. **36**:77–85.
- Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. (2000). "Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data." *Genetics*, **155** (2): 945-959.
- Quesada M., Stoner E. K., Lobo A. J., Herrerias-Diego Y., Palacios-Guevara C., Munguia-Rosas A. M., Salazar O. A. K., and Rosas-Guerrero V. (2004). Effects of Forest Fragmentation on Pollinator Activity and Consequences for Plant Reproductive Success and Mating Patterns in Bat-pollinated Bombacaceous Trees. *BIOTROPICA* **36**(2): 131–138.
- Rabiou H. Bationo., B.A., Segla K.N., Diouf A., Mahamane A., Adjonou K., Kokou K. Kokutse., A.D, Saadou M. (2015). Structure des peuplements naturels de *pterocarpus erinaceus* poir. dans le domaine soudanien, au niger et au Burkina Faso. *Bois et forêts des tropiques*, **325** (3) :71-83.
- Raja R. G., Tauer C. G., Wittwer R. F., Huang Y. (1998). Regeneration methods affect genetic variation and structure in shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.). *Forest Genetics*, **5**(3): 171-178.

- Rajora O.P., Mosseler A. (2001). Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources. *Euphytica* **118**:197-212.
- Ripley B. D. (1977). Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society, B* **39**:172-212.
- Roach D.A., Wulff R.D. (1987). Maternal effects in plant. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **18**: 209-235.
- Rollet B. (1969). La régénération naturelle en forêt dense humide sempervirente de plaine de la Guyane Vénézuélienne. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, n° 124.
- Rollet B. (1974). L'architecture des forêts denses humides sempervirentes de plaine. Nogent sur Marne : *Centre Technique Forestier Tropical*, 298 p.
- Rollet B. (1984). Etude sur une forêt d'altitude des Andes Vénézuéliennes: La forêt de la Carbonera. *Bois et Forêt des Tropiques*, n° 205
- Rondeux, J. (1999). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses Agronomiques de Gembloux, 2ème Edition. Gembloux : 521p.
- Sajida B, Mohmummad U.D, Ghulam S.N, Imtiaz A.K, Mazher H.N, Fateh C.O, Umeed A.B. (2010). Molecular marker assisted selection for drought tolerant wheat genotypes. *Pak. J. Bot.*, **42**(4): 2443-2452.
- Sanou H., Picard N., Lovett P.N., Dembélé M., Korbo A., Diarisso D., Bouvet J.M. (2006). Phenotypic variation of agromorphological traits of the shea tree, *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. C.F Gaertn, in Mali. *Genet. Resour. Crop. Evol.* **53**:145–161.
- Sawadogo I. (2011). Ressources fourragères et représentations des éleveurs, évolution des pratiques pastorales en contexte d'aire protégée : cas du terroir de Kotchari à la périphérie de la réserve de biosphère du W au Burkina Faso. Thèse, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, France, 345 p.
- Savi M. (2011). Endogenous perceptions of changes and study of the phenotypic variability of fruit *Blighia sapida* KD Koenig in the Sudanian zone of Benin: Kandi Community of the cases and Ségbana, Toucountouna, University of Abomey-Calavi, Benin, Thesis agronomist, p.69.
- Schmitt L. & Bariteau M. (1990). Etude de la croissance et de la régénération naturelle. Dispositif de Paracou. *Bois et Forêt des Tropiques*, **220**: 3-23.
- Shields D.A. (1992). USDA's method of estimating fruit and tree nut production, *Fruit and Tree Nuts*, 58-63.
- Sina S. (2006). Reproduction et diversité génétique chez *Parkia biglobosa* (Jacq.) G. Don. PhD thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 118p.

- Sokpon N., Lejoly J.(1996). Les plantes alimentaires d'une forêt dense caducifoliée : Pobè au sud-est du Bénin in UNESCO (1996). L'alimentation en forêt tropicale : interactions bioculturelles et perspectives de développement, vol 1, pp: 315-324.
- Soloviev P., Niang T. D., Gaye, A. et Totte A. (2004). Variabilité des caractères physico-chimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette, récoltés au Sénégal : *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica*. *Fruits* **59**: 109-119.
- Sonohat G., Balandier P., Ruchaud F. (2004). Predicting solar radiation transmittance in the understorey of even-aged coniferous stands in temperate forests. *Annals of Forest Science*. **61**(7):629-641.
- Sourou B.N, Ouinsavi C.A.I.N. and Sokpon N. (2016a). Ecological Structure and Fruit Production of Blood Plum (*Haematostaphis barteri* Hook. F) Subpopulations in Benin. *International Journal of Plant & Soil Science* **9**(2): 1-12. DOI: 10.9734/IJPSS/2016/22059.
- Sourou B.N., Yabi J., Ouinsavi C.I.A.N. et Sokpon N. (2016b). Importance socio-économique de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook F.) au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(1): 326-343. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.25>.
- Svensson J.S., Jeglum J.K. (2001). Structure and dynamics of an undisturbed old-growth Norway spruce forest on the rising Bothnian coastline. *Forest Ecology and Management*. **151**:67-79.
- Tadzabia K., Maina H.M, Maitera O.N., Ezekiel J.S. (2013). Evaluation of phytochemical and elemental contents of *Haematostaphis barteri* leaves and stem bark in Hong local government area of Adamawa state, Nigeria. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **5**(9):150-156. DOI: www.jocpr.com.
- Tchabi V.I. et Adechi K.O. (2014). Occupation des terres, typologie et structure des faciès de végétation à *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. (Gaertn F.) de la Commune de Toukountouna au Nord-Bénin. *International Journal of Biology and Chemical Science*. **8**(4): 1684-1696. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.29>.
- Thiombiano D. N. E, Lamien N., Dibong S. D. et Boussim I. J. (2010). Etat des peuplements des espèces ligneuses de soudure des communautés rurales de Pobé-Mengao et de Nobéré (Burkina Faso). *Journal of Animal and Plant Sciences* **9**: 1104-1116.
- Umaru H.A, Adamu R., Dahiru D., Nadro M.S. (2007). Levels of antinutritional factors in some wild edible fruits of Northern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, **6**(16):1935-1938. DOI: <http://www.academicjournals.org/AJB>.

- Vincent F., Sylvie G., Hélène D. (1998). Parcelles permanentes de recherches en forêt dense tropicale humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse des données. C.I.R.A.D. Forêt CAMPUS International de Baillargent B.P 5035.-.Monplaisier Cedex 1 France, 28 p.
- Vodouhè G. F. (2003). Etude socio-économique du pommier sauvage (*Irvingia gabonensis*) dans le système agroforestier traditionnel au Bénin: cas du département du plateau. Thèse d'Ingénieur Agronome. Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 111 p.
- Wala K, Sinsin B, Hahn-Hadjali K. et Akpagana K. (2006). Analyse floristique et écologique de la végétation de la chaîne de l'Atakora au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé* **8** (1): 9-18.
- Whitmore T.C. (1991). Tropical rain forest dynamics and its implications for management. UNESCO, *Man and the Biosphere series* **6**: 67-86.
- Williams J.G.K., Hanafey M.K., Rafalski J.A. & Tingey S. (1993). Genetic analysis using random amplified polymorphic DNA markers. *Methods in Enzymology* **18**: 704-740.
- World Agroforestry Centre. (2008). Transforming Lives and Landscapes. Strategy: 2008-2015, Nairobi, Kenya. 51p.
- Wulder, M. A., White J. C., Andrewa M. E., Seitz N. E. et Coops N. C., (2009). Forest fragmentation, structure, and age characteristics as a legacy of forest management, *Forest Ecology and Management* **258**:1938-1949.
- Yeh F.C., Chong D.K.X., Yang R.C. (1995). RAPD variation within and among natural populations of Trembling Aspen (*Populus tremuloides* Michx.) from Alberta. *Heredity* **86**: 454-460.
- Yunana Y., Umaru H.A. (2015). Effect of *Haematostaphis barteri* fruits on some selected cardiovascular risk factors. *Journal of Cell Biology and Biochemistry Research* **2**(1):1-5. <http://www.apexjournal.org> ISSN 2315-8870.
- Zeide B. (2005). How to measure stand density. *Trees*. **19**(11):1-14.
- Zhang D. (2012). Marqueurs moléculaires. Outils de choix pour le génotypage des plantes, in: Les apports de la biologie moléculaire en arboriculture fruitière, 12e colloque sur les recherches fruitières.
- Zenner E.K. (2000). Do residual trees increase structural complexity in Pacific Northwest coniferous forests? *Ecological Applications*. **10**:800-810.
- Ziblim A.I., Timothy A.K., Deo-Anyi J.E. (2013). Exploitation and use of medicinal plants, Northern Region, Ghana. *Journal of Medicinal Plants Research*. **7**(27) : 1984-1993. DOI: 10.5897/JMPR12.489.