

ISSN: 2028-991X

Revue Marocaine des
**Sciences Agronomiques
et Vétérinaires**

Volume 11 (1) - Mars 2023

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,
BP: 6202, Madinate Al Irfane, Rabat 10112, Maroc
www.iav.ac.ma

Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. B.P. 6202, Madinat Al Irfane, Rabat - 10112, Maroc

Dépôt légal: 2011 PE 0060 / ISSN: 2028-991X / e-ISSN: 2550-4401

www.agrimaroc.org

Comité de la Revue

Secrétaire Général du Département de l'Agriculture, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts

Directeur de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Directeur de la Recherche Scientifique et de la Formation Doctorale, IAV Hassan II

COMITÉ ÉDITORIAL

Éditeur de la revue

Prof. Ahmed BAMOUH, Éditeur en chef, IAV Hassan II,

Éditeurs de rubriques

• Coordinateur du Comité Éditorial, BAMOUH A., Production Végétale • BARTALI E., Ingénierie Agricole • ABDENBI E., Toxicologie Vétérinaire • EL OTMANI M., Horticulture • CHTAINA N., Phytopathologie • BOUCHRITI N., Hygiène Alimentaire • ETTARID M., Ingénierie Topographique • ARABA A., Production Animale • HOSSAINI-HILALI J., Physiologie Animale • KARIB H., Hygiène Alimentaire • OUASSAT M., Anatomie Animale • ALALI S., Pathologie des Ruminants •

ÉVALUATEURS SCIENTIFIQUES

• ABDENBI E. (Toxicologie Vétérinaire) • ACHAÂBAN M.R. (Anatomie Comparée) • AIT EL MEKKI A. (Agro-économie) • AIT HOUSSA A. (Agronomie) • AIT LBACHA H. (Chirurgie des Ruminants) • ABOUSALIM A. (Horticulture) • AFECHTAL M. (Virologie Végétale) • ALAMI IDRISSE N. (Zoologie Agricole) • ALAOUI N. (Agronomie) • ALAOUI L. (Alimentation et Nutrition) • ALALI S. (Pathologies des ruminants) • ARABA A. (Production Animale) • BAALI E.H. (Énergie Agricole) • BAMOUH A. (Agronomie) • BENABDELLAH M. (Agro-économie) • BENAZZI S. (Histologie et Anatomie pathologique vétérinaires) • BENGOUIMI M. (Sciences Camelines) • BELQADI L. (Génétique Végétale) • BERDAY N. (Aquaculture) • BERRADA J. (Microbiologie et immunologie animales) • BIROUK A. (Génétique Végétale) • BOUHACHE M. (Malherbologie) • BOUHALOUA M. (Foresterie) • BOUCHRITIN. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • BOUKHLIQ R. (Reproduction Animale) • BOUHIDA M. (Virologie Agricole) • BOUNFOUR M. (Pathologie Végétale) • BOURARACHE-H. (Machinisme Agricole) • BOUSLIKHANE M. (Épidémiologie Vétérinaire) • BOUZOUBAAK. (Pathologie Aviaire) • CAMUS C. (Virologie, Biologie Moléculaire) • CHAIBIA. (Technologie Alimentaire) • CHIKHAOUI M. (Sciences du Sol) • CHENTOUF M. (Reproduction Animale) • CHLYEH G. (Zoologie Agricole) • CHTAINA N. (Pathologie Végétale) • CHAIBI A. (Microbiologie Alimentaire) • DAHANI S. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • DAHCHOUR A. (Chimie Agricole) • DERQAOUI L. (Reproduction Animale) • DOUKKALI R. (Agro-économie) • DOUIRA A. (Pathologie Végétale) • DRISSI TOUZANI C. (Pathologie Aviaire) • DUCATEZ M. (Virologie animale) • EL ALLALI K. (Neurobiologie Animale) • EL AMIRI B. (Reproduction Animale) • EL AYACHI M. (Ingénierie Topographique) • EL BERBRI I. (Microbiologie et Immunologie Animales) • EL HAMMOURI B. (Biochimie Environnementale) • EL HOUADFI M. (Pathologie Aviaire) • EL HRAIKIA. (Pharmacologie et Toxicologie Vétérinaires) • ESSARIOUIA. (Pathologie Végétale) • ESSIARI M. (Oléiculture) • ETTARID M. (Ingénierie Topographique) • EZZAHOUANI A. (Viticulture) • FASSI-FIHIRI O. (Microbiologie et Immunologie Animales) • FAYE B. (Sciences Camelines) • FELLAHI S. (Pathologie Aviaire) • FILALI-MALTOUF A. (Biologie Moléculaire) • GHAOUTI L. (Génétique Végétale) • GUEROUALI A. (Sciences Vétérinaires) • HALIS O. (Toxicologie Animale) • HAMDANI M. (Chimie Environnementale) • HAMMANI A. (Génie Rural) • HARROUNI C. (Espaces Verts) • HERZENNI A. (Sociologie Rurale) • HORMATALLAH A. (Pesticides) • HMIMINA M. (Zoologie Agricole) • HOUMY K. (Machinisme Agricole) • HOSSAINI-HILALI J. (Physiologie Animale) • ISMAILI ALAOUI M. (Technologie Alimentaire) • JANATI IDRISSE D. (Technologie Alimentaire) • KADIRI A. (Microbiologie et Immunologie Animales) • KARIB H. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • KHAYI S. (Biologie Moléculaire, Biotechnologie) • KHALLAYOUNE K. (Parasitologie Animale) • KHEYYALI D. (Aquaculture) • KICHOU F. (Histologie et Anatomie Pathologique Vétérinaires) • KUPER M. (Ressources en Eau) • LAHLALI R. (Pathologie Végétale) • LAMRINI M. (Halieutique) • MAHHOU A. (Arboriculture Fruitière) • MAAZOUZ A. (Sciences Vétérinaires) • MAZIH A. (Zoologie Agricole) • MOUAHID M. (Pathologie aviaire) • MOUNIR M. (Sciences Alimentaires) • M'SADAK Y. (Agro-équipements) • NAIMI M. (Sciences du Sol) • NASSIK S. (Pathologie Aviaire) • OUASSAT M. (Anatomie Comparée) • OUCHBANI T. (Biochimie et Industrie Agro-alimentaire) • OUKESSOU M. (Physiologie et Thérapeutique Animales) • RAHMANI M. (Technologie Alimentaire) • RAHMATALLAH N. (Pathologie Aviaire) • ROUCHDI M. (Ingénierie Géodésique) • SAIDI B. (Technologie Alimentaire) • SAHRAOUI N. (Pathologie Aviaire) • SEBARI I. (Ingénierie Topographique) • SEMLALI E-H. (Ingénierie Topographique) • SGHIRI A. (Reproduction Animale) • SKIDMORE J.A. (Reproduction Cameline) • SRAIRI M-T. (Production Animale) • TANJIA. (Malherbologie) • TIBARY A. (Reproduction Animale) • TRIQUI R. (Hygiène et Sécurité Sanitaire des Aliments) • ZAHAR M. (Technologie Alimentaire) • ZOUAGUI Z. (Pathologies des Ruminants) •

Sommaire

RESSOURCES NATURELLES ET FORESTERIE

Principales plantes aromatiques et médicinales forestières dans la région Rabat-Salé-Kénitra, Maroc

Soukaina HAKKOU, Mohamed SABIR, Nadia MACHOURI 1

Évaluation des facteurs de menace et de vulnérabilité potentielles des plantes médicinales et aromatiques au nord-ouest tunisien

Nouri JDAIDI, H. SELMI, F. ALOUI, S. JEDIDI, A. CHAABANE 14

Effet de l'assèchement sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux de ruisseaux affluents des rivières Alibori et Sota au nord Bénin

Zoulkanerou OROU PIAMI, Hotèkpo AKODOGBO, Fadéby GOUISSI, K. ABAHI, Y. IDRISOU, M. GNOHOSSOU ... 22

Habitat faunique et faune du bassin du fleuve Mono, Afrique de l'ouest

Aboudoumisamilou ISSIFOU, W. ATAKPAMA, H. EGBELOU, M. BAWA, Komlan BATAWILA, Koffi AKPAGANA 30

Valeurs ethno-médicale et socio-économique de *Irvingia tenuinucleata* à Gbado-Lite, RD du Congo

Jean-Paul NGBOLUA, Ruphin DJOLU, Colette MASENGO, JeffITEKU, Pius MPIANA, Jean MUDOGO 40

Étude phyto-chimique et activité glucophage *in vitro* de *Laportea aestuans* (L.) Chew. (Urticaceae)

Felicien LUKOKI, Darmeline MUSIKA, Benjamin GBOLO, Anthony KIKUFI, Hyacinthe LUKOKI 49

Dominance de *Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera* et *Meliponula* sp dans l'Apidofaune de la Réserve de Biosphère de Luki, RD Congo

Hyacinthe Nkosi LUKOKI, Joel Bulobo ILUNGA, Félicien Luyeye LUKOKI 54

PRODUCTION VÉGÉTALE ET ENVIRONNEMENT

La microdose, une technologie de fertilisation pour une gestion durable des terres et d'amélioration des rendements maraîchers dans le Bassin Arachidier au Sénégal

Adama TOUNKARA, Saer SARR, Cheikh Ahmadou Bamba NGOM, Nogaye NDIAYE, Mbène Dièye FAYE 59

Performances de la fertilisation par microdose sur les céréales sèches dans le Bassin Arachidier au Sénégal

Adama TOUNKARA, Mbène FAYE, Cheikh Ahmadou Bamba NGOM, Saer SARR, Nogaye NDIAYE, Amadou SECK 64

Quelques Poaceae adventices de cultures dans les zones agroécologiques du Sénégal

Djibril DIOP, Samba Laha KA, Jules DIOUF, Mame Samba MBAYE, Kandjioura NOBA 70

Diversité des méthodes d'effarouchement des oiseaux dans les agro-écosystèmes du Bénin

Hippolyte AGOSSOU, Gilles NAGO, Toussaint LOUGBEGNON, Samadori Honoré BIAOU 80

Caractérisation des risques agro-climatiques liés à la culture du maïs (*Zea mays*) au nord du Togo sous la variabilité climatique

Sinandja DIYANI, Issaka LONA 86

PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES

Les maladies génétiques chez le cheval

Oumaima AMINOU, Mohammed MACHMOUM, Bouabid BADAOUI, Mohammed PIRO..... 99

Perception des aviculteurs traditionnels sur la maladie de variole aviaire au sud Bénin

Bienvenue SEDEGAN, Yao AKPO, Cyrille BOKO, Eloie ATTAKPA, Ibrahim ALKOIRET 107

Caractérisation des exploitations d'élevage bovin de types sylvopastoral et agrosylvopastoral au Bénin

Célestin HESSA, Yaya IDRISOU, A. ASSANI SEIDOU, H. SANNI WOROGO, Ibrahim ALKOIRETTRAORE 113

ÉCONOMIE AGRICOLE ET RURALE

Typologie du profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole au Nord Bénin

Patrice BATONWERO, Pamphile K. DEGLA, Barnabé AGALATI..... 119

PÊCHE ET HALIEUTIQUE

Inventaire des poissons capturés par la pêche aux claies au Sud-Ubangi (RD Congo)

Jean Bernard BOSANZA, Junior-Gauthier WEMBODINGA, Nicodème NDOMBA, Jean-Paul NGBOLUA, Nathan-Fernand NYONGOMBE..... 128

Commercialisation des poissons capturés par la pêche aux claies au Sud-Ubangi, République démocratique du Congo

Jean Bernard BOSANZA, Joseph BOKOLO, Trésor ONADAMBO, Nicodème NDOMBA, Jean-Paul NGBOLUA 135

INGÉNIERIE TOPOGRAPHIQUE ET GÉODÉSIE

Recalage d'images avec la corrélation d'images basée sur la méthode de Fourier

Laila RASMY, Imane SEBARI, Laila ELBOUKHARY, Hajar LEGHMID, Mohamed ETTARID..... 144

Principales plantes aromatiques et médicinales forestières dans la région Rabat-Salé-Kénitra, Maroc

S. HAKKOU¹, M. SABIR², N. MACHOURI¹

(Reçu le 30/01/2023; Accepté le 05/02/2023)

Résumé

Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) en tant que ressources naturelles constituent un important pilier de l'économie (rurale) de notre pays. L'objectif de cette étude est d'inventorier les principales PAM liées aux forêts dans la région Rabat-Salé-Kénitra à travers une analyse documentaire et des observations de terrain. Les résultats montrent que la région est caractérisée par une richesse forestière couvrant 27% de sa superficie, dont 18,5% l'est par des forêts naturelles. Les PAM inventoriées sont de 173 espèces appartenant à 52 familles dont les plus importantes sont les Lamiacées, Astéracées et Fabacées. Les plantes d'intérêt médicinal représentent 79,2% des plantes inventoriées. La prise de conscience de l'importance des PAM dans la vie quotidienne des populations de la région à travers leurs vertus thérapeutiques et leur contribution dans l'économie pourrait conduire à leur protection et leur conservation.

Mots clés: Plantes aromatiques et médicinales, Espace forestier, Région Rabat-Salé-Kénitra, Maroc

Main aromatic and medicinal forest plants in the Rabat-Salé-Kénitra region, Morocco

Abstract

Aromatic and medicinal plants (AMP) as natural resources constitute an important pillar of the (rural) economy of our country. The objective of this study is to inventory the main forest-related PAMs in the Rabat-Salé-Kénitra region through a documentary analysis and field observations. The results show that the region is characterized by forest richness covering 27% of its area, of which 18.5% is natural forests. The AMP inventoried are 173 species belonging to 52 families with the most important being the Lamiaceae, Asteraceae and Fabaceae. Plants of medicinal interest represent 79.2% of the plants inventoried. Awareness of the importance of AMP in the daily life of the population of the region through their therapeutic virtues and their contribution to the economy could lead to their protection and conservation.

Keywords: Aromatic and medicinal plants, Forest area, Rabat-Salé-Kénitra region, Morocco

INTRODUCTION

L'utilisation des plantes aromatiques et médicinales (PAM) pour se soigner remonte au commencement de la vie sur la terre. En effet, les civilisations anciennes de Chine, d'Inde, de Grèce ainsi que de d'Égypte ont développé cet usage traditionnel des PAM depuis plusieurs milliers d'années (Wong, 1969; Paris et Moyse, 1976; Benjilali et Zrira, 2005). En médecine arabo-musulmane, les PAM ont suscité un grand intérêt chez les guérisseurs. Ainsi, on recense plus de 37 plantes indiquées pour leurs vertus et bienfaits pour le corps humain (Hmamouchi, 1999).

L'organisation Mondiale de la Santé estime que la médecine traditionnelle couvre les besoins en soins de santé primaires de 80% de la population des pays en voie de développement (Vines, 2004).

Le Maroc, par sa situation géographique, qui lui a permis de bénéficier d'une variété de bioclimats méditerranéens, renferme une richesse considérable en ressources naturelles, dont font partie les PAM. Ces dernières, constituent la base d'un savoir-faire ancestral concernant la médication par les plantes et l'extraction des principes aromatiques pour diverses fins (Zrira, 2003).

En outre, ces PAM jouent un rôle important dans le développement socio-économique du pays. En effet, le Maroc constitue un fournisseur traditionnel du marché mondial. Les exportations concernent les plantes séchées, les huiles essentielles et des extraits aromatiques. Ces exportations contribuent à l'équilibre de la balance commerciale agricole (Zrira, 2003; USAID, 2008; APDESPN, 2011).

Ce secteur bénéficie d'un intérêt qui ne cesse d'augmenter, traduit par une forte demande mondiale en PAM, de leurs produits dérivés et d'une croissance des utilisateurs dans différents domaines. Le développement du secteur des PAM devient donc une priorité impérieuse. Il est ainsi considéré comme un objectif privilégié dans la nouvelle stratégie agricole marocaine «Génération verte».

Conscient de l'importance de ce secteur, le conseil de la région Rabat-Salé-Kénitra (RSK) a élaboré, en partenariat avec la Faculté des lettres et Sciences Humaines de Rabat, un projet¹ visant la valorisation des ressources naturelles de cette région, dont les PAM en ont constitué un axe. C'est dans ce cadre que cette étude a été réalisée ayant pour objectif de mettre l'accent sur l'importance de l'espace forestier et des PAM qui lui sont associées dans la région RSK.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone d'étude

La région de Rabat-Salé-Kénitra (Figure 1) est le résultat de la fusion des deux anciennes régions Rabat-Salé-Zemmour-Zaâer et Gharb-Cherarda-Béni Hssen selon le Décret n°2.15.10 du 20 février 2015. Elle est située au Nord-ouest du Royaume du Maroc. Elle relève dans sa partie nord de la plaine du Gharb, dans sa partie Sud de la meseta marocaine et dans sa partie Est du plateau d'Oulmès. Concernant le milieu naturel, la région est dominée par des sols argileux dans sa partie Nord, Est et Sud et sablonneux dans la zone

¹ «Atlas Cartographique de la valorisation Géo-écotouristique des ressources naturelles dans la Région de Rabat-Salé-Kénitra», porté par le Centre d'Études et de Recherches «Homme, Espace et Sociétés» (HES) de la FLSH, Université Mohamed V, Rabat, qui a bénéficié de l'appui du conseil de la Région RSK, Sous Réf. 5/Étab/2017.

¹ Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohamed V, Rabat, Maroc

² École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc

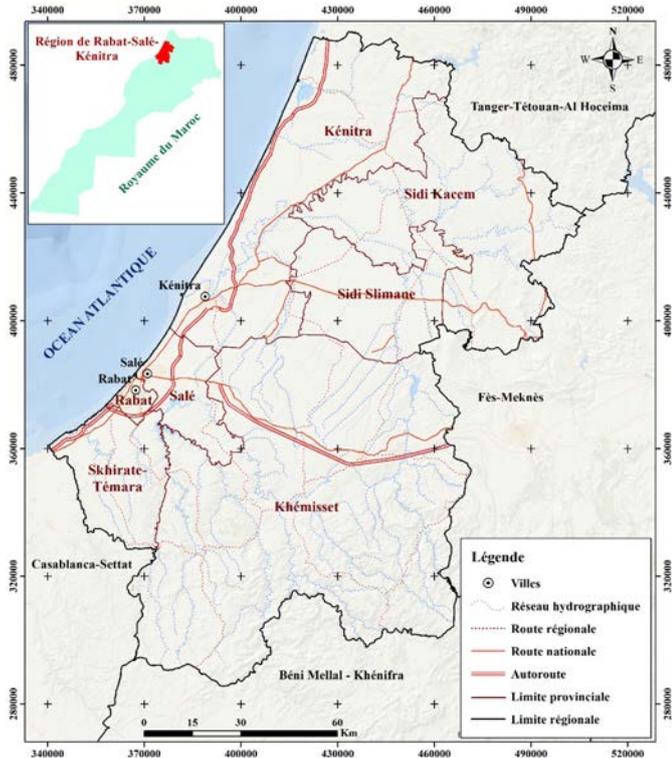


Figure 1: Situation géographique de la région Rabat-Salé-Kénitra

littorale Ouest. Le bioclimat est de type méditerranéen à influence maritime. L'influence océanique diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte où la continentalité se fait sentir davantage. On distingue deux étages bioclimatiques, le subhumide dominant sur la bande côtière et le plateau d'Oulmès et le semi-aride dominant dans la partie centrale et orientale (Aubert, 1950; Bryssine, 1966; Cornu, 2007; DGCL, 2015).

Quant à la végétation (Figure 2), les forêts sont concentrées surtout dans le centre et le Sud. La partie Nord est à vocation agricole et n'abrite qu'une seule forêt et des espaces reboisés. La province de Khémisset abrite 72% de ces forêts naturelles. La province de Sidi Slimane possède 35% du total des forêts reboisées (52 421 ha) (DGCL, 2015). Les forêts naturelles sont constituées de peuplements divers dont: *Quercus ilex* (Chêne vert), *Quercus suber* (Chêne liège), *Tetraclinis articulata* (Thuya) et *Juniperus communis* (Genévrier). Les reboisements feuillus sont constitués essentiellement de diverses espèces d'Eucalyptus (*E. camaldulensis*, *E. gomphocephala*) et d'Acacia (*A. cyanophylla*, *A. mearnsii*). Les reboisements résineux sont constitués de diverses espèces de pins, le pin maritime des Landes (*Pinus pinaster ssp. Atlantica*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le pin pignon (*Pinus pinea*).

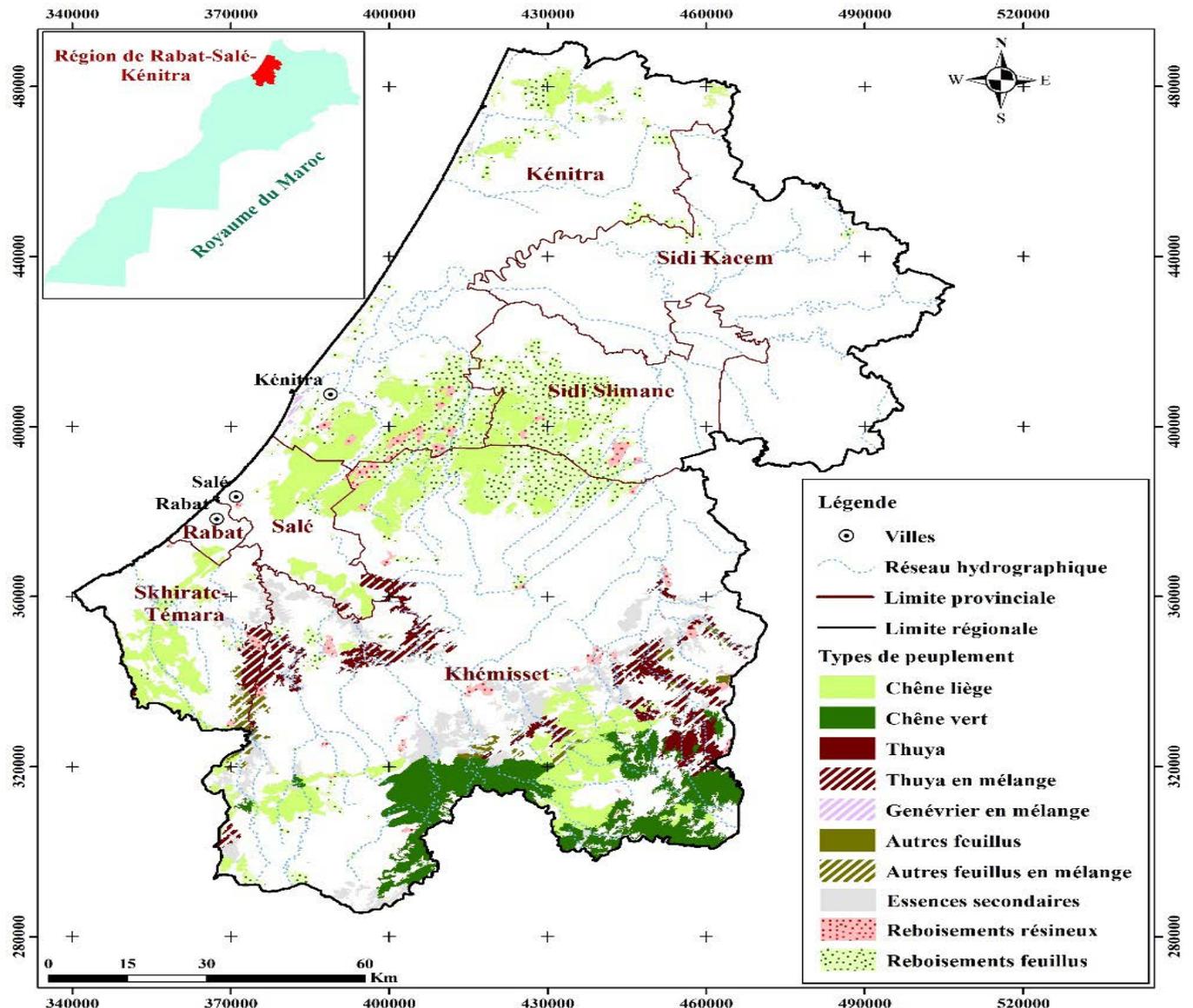


Figure 2: Les peuplements forestiers dans la région Rabat-Salé-Kénitra

Méthodologie adoptée

Inventaire des forêts de la région Rabat-Salé-Kénitra

Pour réaliser l'inventaire des forêts de la région RKS, on s'est basé sur la compilation et la synthèse des données du département des Eaux et Forêts. On a effectué des entretiens avec les services techniques des directions régionales des eaux et forêts (DREF) de Rabat, Kénitra et Khémisset et le Service des Études et d'Inventaire Forestier National pour avoir les données nécessaires à ce travail, tels que les noms des forêts, leurs situations géographiques et administratives, leurs peuplements naturels et artificiels, leurs superficies, leurs états d'aménagement et la direction qui les gère. Aussi, on a eu recours aux études d'aménagement des forêts pour plus de précisions sur les écosystèmes forestiers et les types de végétation qui leurs sont associés.

Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales

Pour réaliser l'inventaire des PAM spontanées existantes dans les forêts de la région RSK, on s'est basé sur la consultation des études botaniques réalisées au niveau

de la région (Bammi et Douira, 2004; Aafi, 2007; Hseini et Kahouadji, 2007; Aafi et al., 2009; Benkhniq et al., 2010; Salhi et al., 2010; Aafi et Benabid, 2015; Bouayyadi et al., 2015; Chkichekh et al., 2015; Dallahi et al., 2016; Alaoui et Laaribya, 2017; Dallahi et al., 2017; Bouayyadi et Zidane, 2020; Hakkou et al., 2022), l'analyse des plans d'aménagement des forêts aménagées (DREF Khémisset et Rabat, 1992; DREF Khémisset, 1992, 1999, 2001, 2005, 2006, 2013, 2016, 2017, 2018; 2019; DREF Rabat, 2001, 2005, 2007; DREF Kénitra, 2000), ainsi que la contribution des chercheurs dans le domaine de la phytoécologie. Par la suite, et en se basant sur les études ethnobotaniques (Bellakhdar, 1997; Hmamouchi, 1999; Sghir Taleb, 2017), on a pu identifier les espèces d'intérêt médicinales et/ou aromatique parmi les plantes recensées. Aussi, on a pu inventorier les PAM de certaines forêts en se basant sur la connaissance des écosystèmes naturels qui la constituent (PAM associées à l'essence végétale naturelle dominante) ou la région biogéographique à laquelle elles appartiennent. Des visites de terrain ont été indispensables afin de vérifier ces informations.

Tableau 1: Inventaire des Forêts de la Région Rabat-Salé-Kénitra

DPEFLCD	Forêt	État d'aménagement	Superficie approximative (ha)
Rabat	Béni Abid	Aménagée	16 100
	Ceinture verte	Aménagée	1 089
	Oued Laeteuch	Aménagée	4 970
	Sehoul	Aménagée	8 395
	Témara	Aménagée	3 893
Kénitra	Gharb	Aménagée	6 623
Khémisset et Rabat	Maâmora	Aménagée	131 945
Khémisset	Achemach	Aménagée	5 720
	Aït Alla Est	Aménagée	7 825
	Aït Alla Ouest	Aménagée	4 955
	Aït Hatem	Aménagée	24 009
	Aït Ichou Est	Aménagée	2 290
	Aït Ichou Ouest	Aménagée	9 831
	Bouregreg	Aménagée	14 950
	Bourzim	Non aménagée	13 662
	Camp Bataille	Aménagée	2 330
	Cibara	Aménagée	6 528
	El Harcha	Aménagée	5 174
	El Kansera	Aménagée	930
	Houderrane	Aménagée	4 717
	El Khatouat	Aménagée	12 600
	Korifla	Aménagée	9 220
	Ouchkett	Aménagée	4 285
	Oued Beht	Aménagée	10 120
	Oued El Kell	Aménagée	1 388
	Oued Grou	Non aménagée	30 415
	Oued Satour	Non aménagée	1 580
	Sidi Larbi	En cours d'aménagement	3 548
	Tiddas	Aménagée	12 056
	Timaksaouine	Aménagée	16000
Zitchouine	Aménagée	24332	

Cartographie

La carte des forêts a été réalisée sur la base des cartes topographiques de la région, les plans d'aménagement des forêts et Google Earth. Quant à la carte des PAM, vu que la majorité des plantes sont communes entre toutes les forêts et afin d'éviter leur répétition et pour assurer la clarté de la carte, on a procédé par la présentation des plantes par écosystèmes. Ainsi, on a considéré 3 types d'écosystèmes: subéraie, chênaie verte et tétraclinaie. On a attribué à chaque famille un symbole spécifique qui ne se répète pas, et dont on change la couleur pour chaque espèce pour ne pas les confondre.

Les emplacements des signes des plantes sur la carte ne représentent en aucun cas leur réel emplacement sur le terrain, c'est juste pour indiquer que la plante X est liée à l'écosystème Y. On a utilisé des symboles et non pas des trames, parce que les PAM ne sont pas concentrées dans une zone précise, mais elles sont réparties dans les forêts par pieds isolés.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Inventaire des forêts de la région RSK

La région de Rabat-Salé-Kénitra compte 31 forêts, dont la majorité est gérée par la direction provinciale des eaux et forêts et de la lutte contre la désertification (DPEFLCD) de Khémisset (Tableau 1).

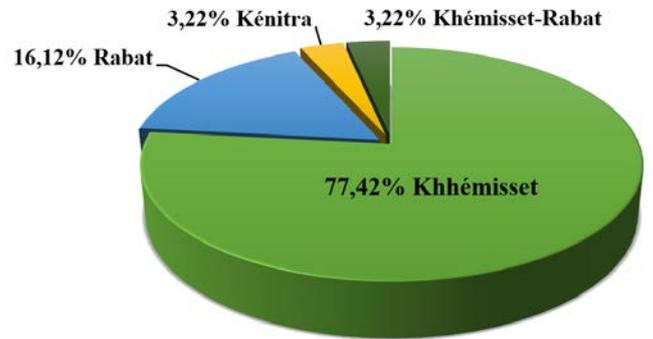


Figure 3: Direction provinciale concernée par la gestion des forêts dans la région RSK

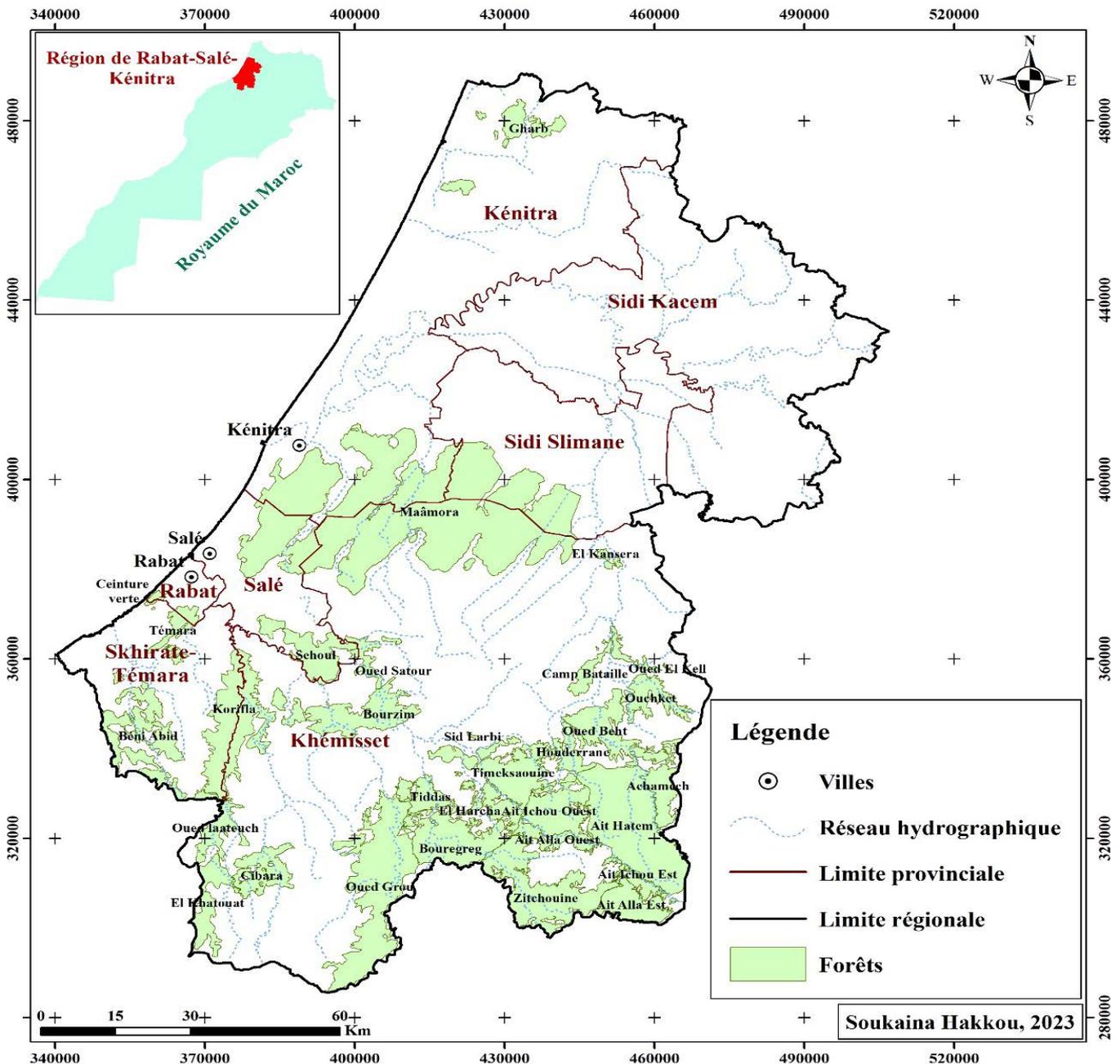


Figure 4: Les forêts de la Région Rabat-Salé-Kénitra

Plus des trois quarts (77%) des forêts de la région sont gérées par la direction provinciale de Khémisset, tandis que 23% sont gérées par celle de Rabat. Ceci est expliqué par le fait que la majorité des forêts appartient à la province de Khémisset, qui en abrite 26 (Figure 3).

Les forêts s'étendent sur une superficie de 500 043 ha soit 27 % de la superficie totale de la région RSK, dont 351 290 ha (18,5%) de forêts naturelles, et 148 753 ha (8,5%) de forêts reboisées (Figure 4).

La forêt naturelle est constituée de 152 743 ha (43,5%) de chêne liège, 72 259 ha (20,5%) de chêne vert et 36 440 ha (10,5%) de thuya.

On note un taux d'aménagement de 90,3% avec 27 forêts aménagées et une forêt en cours d'aménagement. Seuls 3 forêts qui ne sont pas encore aménagées.

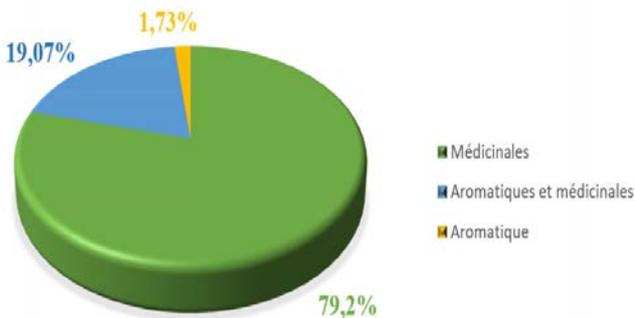


Figure 5: Répartition des PAM selon leurs types

Inventaire des plantes aromatiques et médicinales de la région RSK

Le tableau 2 donne la liste des principales PAM, les plus répandues, dans les forêts de la région RSK. Ainsi, on a inventorié 173 espèces appartenant à 52 familles.

La majorité des espèces inventoriées (79,2%), sont des plantes médicinales. Celles à la fois aromatiques et médicinales représentent 19,1%. On remarque une faible présence des plantes aromatiques (Figure 5).

Les familles les plus présentes sont la famille des Lamiales avec 22 espèces, la famille des Astéracées avec 18 espèces, la famille des Fabacées avec 12 espèces, la famille des Apiales avec 9 espèces, la famille des Rosacées avec 7 espèces et la famille des Caryophyllacées avec 6 espèces (Figure 6). D'autres familles sont aussi présentes dans les

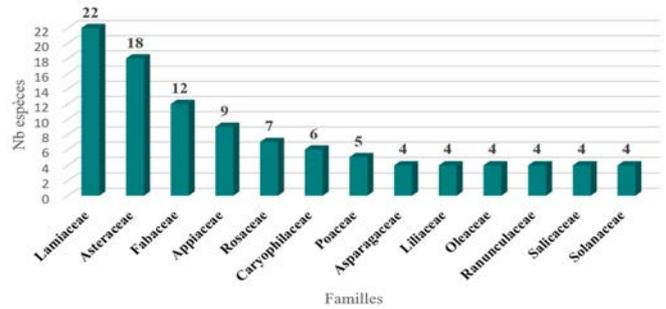


Figure 6. Importance des familles des PAM selon le nombre d'espèces inventoriées dans la région Rabat-Salé-Kénitra

Tableau 2: Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra (A= Aromatique; M= Médicinale ; AM=Aromatique et Médicinale)

Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Type	Forêts
ADOXACEAE	<i>Viburnum tinus</i>	Viorne tin	M	Ait Hatem; Oued Beht
AMARANTHACEAE	<i>Atriplex halimus</i>	Arroche halime	M	Ait Hatem; Oued Beht
	<i>Dysphania ambrosioides</i> (<i>Chenopodium ambrosioides</i>)	Thé du Mexique	AM	Bouregreg; Oued Grou; Zit chouine
	<i>Chenopodium murale</i>	Chénopode des murs	AM	Korifla; Maâmora
AMARYLLIDACEAE	<i>Allium pallens</i>	Ail pâle	M	Ait Hatem
ANACARDIACEAE	<i>Pistacia atlantica</i>	Pistachier de l'Atlas	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; Bourzim; Cibara; El Harcha; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Oued Satour; Se-houl; Sidi Larbi; Tiddas; Zit chouine
	<i>Pistacia Lentiscus</i>	Pistachier lentisque	AM	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; Bourzim; Camp Bataille; Cibara; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Grou; Oued Laeteuch; Oued Satour; Sehou; Sidi Larbi; Temara; Tiddas; Timaksaouine; Zit chouine
	<i>Rhus pentaphylla</i>	Sumac à cinq feuilles	M	AitAllaEst; AitAlla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; Bourzim; Camp Bataille; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Grou; Oued Laeteuch; Oued Satour; Sehou; Sidi Larbi; Tid-das Timaksaouine; Zit chouine

Tableau 2 (suite): Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra (A= Aromatique; M= Médicinale; AM=Aromatique et Médicinale)

Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Type	Forêts
APIACEAE	<i>Ammi majus</i>	Ammi élevé	M	Ait Hatem; Bouregreg; El Khatouat; Oued Beht; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Daucus carotta</i>	Carotte sauvage	AM	Ait Hatem; Ceinture verte; El Harcha; Korifla; Maâmora; Oued Beht
	<i>Eryngium tricuspdatum</i>	Panicaut à trois épines	M	Ait Hatem; Bouregreg; Bourzim; El Harcha; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Oued Lae-teuch; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas; Zitchouine
	<i>Eryngium triquetrum</i>	Panicaut triquètre	M	Ait Hatem; Oued Beht
	<i>Ferula communis</i>	Férule commune	AM	Bourzim; Ceinture verte; Maâmora; Oued Grou; Oued Satour; Sehoul; Sidi Larbi; Temara; Tiddas
	<i>Smyrniolum olusatrum</i>	Maceron	M	Ait Hatem; Korifla; Oued Beht
	<i>Thapsia garganica</i>	Thapsie	M	Bourzim; Korifla; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas
	<i>Thapsia Transtagana</i>	Thapsie transtagana	M	Maâmora; Sehoul
	<i>Thapsia villosa</i>	Thapsie velue	M	Maâmora
APOCINACEAE	<i>Caralluma europaea</i>	Carraluma d'Europe	M	Ait Hatem
	<i>Nerium oleander</i>	Laurier-rose	AM	Ait Hatem; Béni Abid; Bouregreg; Gharb; Oued Lae-teuch; Temara
ARACEAE	<i>Arisarum vulgare</i>	Capuchon-de-moine	M	Ait Hatem; Ceinture verte; El Harcha; Korifla; Oued Grou; Sehoul
ARALIACEAE	<i>Hedera helix</i>	Lierre grimpant	M	Achemach
ARECACEAE	<i>Chamaerops humilis</i>	Palmier nain	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; Bourzim; Camp Bataille; Ceinture verte; Cibara; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Grou; Oued Lae-teuch; Oued Satour; Sehoul; Sidi Larbi; Temara; Tiddas; Timaksaouine; Zitchouine
ARISTOLOCHACEAE	<i>Aristolochia baetica</i>	Aristolochie bétique	M	Ait Hatem; El Harcha; Oued Beht
	<i>Aristolochia longa</i>	Aristolochie	AM	Korifla; Maâmora
	<i>Aristolochia paucinervis</i>	Aristolochie peu nervée	M	El Khatouat
ASPARAGACEAE	<i>Asparagus acutifolius</i>	Asperge sauvage	M	Ait Hatem; Béni Abid; Gharb; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Sehoul
	<i>Asparagus albus</i>	Asperge blanche	M	Achemach; Ait Hatem; Béni Abid; Bourzim; Cibara; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Lae-teuch; Oued Satour; Sehoul; Sidi Larbi; Tiddas
	<i>Asparagus altissimus</i>	-	M	Ait Hatem; Bourzim; El Khatouat; Oued Beht; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas
	<i>Asparagus officinalis</i>	Asperge officinale	M	El Khatouat; Gharb
ASTERACEAE	<i>Anacyclus radatius</i>	Anacyclus radié	M	Maâmora
	<i>Anacyclus pyrethrum</i>	Pyrèthre d'Afrique	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Andryala integrifolia</i>	Andryale à feuilles entières	M	Timaksaouine
	<i>Artemisia absinthium</i>	Absinthe	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Artemisia herba-alba</i>	Armoise herbe blanche	M	Bouregreg; Oued Grou; Temara; Zitchouine
	<i>Bellis sylvestris</i>	Pâquerette d'automne	M	Ait Hatem; El Harcha; Maâmora; Oued Lae-teuch
	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	Chrysanthème couronné	AM	Ceinture verte; Maâmora
	<i>Chrysanthemum viscido-hirtum</i>	-	AM	Ceinture verte; Maâmora
	<i>Cichorium intybus</i>	Chicorée sauvage	M	Maâmora
	<i>Cynara humilis</i>	Petit Artichaut	M	Ceinture verte; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Grou; Oued Lae-teuch; Sehoul; Timaksaouine
	<i>Dittrichia viscosa</i>	Inule visqueuse	M	Gharb
	<i>Echinops spinosus</i>	Echinops	M	Ait Hatem; Bouregreg; El Khatouat; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Temara; Zitchouine
	<i>Ormenis mixta</i>	Camomille du Gharb	M	Ait Hatem; Cibara; El Harcha; Gharb; Korifla; Maâmora; Oued Lae-teuch
	<i>Pulicaria odora</i>	Pulicaire odorante	M	Ait Hatem; El Harcha; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Lae-teuch; Timaksaouine
	<i>Scolymus hispanicus</i>	Chardon d'Espagne; scolyne d'Espagne	M	Achemach; Ait Hatem; Ceinture verte; Korifla; Gharb; Maâmora; Oued Lae-teuch
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Laiteron maraîcher	M	Maâmora
	<i>Sonchus tenerrimus</i>	Laiteron délicat	M	Ceinture verte; Korifla; Maâmora
<i>Silybum marianum</i>	Chardon-Marie	M	Ait Hatem	

Tableau 2 (suite): Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra (A= Aromatique; M= Médicinale; AM=Aromatique et Médicinale)

Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Type	Forêts
BORAGINACEAE	<i>Echium horridum</i>	Vipérine	M	Maâmora
	<i>Echium plantagineum</i>	Vipérine faux-plantain	M	Achemach; Ceinture verte; Korifla; Maâmora; Oued Laeteuch; Sehoul.
	<i>Heliotropium europaeum</i>	Héliotrope d'Europe	M	Maâmora
BRASSICACEAE	<i>Brassica nigra</i>	Moutarde noire	A	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Nasturtium officinale</i>	Cresson de fontaine	AM	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
CAPPARIDACEAE	<i>Capparis spinosa</i>	Câprier commun	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
CARYOPHYLLACEAE	<i>Corrigiola littoralis</i>	Corrigiole des rives	M	Maâmora
	<i>Corrigiola telephiiifolia</i>	Corrigiole à feuilles de téléphium	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Herniaria glabra</i>	Sabline rouge	M	Ait Hatem; Korifla; Maâmora; Oued Beht
	<i>Herniaria hirsute</i>	Herniaire velue	M	El Khatouat; Maâmora
	<i>Paronychia argentea</i>	Paronyque argentée	M	Achemach; Ait Hatem; El Harcha; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Laeteuch
	<i>Spergularia maritima</i>	Spergulaire marginée	M	Maâmora; El Harcha; Korifla; Oued Grou
CELASTRACEAE	<i>Maytenus senegalensis</i>	-	M	Maâmora
CISTACEAE	<i>Cistus albidus</i>	Ciste cotonneux	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; El Harcha; El Khatouat; Houderrane; Maâmora; Oued Beht; Sehoul; Zitchouine
	<i>Cistus crispus</i>	Ciste à feuillage crispé	M	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; El Harcha; Gharb; Maâmora; Sehoul; Zitchouine
	<i>Cistus ladaniferus</i>	Ciste à gomme	AM	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Bouregreg; El Harcha; Oued Beht; Oued Grou; Sehoul; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Cistus monspeliensis</i>	Ciste de Montpellier	AM	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Camp Bataille; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Laeteuch; Sehoul; Temara
	<i>Cistus Salvifolus</i>	Ciste à feuilles de sauge	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Bouregreg; Camp Bataille; Ceinture verte; Cibara; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Grou; Oued Laeteuch; Sehoul; Temara; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Cistus villosus</i>	Ciste à villosité	M	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; El Harcha; El Khatouat; Korifla; Oued Beht; Sehoul
CONVOLVULACEAE	<i>Convolvulus althaeoides</i>	Liseron fausse-guimauve ou liseron de Provence	M	Ceinture verte; Maâmora
	<i>Convolvulus arvensis</i>	Liseron des champs	M	El Khatouat; Korifla
CUCURBITACEAE	<i>Bryonia dioica</i>	Bryone dioïque	M	Ait Hatem; Maâmora
	<i>Citrullus colocynthis</i>	Coloquinte vraie	AM	Gharb; Maâmora
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Pteridium Aquilinum</i>	Fougère aigle	M	Gharb; Maâmora
EPHEDRACEAE	<i>Ephedra fragilis</i>	Ephedre fragile	M	Ait Hatem; Korifla; Maâmora
ERICACEAE	<i>Arbutus Unedo</i>	L'arbousier	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; El Harcha; El Khatouat; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Oued Laeteuch; Sehoul; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Erica arborea</i>	Bruyère arborescente	M	Gharb
EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia falacata</i>	Euphorbe en faux	M	Bouregreg; Gharb; Oued Grou; Maâmora; Zitchouine
	<i>Euphorbia peplus</i>	Ésule ronde	M	Maâmora
	<i>Mercurialis annua</i>	Mercuriale annuelle	M	Ait Hatem; Bouregreg; Ceinture verte; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Oued Laeteuch; Zitchouine

Tableau 2 (suite): Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra (A= Aromatique; M= Médicinale ; AM=Aromatique et Médicinale)

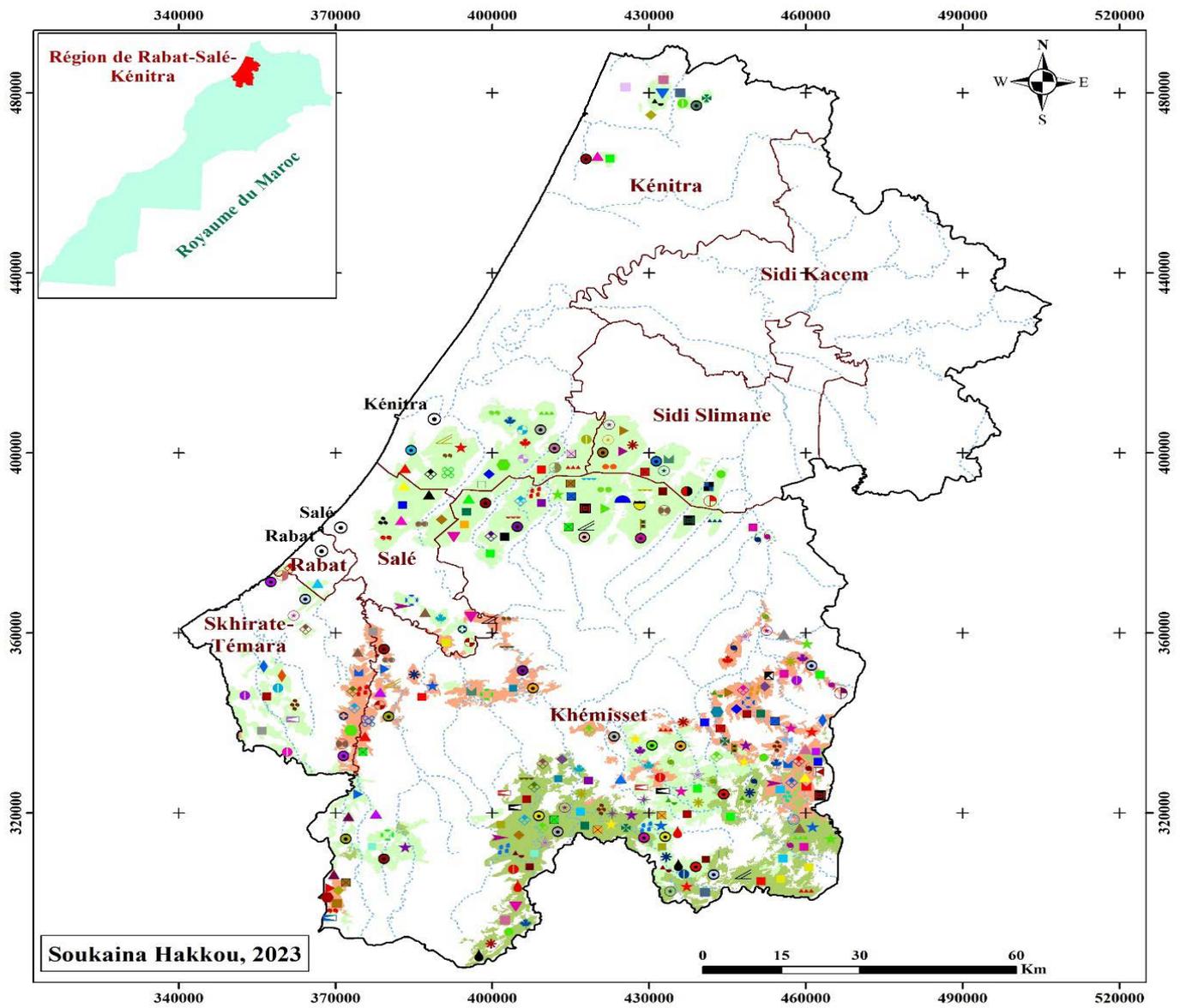
Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Type	Forêts
FABACEAE	<i>Anthyllis vulneraria</i>	Anthyllide vulnéraire	M	Ceinture verte; El Khatouat; Oued Laeteuch
	<i>Astragalus lusitanicus</i>	Astragale	M	Ait Hatem; Ceinture verte; El Harcha; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Laeteuch; Timaksaouine
	<i>Calycotome villosa</i>	Calicotome velu	M	Korifla; Oued Laeteuch
	<i>Ceratonia siliqua</i>	Caroubier	M	Ait Hatem; El Harcha; Oued Beht
	<i>Genista linifolia</i>	Genêt à feuilles de lin	M	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; El Harcha; Korifla; Sehoul; Temara
	<i>Lotus arenarius</i>	Lotier	M	Ait Hatem
	<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé	M	Ait Hatem; Ceinture verte
	<i>Lupinus angustifolius</i>	Lupin à feuilles étroites	M	Maâmora
	<i>Ononis natrix</i>	Ononis jaune	M	Achemach; Ait Hatem; Ceinture verte; Maâmora
	<i>Retama monosperma</i>	Genêt blanc	M	Ceinture verte; Maâmora
	<i>Trifolium repens</i>	Trèfle	M	Ceinture verte
<i>Vicia sativa</i>	Vesce commune	M	Ceinture verte; Maâmora	
FUMARIACEAE	<i>Fumaria capreolata</i>	Fumeterre grimpante	M	Ceinture verte; Maâmora
GENTINACEAE	<i>Centaurium erythraea</i>	Petite-centaurée commune	M	Ait Hatem; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Laeteuch
JUNCACEAE	<i>Juncus acutus</i>	Jonc piquant	M	Ceinture verte
	<i>Juncus bufonius</i>	Jonc des crapauds	M	Maâmora
LAMIACEAE	<i>Ajuga iva</i>	Bugle	M	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Ceinture verte; Cibara; El Harcha; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Sehoul; Temara
	<i>Ballota hirsuta</i>	Ballote hérissée	M	Bourzim; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas
	<i>Lavandula dentata</i>	Lavande dentée	AM	Gharb
	<i>Lavandula multifida</i>	Lavande multifide	AM	Achemach; Ait Hatem; Béni Abid; Bourzim; Camp Bataille; Cibara; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Laeteuch; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas
	<i>Lavandula pedunculata</i>	Lavande pédonculée	AM	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Bouregreg; Cibara; El Harcha
	<i>Lavandula stoechas</i>	Lavande stoechade	AM	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; Camp Bataille; Cibara; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Grou; Oued Laeteuch; Sehoul; Temara; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Marrubium echinatum</i>	-	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Marrubium vulgare</i>	Marrube blanc	AM	Achemach; Bouregreg; El Khatouat; Gharb; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Mentha aquatica</i>	Menthe aquatique	A	El Khatouat
	<i>Mentha pulegium</i>	Menthe pouliot	AM	Bouregreg; El Khatouat; Gharb; Korifla; Maâmora; Oued Grou; Oued Laeteuch; Zitchouine
	<i>Nepeta apuleii</i>	-	M	Maâmora
	<i>Origanum compactum</i>	Origan	AM	Achemach; Bouregreg; Cibara; El Khatouat; Gharb; Maâmora; Oued Grou; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Origanum majorana</i>	Origan marjolaine	AM	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Origanum vulgare</i>	Origan commun	AM	Achemach
	<i>Rosmarinus Officinalis</i>	Romarin officinal	AM	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Bouregreg; Korifla; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Salvia officinalis</i>	Sauge officinale	AM	Bouregreg; Gharb; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Salvia verbenaca</i>	Sauge-verveine	AM	Maâmora; Oued Grou
	<i>Sideritis hirsuta</i>	Crapaudine hirsute	AM	Maâmora
	<i>Thymus broussonetii</i>	Thym de Broussonet	AM	Maâmora
	<i>Thymus maroccanus</i>	Thym	AM	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; El Harcha; Oued Grou; Sehoul; Zitchouine
<i>Thymus zygis</i>	Thym rouge	A	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine	
<i>Teucrium fruticans</i>	Germandrée arbustive	AM	Achemach; Ait Hatem; Béni Abid; Bourzim; Korifla; Oued Beht; Oued Laeteuch; Oued Satour	

Tableau 2 (suite): Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra (A= Aromatique ; M= Médicinale ; AM=Aromatique et Médicinale)

Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Type	Forêts
LILIACEAE	<i>Asphodelus albus</i>	Asphodèle blanc	M	Ait Alla Est; Ait Alla Ouest, Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; El Harcha; Oued Grou; Sehou; Temara
	<i>Asphodelus microcarpus</i>	Asphodèle à petits fruits	M	Ait Hatem; Camp Bataille; Ceinture verte; El Harcha; El Kansera; Gharb; Korifla; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Laeteuch; Temara; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Smilax aspera</i>	Salsepareille	M	Achemach; Ait Hatem; Béni Abid; El Harcha; El Khatouat; Maâmora; Oued Beht; Timaksaouine.
	<i>Urginea maritima</i>	Scille maritime	M	Achemach; Ait Hatem; Béni Abid; Ceinture verte; Cibara; El Harcha; El Khatouat; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Oued Laeteuch; Sehou; Temara
MALVACEAE	<i>Malva hispanica</i>	Mauve d'Espagne	AM	Achemach; Ait Hatem; Bourzim; Cibara; Korifla; Oued Laeteuch; Oued Satour
	<i>Malva sylvestris</i>	Grande Mauve	AM	Ait Hatem; El Harcha; Oued Beht; Oued Grou; Sehou
OLEACEAE	<i>Jasminum fruticans</i>	Jasmin ligneux, Jasmin jaune, Jasmin d'été	AM	Ait Hatem; Korifla
	<i>Olea europaea</i>	Oléastre	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Bouregreg; Bourzim; Camp Bataille; Cibara; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Grou; Oued Laeteuch; Oued Satour; Sehou; Sidi Larbi; Temara; Tiddas; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Phillyrea angustifolia</i>	Filaire à large feuille	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Bouregreg; El Harcha; Gharb; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Sehou; Temara; Zitchouine
	<i>Phillyrea latifolia</i>	Filaire à feuilles étroites	M	Achemach; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Béni Abid; Bourzim; Camp Bataille; El Harcha; El Kansera; El Khatouat; Houderrane; Korifla; Maâmora; Ouchkett; Oued Beht; Oued El Kell; Oued Laeteuch; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas; Timaksaouine
PAPAVERACEAE	<i>Papaver rhoeas</i>	Coquelicot	M	Ait Hatem; Bouregreg; Ceinture verte; El Harcha; El Khatouat; Oued Grou; Zitchouine
PLANTAGINACEAE	<i>Globularia alypum</i>	Globulaire Alypon	M	Ait Hatem
	<i>Plantago coronopus</i>	Plantain corne de cerf	M	Achemach; Ceinture verte; Korifla; Maâmora; Oued Laeteuch; Sehou
	<i>Plantago ovata</i>	Plantain des Indes	M	Ait Hatem; Korifla
PLUMBAGINACEAE	<i>Armeria simplex</i>	-	M	Maâmora
	<i>Limonium lobatum</i>	Limonium lobé	M	El Khatouat; Maâmora
	<i>Limonium sinuatum</i>	Statice sinué	M	Ait Hatem; Ceinture verte; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Laeteuch; Timaksaouine
POACEAE	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Flouve odorante	M	Achemach; Korifla; Oued Laeteuch
	<i>Cynodon dactylon</i>	Chiendent pied de poule	M	Ait Hatem; Ceinture verte; Maâmora; Oued Beht; Sehou
	<i>Imperata cylindrica</i>	Impératrice cylindrique	M	Maâmora
	<i>Phragmites australis</i>	Roseau commun	M	Maâmora
	<i>Stipa capensis</i>	Stipellule du Cap	M	El Khatouat

Tableau 2 (suite): Inventaire des principales plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra (A= Aromatique; M= Médicinale ; AM=Aromatique et Médicinale)

Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Type	Forêts
POLYGONACEES	<i>Polygonum aviculare</i>	Renouée des oiseaux	M	Maâmora
	<i>Polygonum maritimum</i>	Renouée maritime	M	Maâmora
PRIMULACEAE	<i>Anagallis arvensis</i>	Mouron rouge	M	Ceinture verte; El Harcha; Korifla; Sehoul
RANUNCULA-CEAE	<i>Clematis cirrhosa</i>	Clématite à vrilles	M	Achemach; Ait Hatem; Béni Abid; Bouregreg; El Harcha; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Laeteuch; Sehoul
	<i>Clematis flammula</i>	Clématite flammette	M	Maâmora
	<i>Ranunculus bullatus</i>	Renoncule boursoufflée	M	Bouregreg; Maâmora; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Ranunculus muricatus</i>	Renoncule à petites pointes	M	Temara
RHAMNACEES	<i>Rhamnus alaternus</i>	Nerprun alaterne	M	El Harcha; Maâmora
	<i>Zizyphus lotus</i>	Jujubier sauvage Jujubier de Berbérie	M	Ait Hatem; Bourzim; Korifla; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Oued Laeteuch; Oued Satour; Sehoul; Sidi Larbi; Tiddas; Zitchouine
ROSACEAE	<i>Crataegus laciniata</i>	Aubépine laciniée	M	Zitchouine.
	<i>Crataegus monogyra</i>	Aubépine monogyne	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; El Harcha; Maâmora; Sehoul; Timaksaouine
	<i>Crataegus oxyacantha</i>	Aubépine épineuse	M	Gharb
	<i>Pyrus communis</i>	Poirier commun	M	Maâmora
	<i>Rosa canina</i>	Rosier des chiens, Eglantier	M	Ait Hatem; Béni Abid; Gharb; Maâmora
	<i>Rosa sempervirens</i>	Rosier toujours-vert	M	Béni Abid
	<i>Rubus ulmifolius</i>	Ronce à feuilles d'Orme	M	Béni Abid; Maâmora
RUBIACEAE	<i>Rubia peregrina</i>	Garance voyageuse	M	Ait Hatem; Béni Abid; Maâmora; Oued Beht; Sehoul; Timaksaouine
RUTACEAE	<i>Ruta chalepensis</i>	Rue de Chalep	M	Ait Hatem.
SALICACEAE	<i>Populus alba</i>	Peuplier blanc	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Populus nigra</i>	Peuplier noir	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Salix Atrocinerea</i>	Saule Roux	M	Béni Abid
	<i>Salix alba</i>	Saule blanc	M	El Khatouat
SANTALACEAE	<i>Osyris Alba</i>	Rouvet blanc	M	Béni Abid
	<i>Osyris lanceolata</i>	Osyris lancéolé	M	Ait Hatem; Béni Abid; Oued Beht
SCROFULARIA-CEAE	<i>Verbascum sinuatum</i>	Molène à feuilles sinuées	M	Maâmora
SOLANACEAE	<i>Lycium europaeum</i>	Lyciet d'Europe ou olivet	M	Ceinture verte; Maâmora
	<i>Mandragora autumnalis</i>	Mandragore d'automne	M	Bourzim; Oued Satour; Sidi Larbi; Tiddas
	<i>Solanum nigrum</i>	Morelle noire	M	Maâmora
	<i>Solanum linnaeanum</i>	Morelle de Linné	M	Maâmora
THYMELEACEAE	<i>Daphne gnidium</i>	Daphné garou	M	Achemach; Ait Alla Est; Ait Alla Ouest; Ait Hatem; Ait Ichou Est; Ait Ichou Ouest; Béni Abid; Cibara; El Harcha; Gharb; Houderrane; Korifla; Maâmora; Oued Laeteuch; Sehoul; Temara; Timaksaouine; Zitchouine
	<i>Thymelaea hirsuta</i>	Passerine hérissée	M	Bouregreg; Oued Grou; Zitchouine
	<i>Thymelaea lythroides</i>	Passerine de Maâmora	M	Gharb; Maâmora; Sehoul; Zitchouine
URTICACEAE	<i>Urtica dioica</i>	Grande ortie	M	Ait Hatem; Ceinture verte; El Harcha; Oued Beht
	<i>Urtica urens</i>	Ortie brûlante	M	Maâmora
VALERIANACEAE	<i>Fedia cornucopiae</i>	Fédia corne d'abondance	M	Maâmora
VERBENACEAE	<i>Vitex agnus-castus</i>	Gatillier	A	Ait Hatem; Bouregreg; Maâmora; Oued Beht; Oued Grou; Zitchouine



Soukaina Hakkou, 2023

Légende

- ⊙ Villes
 - Réseau hydrographique
 - Limite provinciale
 - Limite régionale
 - Ecosystème à chênaie verte
 - Ecosystème à tétraclinaie
 - Ecosystème à subéraie
- Plantes aromatiques et médicinales**
- | | | | | | |
|--|--|--|---|---|---|
| <p>ADOXACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Viburnum tinus</i> <p>AMARANTHACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Atriplex halimus</i> ■ <i>Chenopodium murale</i> ■ <i>Dysphania ambrosioides</i> <p>AMARYLLIDACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Allium pallens</i> <p>ANACARDIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Pistacia Lentiscus</i> ■ <i>Pistacia atlantica</i> ■ <i>Rhus pentaphylla</i> <p>APPIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Ammi majus</i> ■ <i>Daucus carotta</i> ■ <i>Eryngium tricuspdatum</i> ■ <i>Eryngium triquetrum</i> ■ <i>Ferula communis</i> ■ <i>Smyrniolus olusatrum</i> ■ <i>Thapsia Transgana</i> ■ <i>Thapsia garganica</i> ■ <i>Thapsia villosa</i> <p>APOCYNACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Nerium oleander</i> ■ <i>Caralluma europaea</i> <p>ARACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Arisarum vulgare</i> <p>ARALIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Hedera helix</i> <p>ARECACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Chamaecroas Humilis</i> <p>ARISTOLOCHACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Aristolochia paucinervis</i> | <p>■ <i>Aristolochia longa</i></p> <p>■ <i>Aristolochia baetica</i></p> <p>ASPARAGACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Asparagus acutifolius</i> ■ <i>Asparagus albus</i> ■ <i>Asparagus altissimus</i> ■ <i>Asparagus officinalis</i> <p>ASTERACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Anacyclus pyrethrum</i> ■ <i>Anacyclus radatus</i> ■ <i>Andryala integrifolia</i> ■ <i>Artemisia absinthium</i> ■ <i>Artemisia herba-alba</i> ■ <i>Bellis sylvestris</i> ■ <i>Chrysanthemum coronarium</i> ■ <i>Chrysanthemum viscido-hirtum</i> ■ <i>Cichorium intybus</i> ■ <i>Cynara humilis</i> ■ <i>Diurichia viscosa</i> ■ <i>Echinops spinosus</i> ■ <i>Ornemis mixta</i> ■ <i>Pulicaria odorata</i> ■ <i>Scotolymus hispanicus</i> ■ <i>Sonchus oleraceus</i> ■ <i>Sonchus tenerimus</i> <p>BORAGINACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Echium horridum</i> ■ <i>Echium plantagineum</i> ■ <i>Heliotropium europaeum</i> <p>BRASSICACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Brassica nigra</i> ■ <i>Nasturtium officinale</i> <p>CAPPARIDACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Capparis spinosa</i> <p>CARYOPHYLLACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Corrigiola littoralis</i> ■ <i>Corrigiola tetephiifolia</i> ■ <i>Ononis natrix</i> ■ <i>Retama monosperma</i> ■ <i>Herniaria glabra</i> ■ <i>Herniaria hirsute</i> ■ <i>Paronychia argentea</i> | <p>■ <i>Spergularia muritima</i></p> <p>CELASTRACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Maytenus senegalensis</i> <p>CISTACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Cistus villosus</i> ■ <i>Cistus albidus</i> ■ <i>Cistus crispus</i> ■ <i>Cistus ladaniferus</i> ■ <i>Cistus monspeliensis</i> ■ <i>Cistus Salvisfolius</i> <p>CONVOLVULACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Convolvulus arvensis</i> ■ <i>Convolvulus althaeoides</i> <p>CUCURBITACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Citrullus colocynthis</i> ■ <i>Bryonia dioica</i> <p>DENNSTAEDTIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Pteridium Aquilinum</i> <p>EPHEDRACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Ephedra fragilis</i> <p>ERICACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Arbutus Unedo</i> ■ <i>Erica arborea</i> <p>EUPHORBIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Euphorbia fulcata</i> ■ <i>Euphorbia peplus</i> ■ <i>Mercurialis annua</i> <p>FABACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Anthyllis vulneraria</i> ■ <i>Astragalus lustranicus</i> ■ <i>Calycotome villosa</i> ■ <i>Cerastonia siliqua</i> ■ <i>Genista linifolia</i> ■ <i>Lotus arenarius</i> ■ <i>Lotus corniculatus</i> ■ <i>Lupinus angustifolius</i> ■ <i>Ononis natrix</i> ■ <i>Retama monosperma</i> ■ <i>Trifolium repens</i> ■ <i>Vicia sativa</i> | <p>■ <i>Fumaria capreolata</i></p> <p>GENTIANACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Centaureum erythraea</i> <p>JUNCACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Juncus bufonius</i> ■ <i>Juncus acutus</i> <p>LAMIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Ajuga reptans</i> ■ <i>Ballota hirsuta</i> ■ <i>Lavandula dentata</i> ■ <i>Lavandula multifida</i> ■ <i>Lavandula pedunculata</i> ■ <i>Lavandula stoechas</i> ■ <i>Marrubium echinatum</i> ■ <i>Marrubium vulgare</i> ■ <i>Mentha aquatica</i> ■ <i>Mentha pulegiata</i> ■ <i>Nepeta apuleii</i> ■ <i>Origanum compactum</i> ■ <i>Origanum majorana</i> ■ <i>Origanum vulgare</i> ■ <i>Rosmarinus Officinalis</i> ■ <i>Salvia officinalis</i> ■ <i>Salvia verbenaca</i> ■ <i>Sideritis hirsuta</i> ■ <i>Tenacium fruticosum</i> ■ <i>Thymus broussonetii</i> ■ <i>Thymus maroccanus</i> ■ <i>Thymus zygis</i> <p>LILIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Asphodelus albus</i> ■ <i>Asphodelus microcarpus</i> ■ <i>Smilax aspera</i> ■ <i>Urginea maritima</i> <p>MAIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Malva sylvestris</i> ■ <i>Malva hispanica</i> <p>MYRTACEAE</p> | <p>■ <i>Mirtus communis</i></p> <p>OLEACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Jasminum fraticans</i> ■ <i>Oléa Europaea</i> ■ <i>Phillyrea angustifolia</i> ■ <i>Phillyrea latifolia</i> <p>PAPAVERACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Papaver rhoeas</i> <p>PLANTAGINACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Plantago ovata</i> ■ <i>Plantago coronopus</i> ■ <i>Globularia alipam</i> <p>PLUMBAGINACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Armeria simplex</i> ■ <i>Limonium lobatum</i> ■ <i>Limonium sinuatum</i> <p>POACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Anthoxanthum odoratum</i> ■ <i>Cynodon dactylon</i> ■ <i>Imperata cylindrica</i> ■ <i>Phragmites australis</i> ■ <i>Stipa capensis</i> <p>POLYGONACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Polygonum aviculare</i> ■ <i>Polygonum maritimum</i> <p>PRIMULACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Anagallis arvensis</i> ■ <i>Ranunculus muricatus</i> <p>RANUNCULACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Clematis cirrhosa</i> ■ <i>Clematis flammula</i> ■ <i>Ranunculus bulbatus</i> ■ <i>Ranunculus muricatus</i> <p>RHAMNACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Rhamnus alaternus</i> ■ <i>Zizyphus lotus</i> <p>ROSACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Crataegus laciniata</i> ■ <i>Crataegus monogyna</i> ■ <i>Crataegus oxyacantha</i> | <p>■ <i>Pyrus communis</i> <p>■ <i>Rosa canina</i> <p>■ <i>Rosa sempervirens</i> <p>■ <i>Rubus ulmifolius</i> <p>RUBIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Rubia peregrina</i> <p>RUTACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Ruta chalepensis</i> <p>SALICACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Populus alba</i> ■ <i>Populus nigra</i> ■ <i>Salix atrocinerea</i> ■ <i>Salix alba</i> <p>SANTALACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Osyris lanceolata</i> ■ <i>Osyris Alba</i> <p>SCROFULARIACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Verbascum sinuatum</i> <p>SOLANACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Lycium europaeum</i> ■ <i>Mandragora autumnalis</i> ■ <i>Solanum linnaeanum</i> ■ <i>Solanum nigrum</i> <p>THYMELAEACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Daphne gnidium</i> ■ <i>Thymelaea hirsuta</i> ■ <i>Thymelaea lythroides</i> <p>URTICACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Urtica urens</i> ■ <i>Urtica dioica</i> <p>VALERIANACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Fedia cornucopiae</i> <p>VERBENACEAE</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Vitex agnus-castus</i> </p></p></p></p> |
|--|--|--|---|---|---|

Figure 7: Carte des plantes aromatiques et médicinales de la Région RSK

forêts de la région, mais avec moins d'importances, et qui sont les Poacées (5 espèces), Asparagées, Liliacées, Oléacées, Renonculacées, Salicacées et Solanacées avec 4 espèces pour chacune d'elle. Le reste des familles sont représentés par 3 espèces et moins (Tableau 2).

CONCLUSION

La région Rabat-Salé-Kénitra abrite un patrimoine naturel très important, traduit par sa richesse en matière de forêts naturelles, qui occupent 18,5% de sa superficie totale. Ces forêts regorgent d'espèces végétales, dont une richesse importante en plantes aromatiques et médicinales qui devraient jouer un rôle important dans l'économie rurale et qui offrent des possibilités thérapeutiques en médecine traditionnelle, surtout que la majorité des plantes recensées sont des plantes médicinales.

Cette richesse mérite d'être protégée et valorisée afin de lutter contre sa surexploitation et d'assurer sa durabilité. En effet, elles peuvent être valorisées sur le plan écotouristique en se basant sur les paysages qu'elles offrent et sur le savoir-faire local qu'elles constituent à travers leurs vertus et utilisations diverses en médecine traditionnelle, en industrie alimentaire et cosmétique et en parfumerie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement Dr. Aafi Abderrahman, Directeur de l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs et le Pr. Dallahi Youssef, phytoécologistes, pour la documentation et les informations pertinentes qu'ils ont mis à la disposition de ce travail.

RÉFÉRENCES

Aafi, A. (2007). Étude de la diversité floristique de l'écosystème de chêne liège de la forêt de la Maâmora. Thèse de Doctorat d'État Es-Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 203 p.

Aafi A., Ghanmi M., Satriani B., Aberchane M., Ismaili My. R., El Abid A. (2009). Diversité et valorisation des principales plantes aromatiques et médicinales (PAM) de l'écosystème cédraie au Maroc. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 41:190-207.

Aafi A., Benabid A. (2015). Les plantes aromatiques et médicinales: un levier de développement, conservation et valorisation des écosystèmes à arganier du Maroc (sud-ouest marocain, vallée de l'Oued Grou/Khémisset et Béni-Snassen/Berkane). *Actes du 3^{ème} Congrès International de l'Arganier*, Agadir 2015.

Alaoui A., Laariby S. (2017). Étude ethnobotanique et floristique dans les communes rurales Sehoul et Sidi-Abderrazak (cas de la Maâmora-Maroc Septentrional). *Nature et Technology*, 9:15-24.

APDESPN (2011). Étude sur le secteur des Plantes Aromatiques et Médicinales dans la Réserve de Biosphère Intercontinentale de la Méditerranée. Création de coopératives et la valorisation des PAM, Mission 2. L'Agence Pour La Promotion et Le Développement Économique et Social des Provinces du Nord. 130p.

Aubert G. (1950). Rapport de tournée sur les sols du Gharb. Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer. 26p.

Bammi J., Douira A. (2004). Contribution à la connaissance de la flore vasculaire de la forêt de l'Achach, Plateau Central (Maroc). *Acta Botanica Malacitana*, 29: 23-41.

Bellakhdar J. (1997). La pharmacopée marocaine traditionnelle. Tome I. Ed. Ibis Press. 746 p.

Benjlilali B., Zrira S. (2004). Plantes aromatiques et médicinales, atouts du secteur et exigences pour une valorisation durable. Actes Editions. IAV Hassan II, Maroc. 346 p.

Benkhiguel O., Zidane L., Fadli M., Elyacoubi H., Rochdi A., Douira, A. (2010). Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksir (Région du Gharb). Laboratoire de Botanique, Biotechnologie et Protection des Plantes, FS Kénitra. 26p.

Bouayyadi L., Zidane L. (2020). Botanical and medicinal profile of aromatic and medicinal plants: Case of the Gharb region, Morocco. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 8: 269-279.

Bouayyadi L., EL Hafiane M., Zidane L. (2015). Étude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale dans la région du Gharb, Maroc. *Journal of Applied Biosciences*, 93: 8760-8769.

Bryssine G. (1966). La plaine du Rharb. Congrès de pédologie méditerranéenne Madrid - septembre 1966. Tomes II. Les régions traversées. 36p.

Chkhichekh A., ElAboudi A., Aafi A., Wahid N., Benabid A. (2015). A contribution to the knowledge of the Moroccan forest ecosystems: association of *Quercetum rotundifolio-suberis* ass. Nova in the Central Plateau of Morocco. *Plant Sociology*, 52: 57-68.

Cornu C. (2007). Périmètre irrigué du Gharb. CIRAD Environnements et Sociétés.

Dallahi Y., Chahhou D., Aafi A., Fennane M. (2017). The Vascular Flora of *Tetraclinis* Ecosystem in the Moroccan Central Plateau. *European Scientific Journal*, 13: 104-115.

Dallahi Y., El Aboudi A., Aafi A. (2016). A Contribution to the Knowledge of Vascular Flora of the Site of Biological and Ecological Interest of Kharouba in the Central Plateau of Morocco. *European Scientific Journal*, 12: 358-365.

DGCL (2015). La région Rabat-Salé-Kénitra, monographie générale. 62 p.

DREF Kénitra (2000). Etude d'aménagement de la forêt du Gharb. Direction régionale de Kénitra.

DREF Khémisset et Rabat (1992). Étude d'aménagement de la forêt de Maâmora. Direction régionale des eaux et forêts de Khémisset.

DREF Khémisset (1992, 1999, 2001, 2005, 2006, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019). Études des aménagements des forêts Ait Hatem, Ait Alla Est, Ait Alla Ouest, Ait Ichou Est, Ait Ichou Ouest, Bouregreg, Camp Bataille, Cibara, El Harcha, El Kansera, Houderrane, Korifla, Ouchkett, Oued Beht, d'Oued El Kell, Tid-das, Timaksaouine et Zithouine.

DREF Rabat (2001, 2005, 2007). Études des aménagements des forêts Beni Abid, Sehoul, et Temara.

El Hilah F., Ben Akka F., Dahmani J., Belahbib N., Zidane L. (2015). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des infections du système respiratoire dans le plateau central marocain. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 25: 3886-3897.

Hakkou S., Sabir M., Machouri N. (2022). Valorisation écotouristique des ressources naturelles: plantes aromatiques et médicinales de la région Rabat-Salé-Kénitra. Éditions Universitaires Européennes, 146 pages.

Haraz M. (2020). Diagnostic écologique et socio-économique pour l'élaboration d'un plan de gestion du SIBE El Harcha (Oulmès). Mémoire de 3^{ème} cycle. ENFI, Salé. 185 pages.

Hmamouchi M. (1999). Les plantes aromatiques et médicinales marocaines. Imprimerie de Fédala, 389 pages.

Hseini S., Kahouadji A. (2007). Étude ethnobotanique de la flore médicinale dans la région de Rabat (Maroc occidental). *Lazaroa*, 28: 79-93.

Meziane M. (2021). Contribution à l'évaluation de la dynamique des ressources naturelles dans le SIBE de Korifla. Mémoire de 3^{ème} cycle. ENFI, Salé. 214 pages.

Ministère de l'Agriculture et de la mise en valeur des agricole, Administration des eaux et forêts et de la conservation des Sols (1996). Plan directeur des aires protégées du Maroc, SIBE El Harcha. SIBE continentaux, Vol. 2: 121-125.

Paris R.R., Moysse H. (1976-1981). Matière médicale, 3 tomes, Masson, 420, 518 et 509 p. Paris.

Plan Directeur des Aires protégées du Maroc (2007). Oued Cher-rat. SIBE continentaux, Vol. 2: 115-120.

Salhi S, Fadli M., Zidane L., Douira, A. (2010). Études floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*, 31: 133-146.

- Taleb M.S. (2017). Aromatic and medicinal plants in Morocco: Diversity and socio-economic role. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 11: 812-816.
- USAID (2008). Stratégie nationale de développement du secteur des plantes aromatiques et médicinales, Agriculture and agrobusiness intégrés, 72 p.
- Vines G. (2004). Herbal harvests with a future: towards sustainable sources for medicinal plants. *Plant life International*, 12 p.
- Wahbi H. (2020). Diagnostic écologique et socio-économique en vue de l'élaboration d'un plan de gestion du SIBE Bouriah Beddouz. Mémoire de 3^{ème} cycle. ENFI, Salé. 168 pages.
- Wong M. (1969). Contribution à l'Histoire de la Matière Médicale végétale chinoise. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 17: 92-140.
- Zrira S. (2003). Le marché des plantes aromatiques et médicinales au Maroc. IAV Hassan II. 39 p.

Évaluation des facteurs de menace et de vulnérabilité potentielles des plantes médicinales et aromatiques au nord-ouest tunisien

N. JDAIDI^{1*}, H. SELMI¹, F. ALOUI¹, S. JEDIDI¹, A. CHAABANE¹

(Reçu le 11/11/2022; Accepté le 26/01/2023)

Résumé

Les espèces végétales médicinales au nord ouest tunisien sont soumises aux pressions anthropiques et aux contraintes des conditions naturelles. Ces dernières s'accroîtront dans le contexte des changements climatiques. L'objectif de ce travail consiste à évaluer les facteurs de menace et la vulnérabilité potentielle de ces espèces au nord-ouest tunisien. L'approche méthodologique s'est basée sur 500 enquêtes ethnobotaniques s'appuyant sur un questionnaire semi-structuré auprès des récolteurs de plantes médicinales dans cinq séries forestières au nord-ouest tunisien. À partir des informations recueillies et des relevés de terrain, la vulnérabilité des espèces exploitées a été évaluée à travers le calcul de l'indice de vulnérabilité (Iv). Un ensemble de 19 espèces médicinales et aromatiques au nord ouest tunisien ont été identifiées et réparties en 12 familles. Trois espèces (*Arbutus unedo*, *Mentha pulegium* et *Mentha ratindifolia*) ont été estimées comme très vulnérables. Cependant, la moitié des espèces étudiées a été jugée moyennement vulnérable. Les menaces sur les plantes médicinales et aromatiques au niveau de la zone d'étude sont dues à la surexploitation par la population locale et leur cheptel. Ces espèces nécessitent un aménagement adapté permettant l'exploitation et la valorisation rationnelle et la conservation des espèces fortement exploitées.

Mots clés: Facteurs de menace, Nord ouest tunisien, Plantes médicinales, Vulnérabilité

Assessment of threat factors and potential vulnerability index of medicinal and aromatic plants in Northwestern Tunisia

Abstract

Medicinal plant species in northwest Tunisia are subject to anthropogenic pressures and to constraints of natural conditions. These will be accentuated in the context of climate change. The objective of this work is to assess the threat factors and the potential vulnerability of these species in northwestern Tunisia. The methodological approach was based on 500 ethnobotanical surveys of a semi-structured questionnaire with collectors of medicinal plants in five forest series in northwestern Tunisia. Based on the information collected and field surveys, the vulnerability of exploited species was assessed through the calculation of the vulnerability index (Iv). A set of 19 medicinal and aromatic species in northwest Tunisia have been identified and divided into 12 families. Three species (*Arbutus unedo*, *Mentha pulegium* and *Mentha ratindifolia*) were assessed as very vulnerable. However, half of the studied species were found to be moderately vulnerable. The threats to medicinal and aromatic plants in the study area are due to overexploitation by the local population and their livestock. These species require appropriate management to allow exploitation and rational development along with conservation of intensively exploited species.

Keywords: Threat factors, Northwest Tunisia, Medicinal plants, Vulnerability

INTRODUCTION

Les plantes médicinales constituent un patrimoine précieux pour l'humanité et plus particulièrement pour la majorité des communautés démunies des pays en voie de développement qui en dépendent pour assurer leurs soins de santé primaires et leur subsistance (Salhi et al., 2010). En Afrique, plus de 80% de la population utilise les plantes médicinales pour assurer leurs soins de santé. Ceci est lié à au coût élevé des médicaments chimiques, à l'éloignement et à l'insuffisance des centres de santé, surtout en milieu rural, pour une prise en charge des problèmes de santé publique (Mpondo et al., 2012). Ces espèces sont une source importante de nouvelles molécules bioactives dotées d'un potentiel thérapeutique (Janakat et al., 2002; Cheurfa et al., 2015; Lemouchi et al., 2015; Mehenni et al., 2016). De nombreuses études ont montré que les propriétés médicinales des plantes proviennent de la présence d'agents bioactifs dans leurs extraits (Pistollato et al., 2015; Oh YS, 2016; Pissard et al., 2016; Morita et al., 2017). Les éléments les plus importants sont les alcaloïdes, les flavonoïdes, les vitamines, les tanins, les huiles essentielles, les acides, résines, huiles grasses, saponines et polysaccharides (Rojas et al., 1992; Rawani et al., 2011). Les plantes aromatiques et médicinales exploitées en Tunisie pour leur transformation en huiles essentielles sont le

romarin (*Rosmarinus officinalis*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*), l'arbousier (*Arbutus unedo*) et le myrte (*Myrtus communis*). La superficie jugée exploitable a été évaluée en 1989, à environ 346 000 ha pour le romarin et à 80 000 ha pour le myrte sur une superficie des formations forestières estimée à 1 044 000 ha en 2001 (Daly-Hassen et al., 2003). En Tunisie, les usages des huiles essentielles de ces espèces sont médicaux externes et internes, avec ses propriétés désinfectantes et son action tonique et cholagogue, aromatiques, culinaires et cosmétiques. Nsibi et al. (2006) ont montré que le couvert végétal a une importance capitale dans l'alimentation des troupeaux.

Pratiquement plus de 80% du maquis de la subéraie servent de parcours au bétail pendant au moins huit mois (du 15 septembre au 15 mai). La strate arbustive reste l'élément essentiel du système fourrager traditionnel des animaux domestiques. En effet, le cheptel de la population usagère, s'efforce quotidiennement de couvrir ses besoins alimentaires de la végétation arbustive disponible à plein temps.

Cet écosystème forestier est partout occupé par un bétail nombreux constitué par une multitude de petits troupeaux difficilement contrôlables et identifiables. Le taux de surpâturage au sein de la forêt tunisienne était de 83 % pour Nsibi et al. (2006). Jdai et Hasnaoui (2014), Boussaidi et Rebai (2017) ont montré que l'exploitation abusive des

¹ Laboratoire des Ressources Sylvio-Pastorale de Tabarka, Institut Sylvio-Pastorale de Tabarka, Université de Jendouba, Tunisie

ressources a provoqué une modification dans la structure de ces espèces médicinales d'où une perte de biodiversité, d'habitats et d'espèces.

À ce jour et à notre connaissance, peu d'études se sont intéressées aux effets de l'action du cheptel et des modalités de récoltes sur la potentialité des plantes médicinales et aromatiques en Tunisie. Pourtant, au nord ouest tunisien l'élevage pastoral représente la principale activité économique de la population forestière. Les forêts sont de plus en plus défrichées pour l'installation de cultures. Les plantes médicinales ont également des contributions économiques, sociales et écologiques positives dont les populations locales ont une bonne connaissance. En fonction des usages qui en sont faits, une meilleure connaissance et gestion des plantes médicinales et aromatiques pourrait contribuer à améliorer les conditions de vie des populations

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les facteurs de menace et la vulnérabilité potentielle des espèces médicinales et aromatiques au nord ouest tunisien.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

Les données utilisées ont été collectées auprès de 1627 ménages au nord-ouest tunisien. Les ménages se répartissent entre 5 séries forestières (Ain Draham IV, Ain Draham X, Ain Draham VII, Chihia II, Oued Zeen II), sur une superficie totale 14 870 096 ha qui ont été choisis de façon stratifié en fonction de leurs positions (Figure 1). L'effet anthropique et le déplacement libre du cheptel sont observés directement sur le terrain. L'activité dominante est l'élevage des caprins et des ovins avec des troupeaux de petites tailles pour la population forestière.

La zone d'étude présente une variété de sols étant donnée les conditions climatiques (fortes précipitations hivernales), la complexité de l'histoire géologique et l'importance de la couverture végétale (forêts de chênes) dans la partie septentrionale. Les trois principaux groupes de sols que l'on retrouve sont les sols issus de roches gréseuses et argileuses développés sur des substratums brunifiés, les sols calcimagnésiques développés sur substratum calcaire et les sols alluviaux peu évolués non climatiques (Boussaidi et Rebai, 2017).

Le relief caractérisant la région est toujours difficile et accidenté avec la moyenne des altitudes comprise entre 200 et 800 m. Il est considéré comme l'un des reliefs les plus complexes du pays. La zone d'étude est située dans l'étage du bioclimat humide à hiver tempéré. Elle est caractérisée par une pluviométrie importante, dépassent parfois 1500 mm. Les températures moyennes sont celles du climat méditerranéen. Les données socio-économiques de la zone d'étude sont résumées dans le tableau 1.

Enquête ethnobotanique et socio-économique

Dans ce travail, l'échantillon a été élaboré grâce à un mode d'échantillonnage probabiliste (aléatoire) stratifié. On s'est basé sur la répartition des plantes médicinales au sein des séries forestières et la distribution de la population.

Dans la région d'étude, nous avons choisi 5 séries forestières les plus représentatives. Cela a été fait sur la base de la présence de toutes les catégories de la population qui utilisent les plantes aromatiques et médicinales (herboristes, pharmaciens, herboristes, récolteurs de plantes, guérisseurs et autres).

Au total, nous composons N=500 (100 enquêtes par série) qui répondent aux principales caractéristiques de la popu-

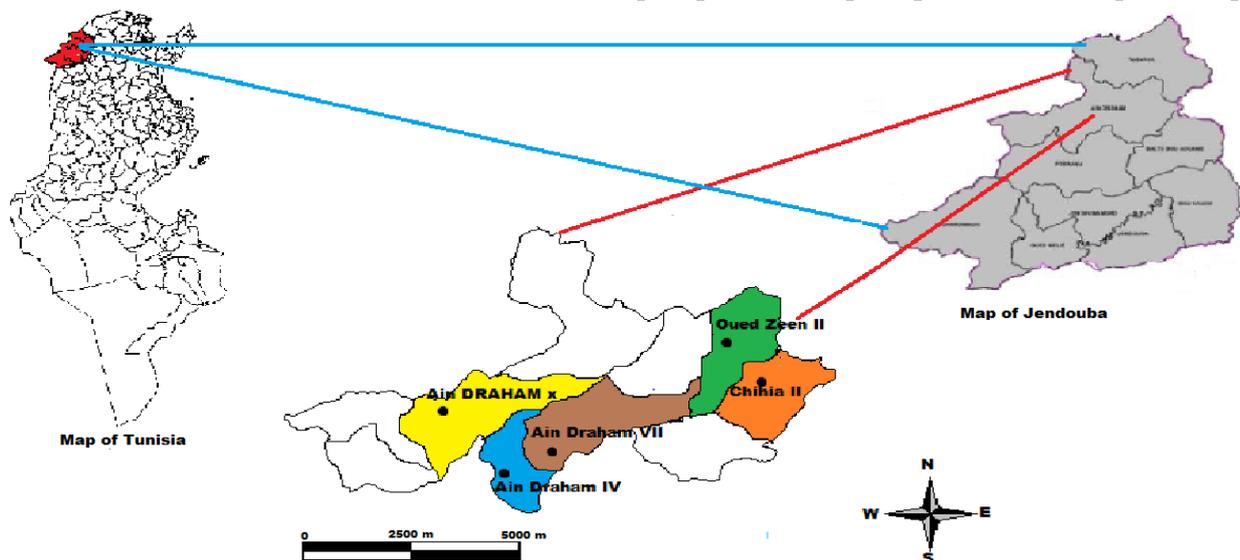


Figure 1: Carte de la zone d'étude

Tableau 1: Données socio-économiques de la zone d'étude (Boussaidi et Rebai, 2017)

Série	Nombre de ménages	Total d'individus /ménages	Bovins	Ovins	Caprins	Surface totale (ha)
Oued Zeen II	237	1033	247	792	1304	2659
Ain Draham IV	122	694	65	428	629	1961
Ain Draham VII	450	2341	285	1083	1408	2192
Ain Draham X	607	2778	390	1652	2358	4241
Chihia II	211	1137	146	916	1394	3817
Total	1627	7983	1133	4871	7093	14870

lation de la zone d'étude. Dans une première phase, nous avons ramassé des échantillons des espèces médicinales pour chaque série afin de valider les noms avec ceux de différentes séries. Lors de chaque enquête, nous collectons toutes informations des plantes médicinales utilisés par les ménages, les caractéristiques socio-démographiques (nombre des ménages, nombres d'individus par ménages, formation scolaire, nombre du cheptel (ovins, caprins, bovins) et utilisation des ressources forestières (bois, plantes médicinales, fruits, fréquence de pâturage). Nous avons collecté les informations sur l'âge, le sexe, le niveau culturel, les plantes médicinales utilisées, le mode d'emploi et les parties utilisées, le mode de récolte, le rythme de récolte, les quantités de récolte, la fréquence d'utilisation et les maladies traités par les ménages. Il est à noter que 100 % de nos enquêtés utilisent principalement les espèces médicinales collectées au sein des cinq séries forestières.

Étude de la phytodiversité des plantes médicinales au nord ouest tunisien

Ce travail a débuté par l'analyse des ressources potentielles en plantes médicinales et l'influence du surpâturage exercé par l'homme et son cheptel sur les nappes des plantes médicinales afin d'expliquer les mesures de conservation de ces espèces. On a procédé à un échantillonnage aléatoire tout en respectant le critère d'homogénéité structurale floristique et écologique.

Chaque relevé floristique a été complété par les indications suivantes: l'altitude (m), pente, exposition, taux de recouvrement (%), surface du relevé (aire minimale), distance par rapport aux installations humaines, des traces anthropiques (coupe, défrichement et incendie) et l'état général de la série.

Au total, 200 placettes carrées de superficies 400 m² ont été effectués d'une manière équiprobable (40 placette par série) en période de végétation (mars-avril et mai 2020).

Analyses statistiques

L'analyse statistique des résultats ethnobotaniques a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT-PRO, pour déterminer les proportions des différentes parties utilisées (PU), les modes de récolte (MR), les rythmes des récoltes (RR), les quantités récoltées (QR), fréquence d'utilisation (FU), l'indice de raréfaction (IR), l'influence du cheptel (IC) et l'indice de vulnérabilité (IV).

Pour étudier la relation entre les facteurs de menace et la répartition des plantes médicinales et aromatiques au sein de la zone d'étude, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) en utilisant les coefficients d'une matrice de corrélation à l'aide du logiciel XLSTAT-PRO. Une comparaison des moyennes a été ultérieurement élaborée suivant le test (SNK) grâce au programme XLSTAT-PRO.

Indice de raréfaction

Les enquêtes relevées de terrain ont permis de caractériser la disponibilité des espèces médicinales étudiées. Pour ce faire, l'indice de raréfaction des espèces a été calculé suivant l'équation de Dro et al. (2013) in Sidio et al. (2022):

$$IR = \left[1 - \left(\frac{ni}{N} \right) \right] \times 100 \quad (\text{Équation 1})$$

avec **IR** = l'indice de raréfaction, **ni** = nombre de relevés dans lesquels l'espèce **i** est présente et **N** = nombre total de relevés.

Fréquence d'utilisation

La fréquence d'utilisation de chacune des espèces médicinales recensées a été calculée de la manière suivante:

$$FU = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100 \quad (\text{Équation 2})$$

avec: **n** le nombre de répondants ayant mentionné l'espèce et **N** le nombre total de personnes interrogées au cours des enquêtes (Traoré et al., 2011 in Sidio et al., 2022). Cet indice, basé sur l'usage médicinales des plantes est approprié pour évaluer la crédibilité des informations reçues.

Niveau de menaces des paramètres étudiés

Des scores ont été affectés aux paramètres écologiques choisis et à certaines pratiques se rapportant à la récolte des organes des plantes utilisées en thérapie traditionnelle, conformément à l'échelle des menaces attribuée aux facteurs étudiés par Betti (2001), Cunningham (2001), Lejoly (2001), Traoré et al. (2011) et Sidio et al. (2022). Ils ont été consignés dans le tableau 2.

Indice de vulnérabilité des plantes médicinales et aromatiques au nord ouest tunisien

La méthode d'évaluation de l'indice de vulnérabilité des plantes médicinales réalisé en partie celle utilisée lors

Tableau 2: Estimation du niveau de menaces des modalités des différents paramètres étudiés

Paramètres	Score exprimant le niveau de menace		
	1	2	3
Partie utilisées (PU)	Feuille, rameau feuillé	Fleur, fruit, graine, écorce	Bois, racine, plante entière
Méthode de récolte (MR)	Ramassage	Cueillette, écorçage, ébranchage	Abattage, déracinement
Rythme de récolte (RR)	Rarement (une fois tous le 6 à 12 mois)	Modérément (une fois par trimestre)	Régulièrement (tous les mois)
Quantité récoltées (QR)	Très faible	Faible	Grande quantité
Indice de raréfaction (IR)	RI<80		RI≥80
Fréquence d'utilisation (FU)	FU≤30	30<FU≤60	FU>60
Influence du cheptel (IC)	Faible	Moyenne	Importante

Score 1: faible niveau de menace; Score 2: niveau de menace élevé; Score 3: niveau de menace très élevé

des travaux de Sidio et al. (2022) qui permet de traduire l'état biologique de chaque espèce. Cet indice est réalisé sur la base des paramètres pris en compte dans cette étude (Tableau 3). Cet indice s'obtient par l'opération suivante:

$$Iv = \sum \frac{Ni}{7} \quad (\text{Équation 3})$$

Ni représentant le score moyen attribué au paramètre i selon le niveau de menace et 7, le nombre de paramètres étudiés (Betti, 2001; Sidio et al., 2022). Ce qui a permis d'évaluer l'influence des paramètres étudiés sur la disponibilité des plantes dans leur environnement naturel. En effet, trois niveaux de vulnérabilité ont été distingués: Niveau 1: espèces peu vulnérables Niveau 2: espèces moyennement vulnérables; Niveau 3: espèces très vulnérables (Tableau 3). L'indice de vulnérabilité est un moyen d'estimation du niveau de pression anthropique sur les plantes utilisées en médecine traditionnelle au niveau de la zone d'étude. Il permet d'identifier les espèces potentiellement menacées.

RÉSULTATS

Identification ethnobotanique des espèces médicinales au nord ouest tunisien

Le travail a permis d'identifier un total de 19 espèces des plantes médicinales en 10 familles sous chêne-liège dans la zone d'étude. Les familles les plus représentées sont Lamiaceae (*Thymus vulgaris* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Mentha pulegium* L., *Mentha ratindifolia* L., *Lavandula stoechas* L.), Cistaceae (*Cistus salvifolius* L., *Cistus*

mospeliensis L.), Ericaceae (*Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L.), Oleaceae (*Olea europea* L., *Phillyrea latifolia* L., *Phillyrea angustifolia* L.), Rosaceae (*Rosa canina* L., *Rubus ulmifolius* L.), Anacardiaceae (*Pistacia lentiscus* L.), Myrtaceae (*Myrtus comminus* L.), Smilacaceae (*Smilax aspera* L.), Urticaceae (*Urtica urens* L.), Fabaceae (*Calicotome villosa* L.).

Afin de connaître les utilisations traditionnelles des espèces médicinales et aromatiques au nord ouest tunisien, nous avons interrogés 500 ménages dans cinq séries forestières: Oued Zeen II, Ain Draham X, Ain Draham VII, Ain Draham IV et Chihia II. Nous nous sommes intéressés à la distribution de quatre variables, comme traitement traditionnel, le domaine d'utilisation, la partie utilisée, le mode de préparation, et la maladie traitée par ses espèces (Tableau 4).

Les résultats ont montré que le myrte, lentisque, romarin, lavande sont les espèces les plus utilisés dans la zone d'étude.

Ces espèces sont utilisées principalement par la population locale du nord ouest tunisien dans le domaine thérapeutique (79%). Il est également répertorié comme une épice utilisée dans le domaine culinaire (17,3 %). Nous avons noté que 3,7 % des réponses ont montré que ces espèces sont utilisées dans le domaine cosmétique.

Les résultats des enquêtes montrent que la partie utilisée de la plante est présentée majoritairement par les feuilles (97%). Cependant, d'autres parties ont été indiquées: les fruits (1,8 %), les fleurs (1%), et plus rarement les tiges (0,2%).

Tableau 3: Échelle de la vulnérabilité potentielle des espèces

	Échelle de vulnérabilité		
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Indice de vulnérabilité (Iv)	Iv < 2	2 ≤ Iv < 2.5	Iv ≥ 2.5
Niveau de pression sur l'espèce	Faible	Elevé	Très élevé
Vulnérabilité de l'espèce	Espèces faiblement vulnérables	Espèces moyennement vulnérables	Espèces très vulnérables

Tableau 4: Utilisation traditionnelle des espèces médicinales au nord ouest tunisien

	Ain Draham X	Ain Draham IV	Ain Draham VII	Oued Zeen II	Chihia II
Domaine d'utilisation					
Thérapeutique	75%	83,40%	72,50%	85,10%	77,30%
Culinaire	19,50%	15,60%	19,60%	13,70%	18,10%
Cosmétique	5,50%	1,00%	7,90%	1,20%	4,60%
Partie utilisée					
Feuilles	95%	100%	100%	92%	98%
Tiges	0,50%	0%	0%	1%	0%
Fruits	1,50%	0%	0%	6%	1,50%
Fleurs	3%	0%	0%	1%	0,50%
Maladies traitées					
Maladies gastriques	30%	45%	35%	41%	24%
Hypertension	18%	13%	16%	18%	32%
Diabète	6%	9%	9,50%	11,50%	14%
Maladies respiratoires	25%	23%	26,50%	19,50%	21%
Inflammations	21%	10%	13%	10%	9%
Mode de préparation					
Décoction	25%	32%	49%	21%	47%
Infusion	65%	55%	38%	63%	39%
Huile essentielle	10%	13%	13%	16%	14%

Les résultats obtenus ont montrés que le mode de préparation le plus cité est l'infusion (52 %), suivie de la décoction (35 %). Nous avons également observé que 13% des réponses indiquent l'utilisation des huiles essentielle des certains espèces médicinales obtenue par extraction des fruits et feuilles. Il existe une différence de la répartition du mode de préparation en fonction de la station étudiée (Tableau 4). En effet, la décoction est le mode de préparation dominant dans les séries de Chihia II et Ain Draham VII avec des pourcentages respectives de 47% et 49%. Concernant, les maladies traitées, nous notons une plus forte répartition des réponses comme traitement traditionnel dans les maladies gastriques (35 %), les maladies respiratoires (23 %), ainsi que l'hypertension (19 %). Ces espèces sont également indiquées dans le traitement du diabète, cité avec un pourcentage de réponse de 10 %. Nous avons observé que seulement 13 % des réponses indiquent l'usage de cette espèce comme une drogue anti-inflammatoire.

Les espèces sont collectées principalement dans le traitement des maladies gastriques, par ordre d'importance suivant: Ain Draham IV (45%), Oued Zeen II (41%), et Ain Draham X (30%) (Tableau 4). Les plantes médicinales et aromatiques sont également citées dans la série de Chihia II pour ses propriétés d'hypertension (33,3 %), les maladies gastriques (24,0 %) et les maladies respiratoires (21,0 %). De plus, l'analyse des 500 enquêtes, a montré que ces espèces sont faiblement utilisées au niveau des cinq séries comme un antidiabétique et comme un anti-inflamatoire.

Évaluation des facteurs de menace des plantes médicinales au nord ouest tunisien

Pour mieux comprendre la relation entre la répartition des plantes médicinales au nord ouest tunisien et les différentes facteurs de menaces, nous avons regroupé et trié les données de la «fiche de placette et d'enquête», dans une matrice, en fonction des facteurs de menaces. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à partir de 7 variables: Organes employés (OE), Méthode de récolte (MR), Rythme de récolte (RR), Quantités récoltées (QR), Fréquence d'utilisation (FU), Indice de raréfaction (IF), Influence du cheptel (IC).

Nous avons choisi de faire une ACP sur 2 axes: d'après les valeurs propres (Figure 2), le pourcentage de variance totale expliqué par chaque axe est assez important, même s'il n'est jamais très élevé (le maximum est de 36,3 %). Le pourcentage de variance totale expliquée par l'ensemble des 2 axes est de 56,6 %.

L'axe 2 absorbe 20,3 % de la variation totale, il est défini négativement par la fréquence d'utilisation (FU) et la quantité récoltée (QR). Les autres paramètres (Méthode de récolte (MR) et indice de raréfaction (IR)) contribuent faiblement (Figure 2).

L'axe 1 absorbe 36,3 % de l'inertie totale, il est défini négativement par l'influence du cheptel (IC), les organes employés (OE) et le rythme de récolte (RR).

Les résultats de l'analyse des composantes principales (ACP) de la relation entre facteurs de menace et répartition des plantes médicinales montrent que la récolte des feuilles et des rameaux feuillés expose ces espèces médicinales à un niveau de menace faible tandis que le prélèvement de bois, des fruits et des écorces soumet les espèces de la zone d'étude à une menace élevée. Les espèces médicinales employées sont majoritairement récolté par l'écorçage et la cueillette. Les herboristes ont utilisé les techniques de déracinement, l'ébranchage. En effet, la cueillette, l'écorçage et l'ébranchage sont des techniques de récolte dont le niveau de menace élevé. Le déracinement et l'abattage de différentes espèces médicinales au nord ouest tunisien représentent un niveau de menace très élevé. De même, la technique du ramassage employée provoque une menace faible. Le rythme de récolte des plantes médicinales au niveau de la zone d'étude est régulier pour certaines espèces. D'autres espèces ont un rythme de récolte modéré. Seulement certaines espèces sont rarement récoltées. L'analyse des résultats obtenus présentent que la fréquence d'utilisation des espèces médicinales représente un niveau de menace très élevé. Les informations enregistrées des enquêtes ethnobotaniques s'accordent donc sur l'emploi des espèces étudiées dans le domaine thérapeutique.

En se rapprochant des installations humaines, le nombre croissant du cheptel (ovins, bovins et caprins) provoque en quelque sorte la pression sur la fréquence et la répartition des plantes médicinales au niveau des cinq séries forestières. Les traces d'ébranchage, d'abattage sont observées au niveau de notre zone d'étude. Au cours de notre investigation du terrain, nous rencontrons des personnes et leur cheptel (caprins et bovins) qui la fréquentent de tous directions et exercent une pression anthropique considérable.

Étude de la vulnérabilité des espèces médicinales

Les résultats obtenus montrent que trois espèces médicinales sont fortement vulnérables à cause de la fréquence d'utilisation et la fréquence du cheptel, *Mentha ratindifolia* (Iv= 2,59), *Mentha pulegium* (Iv= 2,63) et *Arbutus unedo* (Iv=2,6). Cependant, neuf espèces, soit 47,4 % de l'ensemble des espèces, sont moyennement vulnérables, leur indice de vulnérabilité varie entre 2,0 et 2,4 (Figure 3). Ces espèces subissent une menace très élevée à cause de la fréquence d'utilisation par la population locale, l'approvisionnement des marchés et l'influence du cheptel. Ces espèces qui sont très rares et menacées, sont parmi les espèces non exploitables et qui nécessitent une conservation au sein de la totalité des séries forestières étudiés. Les autres

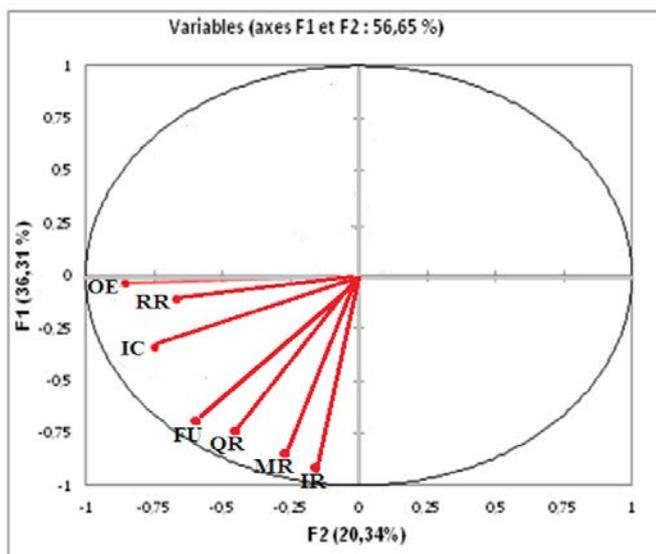


Figure 2: Analyse en composantes principales: facteurs de menaces des plantes médicinales sur le plan défini par les axes 1 et 2. OE: Organes employés, MR: Méthode de récolte, RR: Rythme de récolte, QR: Quantités récoltées, FU: Fréquence d'utilisation, IF: Indice de raréfaction, IC: Influence du cheptel

espèces (36,8 %) sont jugées peu vulnérables (Figure 3). Ces espèces médicinales sont potentiellement exploitables, sont généralement réparties sur la totalité des séries forestières du nord ouest tunisien et sous chêne-liège. Selon les résultats de l'enquête ethnobotanique, ces espèces sont les moins utilisées par la population locale et l'approvisionnement des marchés de médecine traditionnelle. L'exploitation de ces espèces doit être contrôlée face à plusieurs facteurs anthropiques (homme et son cheptel).

DISCUSSION

Cette enquête ethnobotanique menée auprès de la population locale de cinq séries forestières au nord ouest tunisien a permis d'évaluer l'état biologique de certaines espèces médicinales sous la forêt de chêne-liège. L'effectif de personnes interrogées est relativement important (500 ménages). La totalité des réponses (79 %) montre que ces espèces sont utilisées principalement dans le domaine thérapeutique. Nos résultats sont différents de ceux trouvés par Jdai et Hasnaoui (2016). Cette étude montre que 8 plantes médicinales sont les plus utilisées au nord ouest tunisien. Les espèces *Myrtus comminus*, *Pistacia lentiscus*, *Laurus nobilis* et *Lavandula stoechas* sont les plus utilisées avec respectivement 85 %, 82 %, 60 % et 55%, suivie par *Olea europea*, *Rosa canina* et *Pinus pinaster* avec respectivement 40 %, 35 % et 30 % et enfin *Pinus halipensis* (20%). *Myrtus comminus* et *Pistacia lentiscus*, relativement abondantes dans la forêt d'Ouled Sedra, ont subi une forte pression ces dernières années. *Laurus nobilis* est une espèce considérée comme menacée. *Lavandula stoechas* et *Mentha pulegium* sont peu abondantes dans la région. La fréquence de leur utilisation par la population est très intense. Selon Jiofack et al. (2010), les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la grande majorité des populations rurales en Afrique, où plus de 80 % de cette population s'en sert pour assurer les soins de santé. Dans la présente étude, la forte proportion d'espèces utilisées en médecine traditionnelle permet de juger de l'importance de certaines espèces végétales dans le traitement de maladies.

L'utilisation majoritaire des feuilles des espèces médicinales a été relevée dans notre étude. Ces feuilles sont considérées comme les parties les plus accessibles de l'espèce végétale. Elles sont le lieu de stockage des métabolites secondaires qui sont responsables des propriétés biologiques de la plante. Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Jdai et Hasnaoui (2016) qui rapportent que les feuilles sont les plus utilisées avec un pourcentage de 35 %, viennent ensuite les écorces (10 %), les fruits (15 %) et les racines (5 %). Les feuilles sont les parties les plus utilisées par la population forestière, ce résultat est aussi conforme aux résultats d'autres auteurs (Salhi et al., 2010). De même, Bouzabata (2015) a observé que la partie utilisée de la plante est représentée au nord est algérien majoritairement par les feuilles avec un pourcentage de 75,7 %. Cependant, d'autres parties ont été indiquées: les tiges (16,0 %), les fruits (6,9 %) et plus rarement les fleurs (1,4 %). Des études menées par Diatta et al. (2013) au Sénégal rapportent des pourcentages d'utilisation des feuilles de 46 % et ont montré que les feuilles étaient les plus sollicitées comme drogues pour la préparation des recettes médicamenteuses traditionnelles, ce que confirment nos résultats. Les résultats obtenus étaient également similaires à ceux de Monteiro et al., 2010 et Dibong et al., (2011) pour qui les feuilles étaient la partie la plus utilisée. Selon Bitsindou (1986), le pourcentage élevé de l'utilisation des feuilles est due à la facilité et la rapidité de collecte de ces dernières. Les feuilles peuvent avoir un rôle principal ou bien facultatif. Certains fruits et graines étaient également utilisés soit comme source de matière active principale de la plante médicinale, ou bien comme additifs à cette dernière (Joy et al., 2001).

Par ailleurs, nos résultats montrent que le mode de préparation des principes actifs des plantes médicinales par la population locale tunisienne est l'infusion, suivie par la décoction. Nos résultats confirment ceux trouvés par Bouzabata (2015), le mode de préparation le plus cité est l'infusion avec un pourcentage de réponses de 50,0 %; suivie de la décoction (42,2 %). Le même auteur a montré que 7,8 % des réponses indiquent l'utilisation de la poudre végétale obtenue par broyage des feuilles sèches. Jdai et

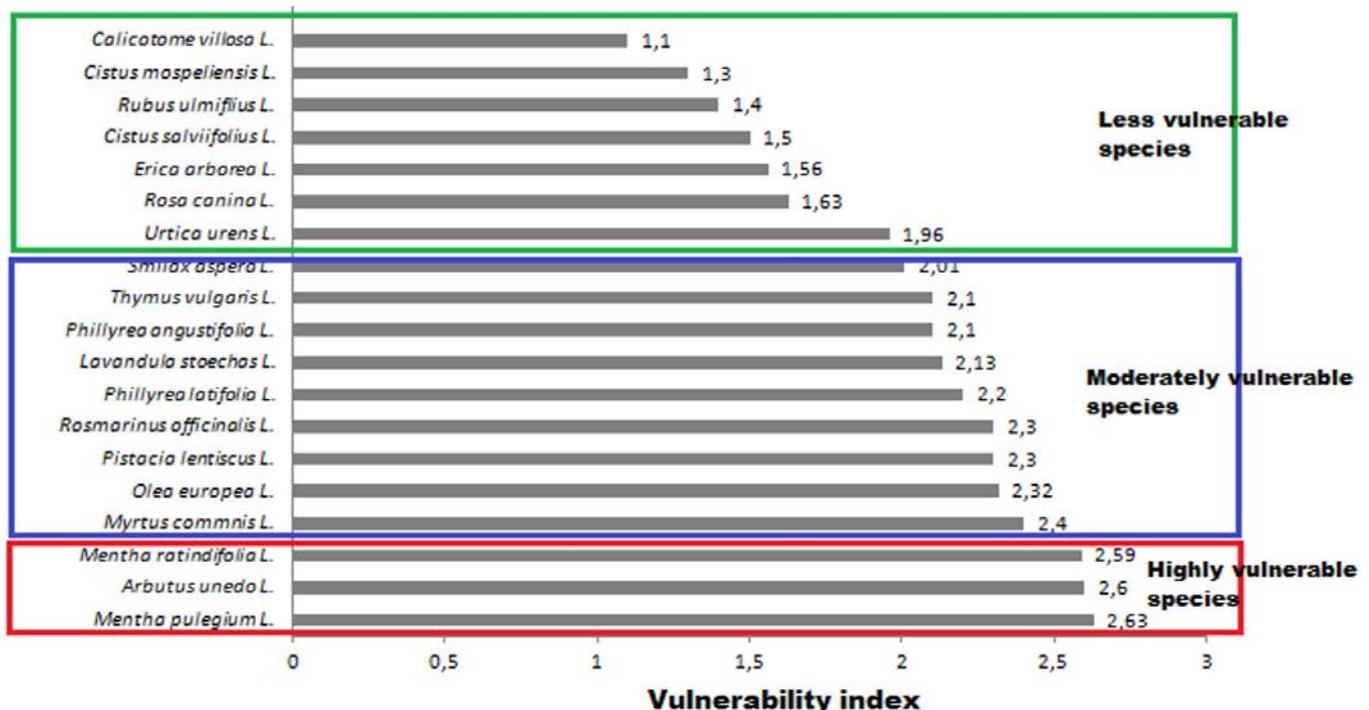


Figure 3: Diagramme des indices de vulnérabilité des espèces médicinales

Hasnaoui (2016) ont indiqué que la décoction constitue le mode d'emploi le plus fréquent (40 %). Elle est suivie par la préparation par l'infusion et en poudre avec respectivement 20% et 15%. Les autres modes d'emplois (macération, cataplasme, goute, nature et fumigation) représentent 25% au nord ouest tunisien. D'après Bentabet et al. (2022), l'infusion et le cataplasme sont souvent les méthodes de préparation des plantes médicinales dermatologiques les plus utilisées en littérature. Dans de très rares cas, d'autres méthodes de préparation et d'utilisation ont été enregistrées comme des applications directes du matériel végétal en poudre ou sous la forme de décoction. Ces résultats montrent que l'infusion convient bien pour les fleurs, les feuilles, les sommités fleuries et les plantes riches en huiles essentielles. Cette technique permet une bonne extraction des principes actifs hydrosolubles et même de ceux qui le sont faibles à l'état pur (Benlamdini et al., 2014).

L'analyse des enquêtes confirme que les espèces médicinales de notre région d'étude sont utilisées majoritairement dans les maladies gastriques, l'hypertension et les maladies respiratoires. Selon Jdaidi et Hasnaoui (2016), la majorité des plantes médicinales en Tunisie sont utilisées principalement contre les maladies de l'appareil digestif et de l'appareil respiratoire avec respectivement de 35% et 25%, suivent les maladies de l'appareil circulatoire (15%) et de la peau (10%). Les autres maladies (appareil génital, appareil urinaire et appareil nerveux) sont représentées par des pourcentages entre 4% et 6%. En plus, Bouzabata (2015) a montré que les espèces médicinales au nord est algérien sont utilisées pour le traitement des pathologies gastriques (39,4 %), l'hypertension artérielle (19,7 %), ainsi que les pathologies respiratoires (17,4 %).

Les enquêtes ethnobotaniques constituant un moyen fiable pour une estimation rapide de l'état de vulnérabilité des plantes dans une localité (Traoré et al., 2011), cette étude met en lumière les risques de raréfaction des plantes médicinales au nord ouest tunisien. Les actions anthropiques liées aux modes de récoltes et d'usage contribuent à la vulnérabilité des plantes médicinales. Les résultats obtenus ont montré que la récolte des feuilles ne constitue pas une menace alarmante pour la disponibilité des plantes. Le prélèvement de bois, des fruits, la plante entière et les racines constituent une menace importante pour ces espèces.

Des résultats similaires sont trouvés par Sidio et al. (2022) qui affirment que la récolte des feuilles ne constitue pas une menace alarmante pour la disponibilité des plantes. Ce sont d'autres paramètres associés tels que le mode de prélèvement, le rythme des récoltes et les quantités récoltées qui rendent la récolte des feuilles et des rameaux feuillés problématique. En effet, le déracinement constitue un niveau menace très élevé, associé à la cueillette, à l'écorçage et l'ébranchage. Ils constituent un niveau de menace élevé et sont les modes de récolte prépondérants et représentent 93,3 % des techniques de prélèvement employés pour disposer du matériel végétal. Ils font ainsi peser de lourdes menaces de raréfaction sur les plantes médicinales. Selon Agbo et al. (2017), la récolte de l'écorce des tiges et des racines entraîne un ralentissement de la croissance des ligneux et finit par les tuer.

Nos résultats indiquent que le rythme accentué des récoltes provoque la disparition de certaines espèces végétales en

Tunisie. Sidio et al. (2022) confirment les résultats de notre enquête, le rythme accentué des récoltes vient amplifier ces conséquences déjà préoccupantes. Ainsi, les espèces dont les organes sont fréquemment collectés courent des risques évidents de raréfaction dans l'environnement immédiat des collecteurs de ces plantes. Pour ce qui est de la quantité de matériel, les récoltes excessives d'organes conduisent à la longue, à une disparition de spécimens de végétaux. Traoré et al. (2011) affirment que la récurrence des prélèvements affaiblit les individus ligneux et les rend vulnérables aux intempéries (vent, feux, sécheresse) et aux attaques parasitaires. La régénération d'un fragment d'écorce s'effectue difficilement et une plante intensément écorcée perdra rapidement sa vigueur et succombera précocement à tout type d'attaque biotique ou abiotique (Agbo et al. 2017). Pourtant, l'exploitation intensive des plantes peut devenir néfaste si elle dépasse le seuil tolérable de renouvellement et de régénération des ressources utilisées (Mehdioui et Kahouadji, 2007). Considérant le paramètre de action du cheptel, il est à noter que les cinq séries sont très fréquentées par la population et leur cheptel durant toute l'année.

Bousaidi et Rebai (2017) confirme nos résultats. Le fort indice anthropique pour Oued Zeen II, Ain Draham X, Ain Draham VII, Ain Draham IV et Chihia II révèle que ces séries sont dégradées et que la forêt de chêne-liège souffre de l'action anthropique. Elle est sujette d'ailleurs aux différentes formes de pression (coupe, pâturage, incendie, défrichage). Elle est constituée de gros arbres et sa régénération est quasi absente.

CONCLUSION

Le nord ouest tunisien bénéficie de conditions favorables pour le développement d'une flore riche et variée comprenant un important potentiel en plantes aromatiques et médicinales. Ces espèces végétales constituent des ressources précieuses pour la majorité de la population forestière qui a une diversité ethnique riche, une connaissance traditionnelle forte et une activité médicinale très importante.

A travers l'ensemble des enquêtes ethnobotaniques (500 enquêtes) réalisées dans cinq séries forestières de la région d'Ain Draham, nous avons pu relever un certain nombre d'informations relatives à l'utilisation des plantes médicinales en phytothérapie traditionnelle. Ce travail a permis d'identifier 19 espèces des plantes médicinales et aromatiques, réparties en 10 familles, qui sont très recherchées et ont des utilisations diverses.

L'analyse des résultats obtenus par cette étude nous a permis de repérer les plantes médicinales les plus utilisées dans la zone d'étude. Parmi les plantes les plus utilisées sont celles qui représentent les Lamiaceae et Oleaceae. Nos résultats montrent que les pratiques d'usage, le rythme de récolte, les méthodes de récolte et l'action du cheptel exposent ces espèces à des menaces de raréfaction.

Cependant, les ressources en plantes médicinales et aromatiques sont sous pression de plusieurs facteurs dont les pressions anthropiques et les pressions naturelles. Il est donc nécessaire de conserver le potentiel forestier au nord ouest tunisien et assurer la sauvegarde de ses espèces dans une vision d'exploitation rationnelle qui assure à la fois la continuité de la ressource et la création d'une opportunité de valorisation pour la population locale.

RÉFÉRENCES

- Agbo I.R., Missihoun A.A., Vihotogbe R., Assogbadjo E.A., Ahanhanzo C., Agbangla C. (2017). Impacts des usages traditionnels sur la vulnérabilité de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae) dans le district phytogéographique Zou au Bénin (en Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11: 730-742.
- Benlamdini A., Elhafian M., Rochdi A., Zidane L. (2014). Étude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale du Haute moulouya, Maroc. *Journal of Applied Biosciences* 78: 6771-6788.
- Bentabet N., Rahal R., Nassour S. (2022). Enquête ethnobotanique et inventaire des plantes médicinales utilisées dans le traitement des maladies dermatologiques dans la ville d'Ain Temouchent. *J. Appl. Biosci.*, 170: 17704-17719.
- Betti J.L. (2001). Vulnérabilité des plantes utilisées comme antipaludiques dans l'arrondissement de Mintom au Sud de la réserve de biosphère du Dja (Cameroun). *Systematics and Geography of Plants*, 71: 661-678.
- Bitsindou M. (1986). Enquête sur la phytothérapie traditionnelle à Kindamba et Odzala (Congo) et analyse de convergence d'usage des plantes médicinale en Afrique centrale - Mem. Doc (inéd.). Univ. Libre de Bruxelles, 482 pages.
- Boussaidi N., Rebai L. (2017). Incidences du pâturage sur la dégradation et sur la régénération de la subéraie de Kroumirie (nord-ouest de la Tunisie). *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 44: 2410-2429.
- Bouzabata A. (2015). Contribution à l'étude d'une plante médicinale et aromatique *Myrtus communis* L. Thèse de doctorat en sciences pharmaceutiques. Université Badji Mokhtar Annaba, 259 pages.
- Cheurfia M., Allem R. (2015). Study of hypocholesterolemic activity of Algerian *Pistacia lentiscus* leaves extracts *in vivo*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25: 142-144.
- Cunningham A.B. (2001). Applied ethnobotany: people, wild plant use and conservation, People and plants. Conservation Manuel, Earthscan, 300 p.
- Daly-Hassen H., Ben Mansoura A., Nouioui M., M'Hadhbi F. (2003). Analyse de la filière plantes aromatiques et médicinales en forêt tunisienne. *Annales de l'INRGREF Numéro Spécial* 6: 13-44.
- Diatta C.D., Gueye M., Akpo L.E. (2013). Les plantes médicinales utilisées contre les dermatoses dans la pharmacopée Bainouk de Djibonker, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 70: 5599-5607.
- Dibong S.D., Kwin M.F., Betti J.L. (2011). Ethnobotanique et phytomédecine des plantes médicinales de Douala, Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 37: 2496 - 2507.
- Dro B., Soro D., Koné M.W., Bakayoko A., Kamanzi K. (2013). Évaluation de l'abondance de plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 17: 2631-2646.
- Janakat S., Al-Merie H. (2002). Evaluation of hepatoprotective effect of *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia* and *Nicotiana glauca*. *J. Ethnopharmacol.*, 83: 135-138.
- Jdaïdi N., Hasnaoui B. (2016). Étude floristique et ethnobotanique des plantes médicinales au nord ouest de la Tunisie: cas de la communauté d'Ouled Sedra. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 3: 281-291.
- Jiofack T., Fokunang C., Guedje N., Kemeuz V., Fongnzossie E., Nkongmeneck B.A., Mapongmetsem P.M., Tsabang N. (2010). Ethnobotanical uses of medicinal plants of two ethnoecological regions of Cameroon. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2: 60-79.
- Joy P.P., Thomas J., Mathew S., Skaria B.P. (2001). Medicinal Plants. *Tropical Horticulture*, 2: 449-632.
- Lejoly J. (2001). La banque de données sur les plantes médicinales africaines; l'exemple de Pharmel (communication), In Réseau «Espèces ligneuses médicinales». Compte Rendu de la Première Réunion du Réseau, Eyog-Matig O, Adjanohoun E, de Souza S, Sinsin B (eds), Institut International des Ressources Phytogénétiques, Cotonou, 91-95.
- Lemouchi R., Selles C., Medjdoub H., Tabti B. (2015). Assessment of possible efficacy of aqueous leaves extract of *Psoralea bituminosa* L. for anti-hyperglycaemic activity. *Asian Pac. J. Trop. Dis.*, 5: 575-8.
- Mehdioui R., Kahouadji A. (2007). Étude ethnobotanique auprès de la population riveraine de la forêt d'Amsittène: cas de la Commune d'Imin'Tlit (Province d'Essaouira). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 29: 11-20.
- Mehenni C., Atmani-Kilani D., Dumarc A.S., Perrin D., Gerardin P., Atmani D. (2016). Hepatoprotective and antidiabetic effects of *Pistacia lentiscus* leaf and fruit extracts. *J. Food Drug Anal.*, 24: 653-69.
- Monteiro J.M., Araujo E., Amorim L., Albuquerque P. (2010). Local markets and medicinal plant commerce: a review with emphasis on Brazil. *Economic Botany*, 64: 352-366.
- Morita M., Naito Y., Yoshikawa T., Niki E. (2017). Antioxidant capacity of blueberry extracts: Peroxyl radical scavenging and inhibition of plasma lipid oxidation induced by multiple oxidants. *J. Berry Res.*, 7:1-9.
- Mpondo E., Dibong S.D. (2012). Traditional knowledge on medicinal plants use by ethnic communities in Douala, Cameroon. *European Journal of Medicinal Plants*, 2: 159-176.
- Nsibi R., Lamari Y., Bouzid S. (2006). Réponse quantitative de la végétation arbustive après débroussaillage et incendie dans la région de Tabarka (Nord-Ouest de la Tunisie) Pour une meilleure utilisation du milieu naturel. *Geo-Eco-Trop*, 30: 49-58.
- Oh Y.S. (2016). Bioactive compounds and their neuroprotective effects in diabetic complications. *Nutrients*, 8: 472.
- Pissard A., Lateur M., Baeten V., Magein H., Dupont P., Tabart J., Kevers C., Pincemail J. (2016). Determination of total phenolic compound content and antioxidant activity in cherry species and cultivars. *J. Berry Res.*, 6: 81-91.
- Pistollato F., Giampieri F., Battino M. (2015). The use of plant-derived bioactive compounds to target cancer stem cells and modulate tumor microenvironment. *Food Chem. Toxicol.*, 75: 58- 70.
- Rawani A., Pal S., Chandra G. (2011). Evaluation of antimicrobial properties of four plants extracts against human pathogens. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 1: 71-5.
- Rojas A., Hernandez L., Pereda M.R., Mata R. (1992). Screening for antimicrobial activity of crude drug extracts and pure natural products from Mexican medicinal plants. *J. Ethnopharmacol.*, 35: 275-83.
- Salhi S., Fadli M., Zidane L., Douira A. (2010). Études floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroo*, 31: 133-146.
- Sidio S.R., Kouadio V.P.G., Nomel G.J.R., Offoumou M.R., N'Guessan K., N'Guessan K.É. (2012). Incidences des pratiques et des modalités de récolte sur la disponibilité des plantes médicinales: cas des plantes antidiarrhéiques employées dans le département de Gagnoa, Côte d'Ivoire. *REB-PASRES* 6 : 1-14.
- Traoré L., Ouédraogo I., Ouédraogo A., Thiombiano A. (2011). Perceptions, usages, et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud- Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 258- 278.

Effet de l'assèchement sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux de ruisseaux affluents des rivières Alibori et Sota au nord Bénin

Z. OROU PIAMI¹, H. H. AKODOGBO², F. M. GOUISSI¹, K. S. ABAHI¹, Y. IDRISOU¹, M. P. GNOHOSSOU¹

(Reçu le 03/11/2022; Accepté le 26/01/2023)

Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer les impacts physico-chimiques des assèchements sur les affluents des rivières Alibori et Sota au nord Bénin. Des paramètres physiques ont été mesurés *in situ* dans les eaux de cinq ruisseaux (Bouli, Irané, Tassiné, Sanson et Yassikoga) et les paramètres chimiques ont été mesurés au laboratoire. Les résultats ont montré des différences de valeurs des paramètres physico-chimiques entre avant assèchement (T°C: 19,3 et 23,9 °C), pH (6,7 et 7,8), TDS (8,5 ppm et 20,5 ppm), NH₄⁺ (0,075 et 0,5 mg/l) et P₂O₅ (0,07 et 0,16 mg/l) et après assèchement (T°C: 26,5 et 33,6 °C), pH (3,2 et 6,5), TDS (26,5 et 30,1 ppm); NH₄⁺ (0,3 et 0,57 mg/l) et P₂O₅ (0,07 et 0,16 mg/l). Les différences saisonnières de ces valeurs révèlent les effets néfastes de l'assèchement sur les paramètres physico-chimiques des eaux des milieux d'études. Parmi les cinq ruisseaux étudiés, Yassikoga a présenté l'eau la plus chaude, la plus acide, la plus troublée, avec une plus forte concentration en ion NH₄⁺ et en P₂O₅.

Mots clés: Assèchement des rivières, Caractéristiques physico-chimiques, Ruisseaux affluents, rivières, Alibori, Sota, Nord Bénin

Effect of drying on the physico-chemical characteristics of the waters of tributary streams of Alibori and Sota rivers in northern Benin

Abstract

The objective of this study is to measure the physico-chemical impacts of the drying up of the tributaries of the Alibori and Sota rivers in northern Benin. Physical parameters were measured *in situ* in the waters of five streams (Bouli, Irané, Tassiné, Sanson and Yassikoga) and chemical parameters were measured in the laboratory. The results showed differences in the values of the physico-chemical parameters between before drying (T°C: 19.3 and 23.9°C), pH (6.7 and 7.8), TDS (8.5 ppm and 20.5 ppm), NH₄⁺ (0.075 and 0.5 mg/l) and P₂O₅ (0.07 and 0.16 mg/l) and after drying (T°C: 26.5 and 33.6 °C), pH (3.2 and 6.5), TDS (26.5 and 30.1 ppm), NH₄⁺ (0.3 and 0.57 mg/l) and P₂O₅ (0.07 and 0.16 mg/l). The seasonal difference in these values reveals the adverse effects of drying on the physico-chemical parameters of the waters in the study environments. Among the five streams studied, Yassikoga presented the warmest water, the most acidic, the more turbid, with a higher concentration of NH₄⁺ ion and P₂O₅.

Keywords: River drying, Physico-chemical characteristics, Tributary streams, rivers, Alibori, Sota, North Benin

INTRODUCTION

Les cours d'eau font partie des écosystèmes aquatiques les plus dynamiques et jouent des rôles essentiels dans la conservation de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (Aguilar Ibarra, 2004). Cependant, en raison de l'explosion démographique, la production agricole au moyen de l'agrochimie et de la mécanisation durant ces dernières décennies a entraîné des changements environnementaux sous l'effet des déforestations intensives et des dégradations des sols de nombreuses régions du monde (Laurent, 2012). Ces changements climatiques au cours de ces dernières années engendrent des assèchements aigus plus sévères et persistants pendant la saison sèche, dans le bassin cotonnier du nord Bénin. Les assèchements des lits des cours d'eaux entraînent d'une part des perturbations qui régissent les paramètres physico-chimiques de l'eau et d'autre part des pénuries d'eaux des écosystèmes aquatiques. Or, l'eau des rivières continue de pouvoir nourrir tous les êtres humains et autres organismes (Hayek, 2021). Le maintien de la qualité des eaux continentales est donc une préoccupation majeure pour les sociétés qui doivent subvenir à des besoins en eau de plus en plus importants, et ce, tant du point de vue qualitatif que quantitatif (Menbohan *et al.*, 2013). Par ailleurs, aucune recherche antérieure ne s'est penchée sur l'évaluation de l'impact de l'assèchement sur les caractéristiques physico-chimiques des écosystèmes aquatiques au Bénin et particulièrement sur les sous bassins Alibori et Sota au nord Bénin. Dans cet article, nous avons

exploré les effets de la perte d'eau de surface dans les ruisseaux affluents des rivières Alibori et Sota au nord Bénin sur les paramètres physico-chimiques de l'eau de ces ruisseaux.

MATÉRIELS ET MÉTHODE

Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans le bassin cotonnier au nord du Bénin sur les rivières Alibori et Sota (Figure 1). La rivière Alibori naît à 410 m d'altitude environ dans le massif granitique de Kita sur le flanc de la chaîne de l'Atacora dans la commune de Péhonco et couvrant une superficie de 13 740 km² avec une longueur de 427 km. Tandis que la Sota, d'une superficie de 13 360 km², et d'une longueur d'environ 254 km, elle prend sa source à plus de 400 m d'altitude sur les flancs Est du plateau gréseux de Kalalé qu'elle va contourner par le nord avant d'emprunter la direction SSW-NNE sur les formations du socle. Quatre-vingt-dix (90) km après sa source, la Sota pénètre dans les formations gréseuses du Crétacé qu'elle entaille assez profondément et rejoint après 250 km de parcours, le Niger à environ 1 km en aval de Malanville (Adam et Boko, 1993). La rivière Alibori s'étend dans le département d'Alibori avec beaucoup d'affluents éparpillés dans les communes du bassin cotonnier (Kandi, Gogounou, Banikoara, Karimama et Malanville), dans le département de l'Atakora (Kerou, Pehonko) et dans le département du Borgou (Sinendé), tandis que la Sota couvre les communes de Malanville, Ségbana, Kandi et Gogounou dans le départ-

¹ Laboratoire d'Écologie, de Santé et de Productions Animales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

² Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, École Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

tement de l'Alibori et les Communes de Bembèrèkè, Kalalé et Nikki dans le département du Borgou. Ces rivières sont des écosystèmes aquatiques situés en zone soudanienne d'un climat de type tropical sec avec une seule saison de pluie allant de Mai à Septembre et une seule saison sèche allant d'Octobre à Avril (Koumassi, 2014). L'Alibori est situé entre 10°30' et 12° de latitude Nord et 1°32' et 3°50' de longitude Est. La Sota localisé entre 9°54' et 11°95' de latitude Nord et 2°28' et 3°52' de longitude Est. L'Alibori reçoit sur sa rive droite de l'amont vers l'aval, le Souédarou, le Sarédarou, le Darou-Woka et le Sanson sur sa rive gauche, le Morokou, la Kparé, le Kénou, le Yassikoga, le Konékoga et le Kpako avant de se jeter dans le Niger en amont de Malanville. Quant à la Sota, elle reçoit successivement le Souamon sur sa rive droite, le Tassiné, le Bouli, l'Irané, le Gouroukpa et la cascade de Sosso sur sa rive gauche (Le Barbé *et al.*, 1993).

Caractéristiques climatiques du bassin nord Bénin

De l'analyse de la figure 2, il ressort qu'au pas de temps mensuel, le bilan climatique dans le bassin cotonnier au nord Bénin permet d'identifier deux périodes opposées:

- Quatre mois humides qui s'étendent entre mi-Mai à mi-October, avec un maximum en Août.

Les rivières Alibori et Sota pendant ces mois, sont alimentées en surplus d'eau et favorisent l'alimentation des réservoirs souterrains des sous bassins versants. Cette période est aussi favorable à l'inondation causée par les fortes pluies enregistrées en Août.

- Entre mi-October et mi-Mai, ce sont les mois secs où la demande évaporatoire de l'atmosphère est très importante, avec un fort amenuisement et même l'assèchement des réserves d'eau de surface et du sous-sol.

La température minimale varie entre 17,5°C et 26°C. Quant à la température maximale, elle a oscillée entre 34°C et 39,5°C. La plus forte température a été enregistrée pendant la saison sèche en Mars tandis que la température la plus faible a été mesurée en saison des pluies et surtout dans le mois d'Août.

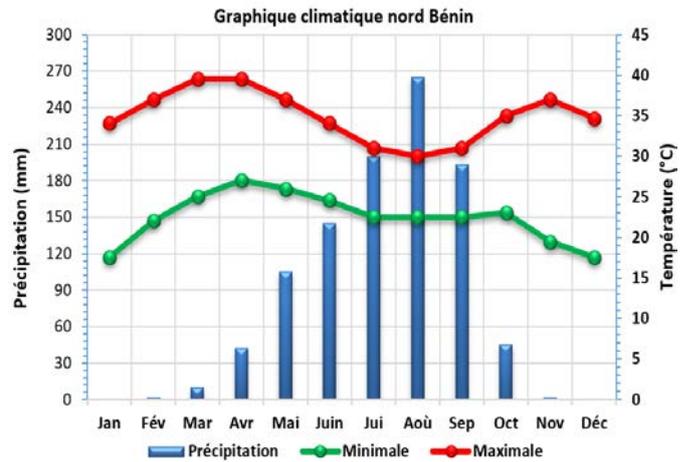


Figure 2: Bilan climatique mensuel dans le bassin cotonnier au nord Bénin

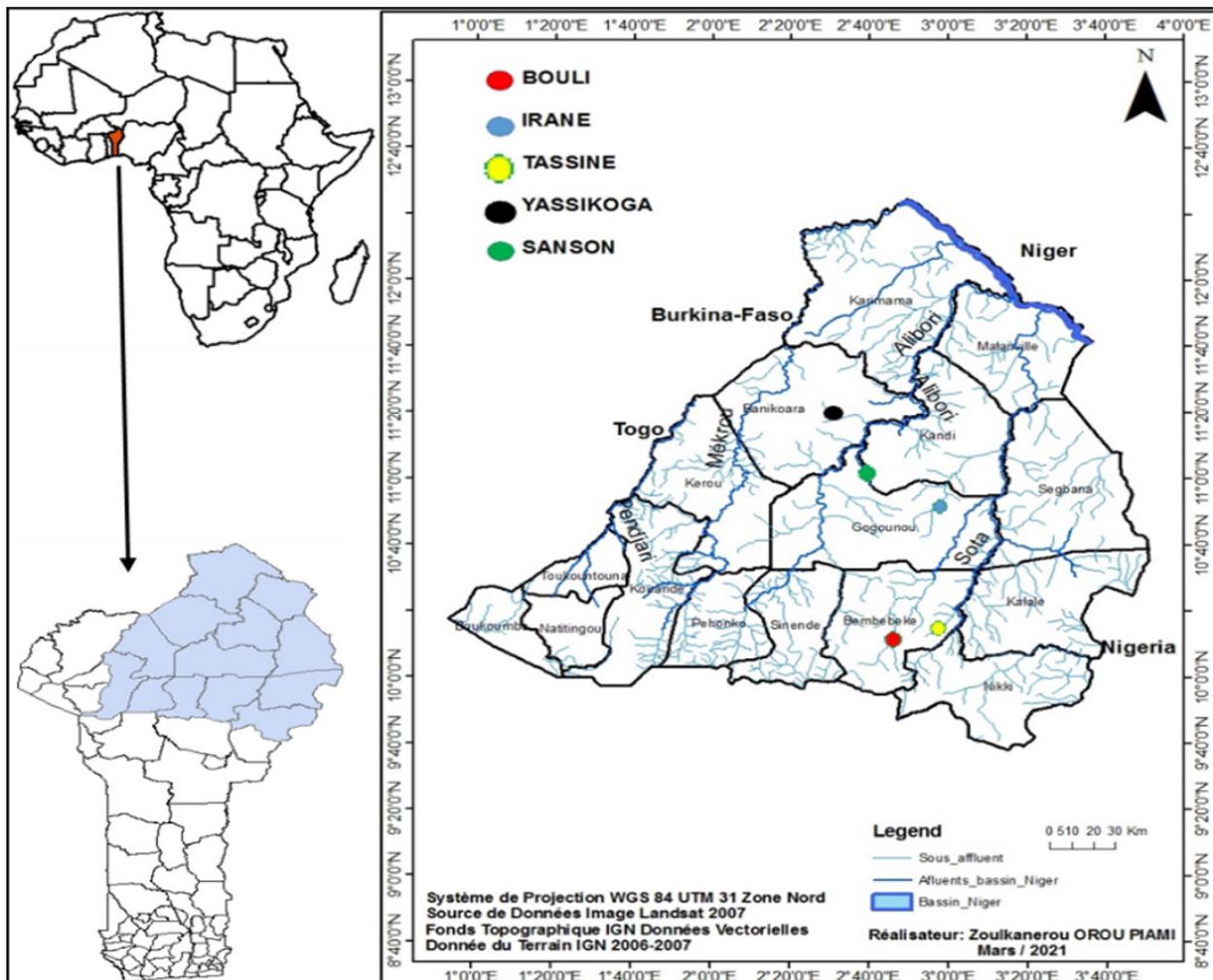


Figure 1: Situation des rivières Alibori et Sota

Caractéristiques des stations d'échantillonnages

La présente étude a été réalisée sur 05 ruisseaux du bassin cotonnier au nord Bénin. Trois ruisseaux (Bouli, Irané et Tassiné) affluents de la rivière Sota et deux ruisseaux (Sanson et Yassikoga) affluents de la rivière Alibori sont considérés lors de la collecte des échantillons. Les rivières Alibori et Sota sont arrosées par ces affluents uniquement pendant la saison pluvieuse. Suite à la déforestation et la dégradation des écosystèmes aquatiques sous l'évolution du secteur agricole associé aux effets du changement climatique, ces ruisseaux connaissent ces dernières années un assèchement sévère et persistant pendant la saison sèche, ce qui est l'objet du présent travail.

Méthode de collecte de donnée des paramètres physico-chimiques

Dans le cadre de cette étude, deux campagnes de collectes des données ont été effectuées. Huit (08) paramètres physico-chimiques ont été respectivement mesurés avant assèchement (en Novembre) et après la remise en eau (Juin) au niveau des stations d'études. Deux valeurs de paramètres physico-chimiques tels que la température, la conductivité, le TDS, la profondeur, la transparence et le pH des eaux sont mesurés *in situ* entre 6 heures et 12 heures dans toutes les cinq (5) stations d'études. La conductivité, la température et le taux de solides dissous (TDS) ont été mesurés à l'aide d'un conductimètre (Hanna HI 99300). Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Hanna HI 98107). La profondeur est mesurée à l'aide d'une règle graduée et la transparence de l'eau est mesurée à l'aide d'un disque de Secchi. Enfin un GPS, navigateur Garmin GPS 72 est utilisé pour déterminer les coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage (Tableau 1). Deux échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide des bouteilles stériles au niveau de chaque station d'étude et conservés à température fraîche, pour le dosage des paramètres chimiques tels que l'Azote ammoniacal (NH_4^+) et le Phosphate total (P_2O_5) au laboratoire de la direction de l'analyse des eaux de Parakou.

Analyses statistiques

Les données obtenues ont été traitées à l'aide du logiciel Excel 2013 et du logiciel R3.4.4 (Team, 2013). Les valeurs moyennes et l'écart-type des paramètres physico-chimiques ont été calculées pour chaque station d'étude. Les tests de student et celui de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour évaluer la variabilité saisonnière des paramètres physico-chimiques au seuil de 5%. De plus, l'Analyse en Composante Principale (ACP) et la Typologie de station d'échantillonnage ont été réalisées à l'aide du Logiciel statistique Past (Hammer, 2001). L'ACP a permis d'ordonner nos stations d'étude en fonction des gradients de concentration et de la variabilité saisonnière des paramètres physico-chimiques. La typologie de station a permis de réaliser la classification hiérarchique à l'aide de la matrice d'avant et après assèchement de stations d'échantillonnages.

RÉSULTATS

Variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques des ruisseaux d'étude

Les valeurs moyennes saisonnières, l'écart type ainsi que le coefficient de variation de chaque paramètre physique et chimique des eaux des cinq ruisseaux (Bouli, Irané, Tassiné, Sanson et Yassikoga) affluent des rivières Alibori et Sota sont présentés dans le tableau 2. L'analyse de ce tableau montre une différence saisonnière des valeurs moyennes de chaque paramètre mesuré. En effet, on remarque de fortes valeurs de température, de pH, de conductivité, de solides dissous totaux, d'azote ammoniacal et de phosphore total avant assèchement par rapport à l'après la remise en eau (après assèchement). Quant à la transparence enregistrée, les eaux des stations d'études sont plus transparentes avant assèchement que celles de l'après assèchement. Dans l'ensemble, au niveau de chaque station d'études, les paramètres physico-chimiques ont significativement varié d'une saison à une autre ($p < 0,05$).

Tableau 1: Caractéristiques des zones de la collecte de base des données

Rivières	Ruisseaux	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Sota	Bouli	120 0712,064E	496 286,203N	373
	Irané	112 6248,921E	474 473,767N	309
	Tassiné	113 1513,991E	496 286,203N	258
Alibori	Sanson	125 4114,924E	448 900,566N	290
	Yassikoga	122 2524,500E	462 439,319N	390

Tableaux 2: Variation saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux de ruisseaux d'étude

Rivières	Ruisseaux	Saison	T°C	pH	Transp. (cm)	prof. (cm)	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	NH_4^+ (mg/l)	P_2O_5 (mg/l)	p-value	Coeff. var
Sota	Bouli	AVAS	20,8±0,90	7,0±0,14	20,0±1,41	20,0±1,41	37,5±3,54	20,5±4,95	0,26	0,15	0.0093	79,6
		APAS	30,7±0,35	5,2±0,71	17,5±1,41	21,5±2,12	53,0±1,41	26,5±0,71	0,47	0,29	0.0170	90,9
	Irané	AVAS	19,3±0,50	7,8±0,38	24,0±4,24	34,5±10,6	25,0±0,00	13,0±0,00	0,16	0,11	0.0103	81,4
		APAS	26,5±0,00	6,5±0,00	16,0±0,00	20,0±0,00	60,0±14,1	30,0±7,07	0,04	0,27	0.0260	100,5
	Tassiné	AVAS	23,9±0,21	7,5±0,64	20,0±9,90	20,0±9,90	17,0±1,41	8,5±0,71	0,07	0,07	0.0157	78,1
		APAS	28,0±2,12	6,3±0,14	17,0±1,41	49,5±30,4	46,0±1,41	22,5±0,70	0,30	0,20	0.0084	89,2
Alibori	Sanson	AVAS	22,3±0,64	6,7±0,35	27,0±12,7	44,5±26,2	32,5±0,71	16,5±0,71	0,10	0,14	0.0126	85,0
		APAS	32,5±1,41	4,5±0,00	13,5±0,71	13,5±0,71	52,0±11,3	26,0±5,66	0,38	0,35	0.0235	98,1
	Yassikoga	AVAS	21,1±0,42	6,7±1,27	9,5±0,71	16,5±2,12	31,0±4,24	15,5±2,12	0,05	0,16	0.0092	79,5
		APAS	33,6±0,85	3,2±0,00	13,0±3,54	29,5±0,71	53,5±0,71	27,0±0,00	0,57	0,40	0.0195	93,8

Légende: AVAS = Avant Assèchement; APAS = Après Assèchement; T°C = Température; pH = Potentiel hydrogène; Transp = Transparence; Prof = Profondeur; Cond = Conductivité TDS = Total Dissolve Solides; coeff var = coefficient de variation

Caractérisation des eaux des ruisseaux affluent des rivières Alibori et Sota

Température (T°C)

L'analyse des valeurs moyennes de la température des cinq ruisseaux d'étude montre des valeurs comprises entre 19,3°C et 23,9°C avant l'assèchement et entre 26,5°C et 33,6°C après la remise en eau. Au niveau de toutes les stations d'études, les plus faibles valeurs ont été enregistrées avant l'assèchement, tandis que les plus fortes valeurs sont mesurées après la remise en eau des stations d'études. La température la plus faible a été mesurée dans la station d'Irané avant l'assèchement et celle la plus élevée a été enregistrée dans la station de Yassikoga après la remise en eau des stations lors des premières pluies (Figure 3).

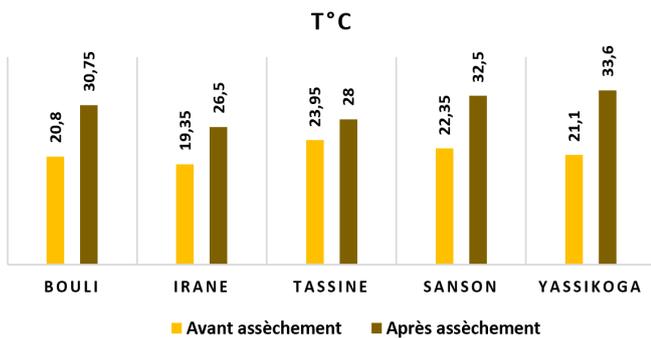


Figure 3: Variation spatiale et saisonnière des températures

Potentiel hydrogène (pH)

Les valeurs moyennes de pH mesuré ont varié entre 6,7 et 7,8 avant l'assèchement et entre 3,2 et 6,5 après la remise en eau des stations d'études. Le pH est modérément neutre avant l'assèchement des lits des cours d'eaux de toutes les stations d'études. Quant au début de la saison pluvieuse (après l'assèchement), on remarque une diminution des valeurs du pH au niveau de tous les cinq ruisseaux d'études et il est légèrement acide dans toutes les stations d'étude. Les faibles valeurs de pH de l'avant et après la remise en eau ont été obtenue au niveau de la station de Yassikoga et les plus forte valeurs de pH ont été mesurées sur le ruisseau de Tassiné (Figure 4).

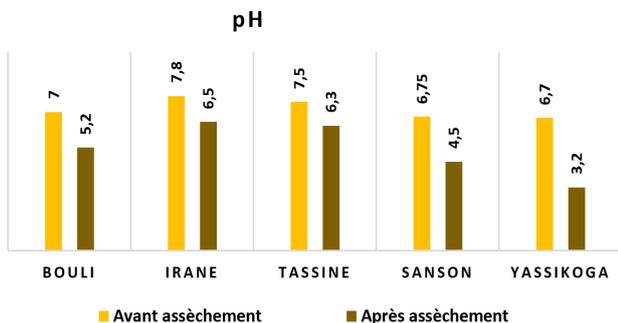


Figure 4: Variation spatiale et saisonnière du pH

Transparence

La valeur de transparence mesurée avant l'assèchement des ruisseaux d'études est comprise entre 9,5 cm et 27 cm. Elle a varié également entre 13 cm et 17,5 cm après l'assèchement des stations d'étude. Les valeurs les plus faibles indiquant un faible niveau de transparence coïncident avec l'après assèchement des stations d'études. La forte valeur est enregistrée avant l'assèchement (Figure 5). Dans l'ensemble de cinq ruisseaux d'étude, on note des faibles transparences avant et après l'assèchement dans le ruisseau de Yassikoga (Figure 5).

TRANSPARENCE (cm)

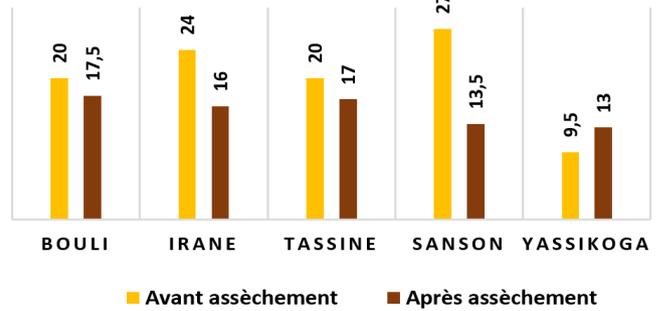


Figure 5: Variation spatiale et saisonnière de la transparence

Profondeur

Les valeurs de la profondeur enregistrée ont variés entre 16,5 cm et 44,5 cm avant l'assèchement et entre 13,5 cm et 49,5 cm après l'assèchement des lits des stations d'études (Figure 6). Parmi les stations d'études, Sanson a présenté une eau plus profonde avant le phénomène d'assèchement et à la fois moins profonde après la remise en eau. La forte profondeur a été enregistrée dans la station de Tassiné après l'assèchement et la faible profondeur a été mesurée avant l'assèchement dans la station de Yassikoga (Figure 6).

PROFONDEUR (cm)

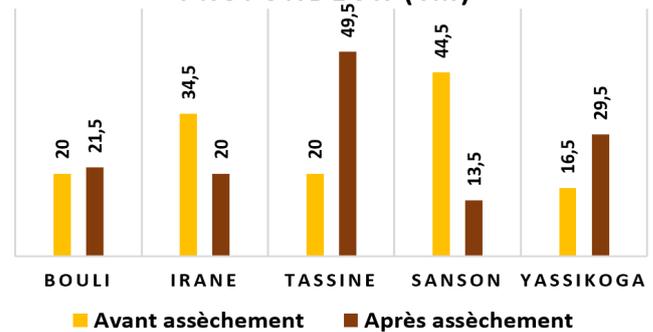


Figure 6: Variation spatiale et saisonnière de la profondeur

Conductivité

Avant l'assèchement, la conductivité enregistrée a varié entre 17 µS/cm et 37,5 µS/cm et après l'assèchement, elle a varié entre 46 µS/cm et 60 µS/cm (Figure 7). Les fortes valeurs des conductivités ont été mesurées après la remise en eau au niveau de toutes les stations d'études. Dans l'ensemble, les valeurs de conductivité électrique sont inférieures à la norme d'OMS. Les conductivités des eaux des stations d'études sont plus faible au niveau des stations de Tassiné avant et après l'assèchement tandis que Irané a présenté des fortes valeurs de conductivité après la remise en eau (Figure 7).

CONDUCTIVITÉ (µs/cm)

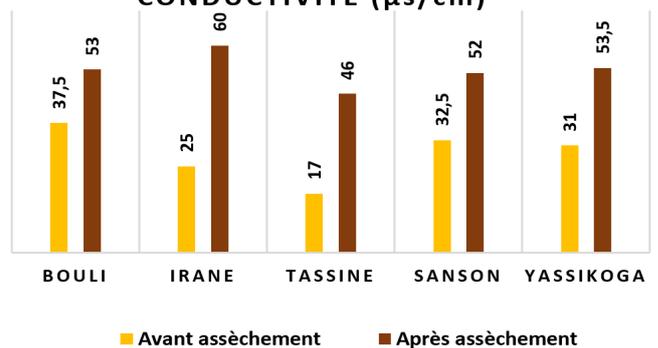


Figure 7: Variation spatiale et saisonnière de la Conductivité électrique

Solides totaux dissous (TDS)

Les TDS des stations d'études sont en relation avec les conductivités électriques. Les solides totaux dissous mesurés ont varié entre 8,5 ppm et 20,5 ppm avant l'assèchement. Après la remise en eau des stations d'études, ils ont variés entre 22,5 ppm et 30 ppm. Les valeurs de l'avant l'assèchement de TDS ont été plus élevées dans la station d'Irané et faible dans la station de Tassiné (Figure 8). Quant à l'après remise en eau des lits des stations d'études, les fortes valeurs de TDS ont été mesurées à Bouli tandis que les faibles valeurs ont été obtenues à Tassiné (Figure 8).

TDS (ppm)

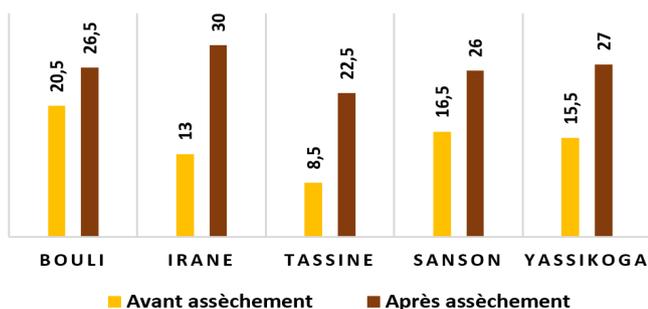


Figure 8: Variation spatiale et saisonnière du taux de solides dissous

Azote ammoniacal (NH_4^+)

Dans la présente étude, les concentrations de NH_4^+ enregistrées ont varié entre 0,1 mg/l et 0,5 mg/l avant l'assèchement et entre 0,3 mg/l et 0,57 mg/l après la remise en eau. On remarque donc une augmentation de concentration en ions NH_4^+ après l'assèchement des lits des stations d'études. Les plus fortes valeurs de l'ion NH_4^+ de l'avant et après l'assèchement ont été mesurées au niveau de la station de Yassikoga tandis que les plus faibles valeurs de l'avant et après l'assèchement ont été obtenues au niveau de la station de Tassiné (Figure 9).

NH_4^+ (mg/L)

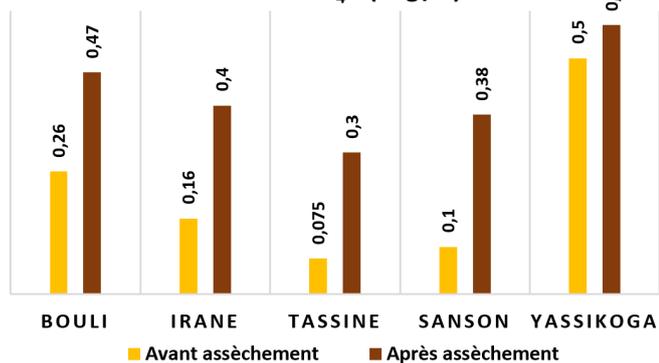


Figure 9: Variation spatiale et saisonnière de l'Azote ammoniacal

Phosphate total (P_2O_5)

La figure 10 présente les concentrations des phosphates mesurées avant l'assèchement et après la remise en eau des stations d'études. On remarque une variation des concentrations de phosphate total entre 0,07 mg/l et 0,16 mg/l avant l'assèchement et entre 0,2 mg/l à 0,4 mg/l après la remise en eau. Les faibles valeurs de l'avant et après l'assèchement ont été enregistrées au niveau des stations de Tassiné et des fortes valeurs ont été mesurées dans la station de Yassikoga (Figure 10).

P_2O_5 (mg/L)

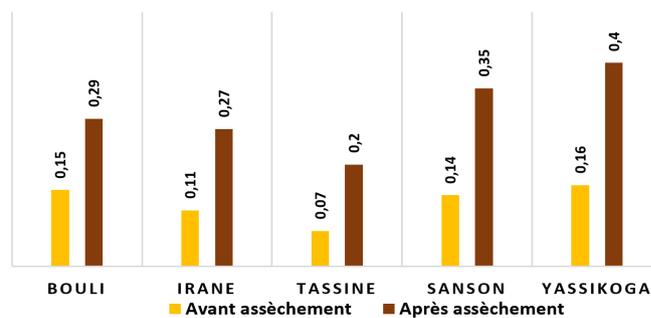


Figure 10: Variation spatiale et saisonnière du Phosphate total

Typologie de station d'échantillonnage

La classification hiérarchique réalisée à partir de la matrice de l'avant et après l'assèchement de stations d'échantillonnages, à l'aide de la méthode de Ward avec le logiciel statistique Past, a permis de classer les 05 stations d'échantillonnages en deux (2) grands groupes et en six (6) sous-groupes (Figure 11). Le groupe 1 est caractérisé par toutes les stations de l'avant l'assèchement et le groupe 2 est lié à toutes les stations de l'après la remise en eau. En ce qui concerne les sous-groupes, le sous-groupe 1 est caractérisé par les stations de l'avant l'assèchement de Irané et de Sanson, le sous-groupe 2 est représenté par la station de l'avant l'assèchement de Tassiné, le sous-groupe 3 est caractérisé par les stations de l'avant l'assèchement de Bouli et de Yassikoga, le sous-groupe 4 est lié à la station de l'après la remise en eau d'Irané, le sous-groupe 5 a relié les stations de Bouli et de Sanson de l'après remise en eau, quant au sous-groupe 6, il est représenté par les stations de l'après l'assèchement de Yassikoga et celle de Tassiné.

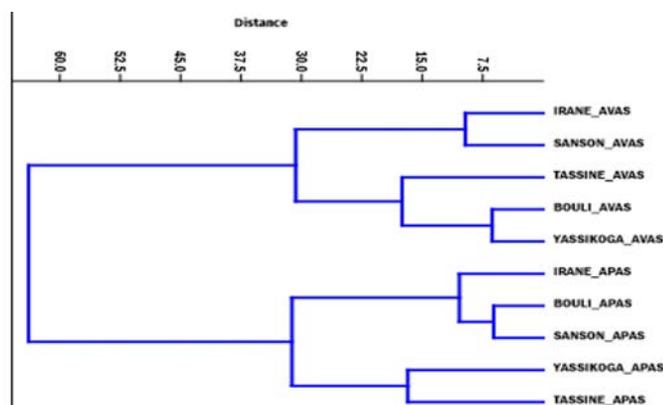


Figure 11: Classification hiérarchique des stations d'études avec la méthode de Ward

Légende: AVAS= Avant Assèchement; APAS = Après Assèchement

Analyse en Composante Principale (ACP)

L'analyse de la projection des stations et des paramètres physico-chimiques en fonction de la saison dans un système de dimension défini par l'ACP montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en trois groupes (Figure 12):

- **Groupe I:** Il est caractérisé par les fortes valeurs de profondeurs et de transparence et est lié aux stations de l'avant l'assèchement de Sanson et de Irané ainsi que la station de l'après remise eau de Tassiné;
- **Groupe II:** Il est représenté par les fortes valeurs de conductivités; de TDS et de température et est associé aux stations d'après l'assèchement de Yassikoga, de Bouli et de Sanson;

• **Groupe III:** c'est un groupe intermédiaire, il est caractérisé par les stations de l'avant l'assèchement de Tassiné, de Yassikoga et de Irané.

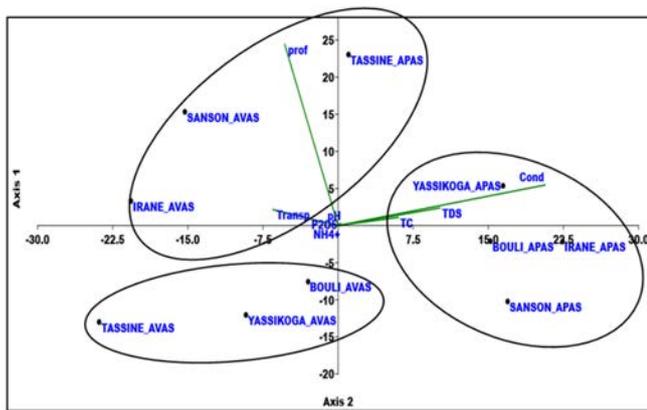


Figure 12: Représentation graphique de la projection des paramètres physico-chimique inter-saisonnière et des stations
Légende: AVAS= Avant Assèchement; APAS = Après Assèchement

DISCUSSION

L'analyse statistiques des paramètres physico-chimiques mesurés pendant les deux saisons dans les cinq ruisseaux d'études a montré une différence significative entre avant l'assèchement et après l'assèchement.

La transparence est l'un des indicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques. La transparence permet une évaluation de la zone où l'intensité lumineuse résiduelle rend l'activité de la photosynthèse possible dans la production primaire et dépend largement de la matière en suspension. Elle joue un rôle important dans la description des variations du milieu tout en englobant la densité phytoplanktonique et de matières en suspension dans l'eau telles que l'argile, les substances humiques, la vase et les colorants. Ainsi, les fortes turbidités réduisent la pénétration de la lumière et l'oxygénation du milieu aquatique. Les valeurs moyennes de la transparence ont varié entre 9,5 cm et 27 cm avant l'assèchement et de 13 cm et 17,50 cm après. Les eaux de toutes les stations d'études sont moins transparentes après l'assèchement et pourrait s'expliquer par les effets de l'assèchement complet sur les lits des ruisseaux d'études pendant la saison sèche. Les plus faibles valeurs ont été enregistrées au niveau de la station de Yassikoga. La faible transparence observée après la remise en eau des cours d'eaux est identique à l'observation faite par Houelome *et al.*, (2016) dans les régions polluées de la rivière Alibori. Cette situation pourrait s'expliquer par le lessivage et le drainage des terres agricoles ainsi que des déchets et les boues des traces humaines et animales lors des premières pluies vers les ruisseaux d'études.

La température est l'un des facteurs qui varie en fonction de l'état de la couverture végétale de la berge et de l'ensoleillement. La température est un paramètre qui affecte le niveau d'oxygène dissous dans l'eau, la photosynthèse des plantes aquatiques, les taux métaboliques des organismes aquatiques et la sensibilité de ces organismes à la pollution, aux parasites et aux maladies (vitesse de réaction de certaines enzymes dépendent de la température de l'eau). La température de l'eau est critique car c'est une qualité importante dans les paramètres environnementaux. Les valeurs moyennes de la température des cinq ruisseaux d'étude ont été comprises entre 19,3°C et 23,9°C avant

l'assèchement et entre 26,5°C et 33,6°C après la remise en eau. Les valeurs moyennes de température enregistrée après la remise en eau sont plus élevées que celles avant l'assèchement. Cette augmentation de la température de l'eau des stations d'études après la remise en eau pourrait s'expliquer par l'accroissement du déboisement entraînant la réduction des forêts (Goula *et al.*, 2006). La déforestation à l'extrême dans le bassin cotonnier au nord Bénin, en faveur de l'agriculture, a entraîné les assèchements des rivières et le réchauffement des lits des stations asséchées sous l'influence du rayonnement solaire dont la chaleur était propagée en profondeur du sol. Selon IPCC (2007), en réponse au réchauffement climatique, de la contraction du volume d'eau dans les zones asséchées, et de la déconnection des eaux de surface et des eaux souterraines, la température des milieux aquatiques augmente de façon significative. Les plus fortes températures ont été mesurées après la remise en eau dans les stations des Sanson et de Yassikoga. La plus forte élévation thermique des eaux des ruisseaux de Sanson et de Yassikoga que les autres ruisseaux après la remise en eau serait due d'une part par l'utilisation excessive de l'oxygène dissous et la libération de CO₂ à travers le phénomène de la nitrification de l'azote d'origine agricole en nitrites (NO₂⁻) et nitrates (NO₃⁻) par les bactéries. D'autre part, cette élévation thermique serait due à la turbidité de l'eau des cours d'eaux par les premières pluies, empêchant la pénétration des rayonnements solaires utiles pour la photosynthèse. Car lors de la photosynthèse, les plantes aquatiques captent le CO₂, la lumière solaire et les matières nutritives afin de fabriquer leur propre matière organique en libérant l'oxygène favorisant ainsi la baisse de la température et l'augmentation du pH.

Le pH exprime l'état d'acidité ou d'alcalinité de l'eau par rapport à l'échelle logarithmique de 0 à 14. Ainsi une eau de pH = 7 est dite neutre, une eau de pH < 7 est dite acide et une eau de pH > 7 est dite basique. Les valeurs moyennes du pH enregistrées (6,7 et 7,8) avant l'assèchement sont proches de la neutralité, car la plage du pH optimale pour une vie aquatique durable se situe entre 6,5 et 8,2 (Murdock *et al.*, 2001). La norme Béninoise est située entre 6,5 et 8,5 (Décret, 2001). Quant aux pH mesurés après l'assèchement (3,2 et 6,5), ils sont légèrement acides. Les faibles valeurs de pH peuvent être liées aux forts phénomènes de respiration et de minéralisation dans les milieux d'études lors de la remise en eau. Alayat *et al.*, (2013) ont révélé que la respiration contribue à l'abaissement du pH par production de gaz carbonique. De même, lors de la minéralisation de la matière organique, la production de CO₂ entraîne une baisse du pH (Alayat, 2006). Les faibles valeurs de pH de l'avant et après la remise en eau ont été obtenue au niveau de la station de Yassikoga et les plus forte valeurs de pH ont été mesurées sur le ruisseau de Tassiné. Cette observation pourrait être liée à la tendance vers la respiration et surtout la fermentation pour dégrader les apports en matières organiques drainées par les eaux usées et qui entraîne une diminution du pH.

La profondeur est le premier un paramètre à être touché par le phénomène d'assèchement. Ce paramètre n'influence pas beaucoup la qualité chimique de l'eau mais un cours d'eau à profondeur élevée résiste aux réchauffements d'origine solaire et aux assèchements précoces. Ce paramètre est dépendant de la saison et des facteurs climatiques. La profondeur de l'eau des stations d'étude a varié entre 16,5

cm et 44,5 cm avant l'assèchement et entre 13,5 cm et 49,5 cm après l'assèchement des lits des stations d'études. Les faibles profondeurs des cours d'eaux seraient dues aux changements environnementaux et aux dégradations des conditions anthropiques. Ces observations sont similaires à celles de Dehédin (2012) qui affirme que le développement des activités humaines (Agriculture, urbanisation et industrialisation), favorise les apports en solutés organiques et nutriments, dont la concentration accentue la diminution des volumes d'eau induite par l'assèchement.

La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité (Idrissi *et al.*, 2015a; Idrissi *et al.*, 2015b). Les valeurs moyennes de conductivité avant l'assèchement (17,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 37,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et après l'assèchement (46,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 60,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) des stations d'études du bassin cotonnier nord Bénin sont similaires à celles (20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$) obtenues par Yehouenou *et al.*, (2018) dans la commune d'Adjohoun au Bénin. Les valeurs de conductivités mesurées sont très inférieures à celles (340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 468 $\mu\text{S}/\text{cm}$) enregistrées par De Nardi *et al.*, (2010), ces auteurs révèlent que les faibles valeurs de conductivités de l'eau des écosystèmes aquatiques se traduit par les faibles degrés de minéralisation globale. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), les eaux ayant des conductivités situées entre 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sont faiblement minéralisées et par conséquent sont des eaux douces. Les plus faibles valeurs de conductivités de l'avant et après l'assèchement ont été enregistrées dans la station de Tassiné. Les plus fortes valeurs de conductivité de l'avant et après la remise en eau ont été obtenus respectivement dans la station de Bouli et Irané. Dans l'ensemble des cinq ruisseaux d'études, les plus fortes valeurs moyennes de conductivité ont été mesurées après la remise en eau par conséquent ces eaux sont fortement minéralisées que celles des stations de l'avant l'assèchement.

Les Solides Totaux Dissous (TDS) représentent la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Ce paramètre est utilisé comme indicateur des caractéristiques esthétiques de l'eau potable et un indicateur de la présence d'un large éventail de contaminants chimiques. Les Solides Totaux Dissous (TDS) enregistrés pendant les deux saisons dans l'ensemble des milieux d'études sont en relation avec la conductivité. Les valeurs moyennes de TDS mesuré ont variées entre 8,5 ppm et 30,0 ppm. Ces valeurs mesurées sont très faibles par rapport à la norme européenne (500 ppm). Selon l'OMS, la valeur optimale pour les Solides Totaux Dissous est de 1000 mg/l. Les faibles valeurs des TDS pourraient signifier qu'il y a moins de solides dissous dans l'eau des cinq ruisseaux d'études avant et après l'assèchement et que l'eau est principalement constituée de molécules d'eau. Les valeurs des TDS après l'assèchement sont plus élevées que celles d'avant l'assèchement surtout la station de Irané a présenté une valeur plus forte que les autres stations d'échantillonnages. Ceci indique que les eaux des premières pluies ont chargé les lits de toutes les stations asséchées en particulier la station d'Irané avec des minéraux, des sels et des matières organiques.

L'Azote ammoniacal (NH_4^+) est toxique pour la vie aquatique lorsque sa concentration dépasse le seuil optimal. Le cycle de l'azote est affecté par l'assèchement des écosystèmes aquatiques. Dans les eaux de surface, l'azote ammoniacal provient principalement du lessivage des terres agricoles ainsi que des eaux usées d'origine municipale et industrielle. L'azote ammoniacal constitue l'un des gaz solubles dans l'eau. Cependant, il existe en faible proportion dans les eaux naturelles, inférieure à 0,1 mg/l (Pont, 2009). Il constitue un bon indicateur de la pollution organique des eaux superficielles et il provient essentiellement de la biodégradation de la matière organique azotée. Le cycle de l'azote est également affecté par l'assèchement des zones humides (Dehedin *et al.*, 2013). Le NH_4^+ est la forme ionisée de l'azote ammoniacal. Les valeurs de NH_4^+ enregistrées ont varié entre 0,1 mg/l et 0,5 mg/l avant l'assèchement et entre 0,3 mg/l et 0,57 mg/l après la remise en eau. Selon l'OMS, la valeur optimale de NH_4^+ est située entre 0,2 mg/l et 0,3 mg/l. Les concentrations de NH_4^+ enregistrées sont légèrement supérieures à la limite tolérable de l'OSM, surtout celles obtenues après l'assèchement, et se justifie par l'accumulation de l'ammoniac (NH_3) au cours de l'assèchement. Skoulikidis et Amaxidis (2009) ont montré que l'accumulation et la dégradation de la matière organique (litière et organismes sénescents) après l'assèchement des cours d'eaux induit un relargage plus important de l'ammonium (NH_4^+) au cours de l'étiage. La forte concentration de NH_4^+ au niveau de la station de Yassikoga pourrait se justifier par la forte utilisation de produit azoté, car le ruisseau Yassikoga est l'un des affluents de la rivière Alibori, la commune de Banikoara à forte production cotonnière sur le plan national.

Le phosphate est un élément nutritif primaire nécessaire au fonctionnement normal de nombreux organismes et phytoplastons de l'écosystème. Cependant, la présence en excès de phosphate dans les systèmes aquatiques conduit à l'eutrophisation qui peut favoriser la croissance d'algues nuisibles et diminuer la quantité d'oxygène dissous dans l'eau et qui exacerbe l'inquiétude concernant la détérioration de la qualité de l'eau et de l'équilibre écologique global (Rashid *et al.*, 2017). Les concentrations de phosphore total (P_2O_5) enregistrées ont varié entre 0,07 mg/l et 0,16 mg/l avant l'assèchement entre 0,2 mg/l à 0,4 mg/l après l'assèchement. Les valeurs de P_2O_5 enregistrées après l'assèchement sont supérieures à la valeur optimale (0,2 mg/l) de l'Établissement Public Territorial du Bassin de la Sèvre Nantaise (Moulin de Nid d'Oie). Les fortes valeurs de phosphore total (P_2O_5) après la remise en eau des stations d'études pourraient être dues au phosphore total (P_2O_5) provenant de l'érosion des terres agricoles. La concentration élevée de phosphore total (P_2O_5) après l'assèchement est similaire aux résultats de Haridi *et al.*, (2012). Ces auteurs dans les travaux sur la rivière du Mafrag ont remarqué que les teneurs de phosphore total (P_2O_5) des eaux de surfaces en période sèche (Juin - Décembre) dépassent celles de la période humide (Janvier - Mai). Dans les eaux de surface, la forte concentration de phosphore total (P_2O_5) peut favoriser l'eutrophisation grâce la prolifération d'algues et rend l'eau non potable et causer de nombreux dommages sur la faune aquatique (Allain, 2001). Dans l'ensemble des stations d'études, les concentrations plus élevées de phosphore total (P_2O_5) ont été enregistrées dans le ruisseau de Yassikoga. Les fortes valeurs de phosphore total (P_2O_5) dans ce ruisseau pourraient s'expliquer par l'utilisation excessive des instants chimiques agricoles dans la commune de Banikoara.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'obtenir une première approche sur le degré de pollution chimique des écosystèmes aquatiques pendant l'assèchement des rivières. L'assèchement se manifeste par une tendance à la hausse de T°C, de l'acidité (pH), de conductivité, de turbidité, de TDS, de NH₄⁺ et de P₂O₅ après la remise eau. Cette étude montre que l'assèchement a des effets sur les paramètres physico-chimiques des cinq ruisseaux étudiés. Parmi ces cinq ruisseaux, il a été retenu que Yassikoga est le plus touché en raison des activités agricoles plus intensives. Après l'analyse des variations saisonnières des paramètres physico-chimiques en relation avec le changement environnemental, il s'est avéré que c'est le développement des secteurs agricoles et l'urbanisation qui sont à l'origine des assèchements sévères et persistants des lits des écosystèmes aquatiques et par conséquent des changements physico-chimiques des eaux de surfaces.

RÉFÉRENCES

- Adam S.K., Boko M. (1993). Le climat du Bénin. Le Bénin. 96p.
- Aguilar Ibarra A. (2004). Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 148 p.
- Alayat H. (2006). Évolution spatio-temporelle du chimisme des eaux thermo minérales des monts de la cheffia (NE algerien). *Kartologia*, 48: 23-28.
- Alayat H., El Khattabi J., Lamouroux C. (2013). Évolution Spatiale Des Caractéristiques Physico-Chimiques Des Eaux Du Lac Oubeïra Imposé Par Les Conditions Sévères De La Sécheresse (Extrême Ne Algérien). *European Scientific Journal*, 9: 564-579.
- Allain S. (2001). Les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE): une procédure innovante de planification participative de bassin. *Géocarrefour*, 76: 199-209.
- Décret (2001). Décret n° 2001- 094 du 20 Février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin. Cotonou, Bénin. 21p.
- De Nardi F., Puaud C., Lodé T., Lecorff J., Parinet B., Pontié M. (2010). Diagnostic préliminaire et perspectives d'élimination du phosphore (P) en excès dans le lac de Ribou (Cholet, Maine-et-Loire, France). *Revue des sciences de l'eau*, 23: 159-171.
- Dehédin A. (2012). Changements globaux et assèchement des zones humides fluviales : conséquences sur les processus biogéochimiques et les communautés d'invertébrés. Sciences agricoles. Université Claude Bernard - Lyon I. 256 p.
- Dehedin A., Piscart C., Marmonier P. (2013). Seasonal variations of the effect of temperature on lethal and sublethal toxicities of ammonia for three common freshwater shredders. *Chemosphere*, 90: 1016-1022.
- Goula B.T. A., Savane I., Konan B., Fadika V., Kouadio G.B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *VertigO*, 7: 1-12.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. (2001). Paleontological statistics software: package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1-9.
- Haridi A., Taammallah F-Z., Ziouch O-R., Ounissi M. (2012). Le phosphore dissous dans la rivière-estuaire du Mafrag: Répartition et niveaux de concentrations. *Nature et Technology*, 7: 102-108.
- Hayek F.A. (2021). Postscript: Why I am not a Conservative, in: The Constitution of Liberty. University of Chicago Press. 517-534.
- Houelome T.M.A., Adandedjan D., Chikou A., Toko I.I., Bonou C., Youssao I., Laleye P. (2016). Évaluation de la qualité des eaux des ruisseaux du cours moyen de la rivière Alibori par l'étude des macro-invertébrés benthiques dans le bassin cotonnier du Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10: 2461-2476.
- Idrissi Y.A., Alemad A., Aboubaker S., Daifi H., Elkharrim K., Belghyti D. (2015a). Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11: 556-566.
- Idrissi Y.A., Darwesh N., Belhaili I., Achheb A.L., Alemad A., Elkharrim K., Belghyti D. (2015b). Étude des performances épuratoires de la technique de Lagunage naturel de la station d'épuration des eaux usées domestique de la ville d'Azilal-MAROC. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 13: 507-517.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). Climate change 2007- the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge university press. 10p.
- Koumassi H. (2014). Risques hydro-climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Coubéri. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey Calavi, Bénin. 245p.
- Laurent É. (2012). Faut-il décourager le découplage? *Revue de l'OFCE*, 1: 235-257.
- Le Barbé L., Alé G., Millet B., Texier H., Borel Y. (1993). Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Monographies hydrologiques ORSTOM. 543p.
- Menbohan F., Tchakonte S., CF, B.B., Njiné T. (2013). Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *The International Journal of Biotechnology*, 2: 91-104.
- Murdock T.B., Hale N.M., Weber M.J. (2001). Predictors of cheating among early adolescents: Academic and social motivations. *Contemporary educational psychology*, 26: 96-115.
- Pont D. (2009). Impacts potentiels du changement climatique sur les communautés et les populations piscicoles: Bilan des programmes GICC. Séminaire Onema programme GICC (MEED-DAT) Changement climatique, impacts sur les milieux aquatiques et conséquences pour la gestion. Paris, France.
- Rashid M., Price N.T., Pinilla M.Á.G., O'Shea K.E. (2017). Effective removal of phosphate from aqueous solution using humic acid coated magnetite nanoparticles. *Water Research*, 123: 353-360.
- Skoulidikis N., Amaxidis Y. (2009). Origin and dynamics of dissolved and particulate nutrients in a minimally disturbed Mediterranean river with intermittent flow. *Journal of Hydrology*, 373: 218-229.
- Team R.C. (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Yehouenou L., Barnett B.J., Harri A., Coble K.H. (2018). STAX appeal? *Applied Economic Perspectives and Policy*, 40: 563-584.

Habitat faunique et faune du bassin du fleuve Mono, Afrique de l'ouest

A. ISSIFOU¹, W. ATAKPAMA², H. EGBELOU¹, M-E. D. BAWA¹, K. BATAWILA¹, K. AKPAGANA¹

(Reçu le 30/10/2022; Accepté le 25/12/2022)

Résumé

Les conditions écologiques du bassin du fleuve Mono (BFM) sont favorables à la survie et au développement de la biodiversité. Cependant, cette biodiversité, en particulier faunique, est fortement sous pression anthropique. La présente synthèse est une contribution à l'analyse de l'état de connaissance sur la faune et son habitat dans le BFM. Plus spécifiquement, elle vise à évaluer l'état des connaissances sur la faune et l'habitat et caractériser la diversité faunique du BFM. Au total, 89 références comprenant majoritairement des articles (71,9 %) et des rapports d'études (24,5 %) ont été retenues. Ces publications ont abordé 12 catégories thématiques dont les plus représentées sont la faune (23,5 %), la cartographie (19,6 %) et les aires protégées (19,1 %). L'analyse de la diversité faunique ressort 476 espèces réparties en sept (7) classes et 152 familles. L'avifaune (38,2 %) est la plus représentée. Une proportion de 4,2 % de la faune recensée (20 espèces) est classée vulnérable suivant l'Union Internationale de Conservation de la Nature (IUCN). Les études n'existent pas sur certains groupes d'insectes et ont peu abordé la vulnérabilité locale et la viabilité de l'habitat faunique. Les modèles écologiques des habitats fauniques et l'impact des changements climatiques sur la distribution de la faune sont quasiment inexistantes. La prise en compte de ces insuffisances contribuera à la mise en place d'un mécanisme de gestion plus efficiente de la faune du BFM.

Mots clés: Fleuve Mono, faune, habitat, dégradation

Wildlife habitat and fauna of the Mono river basin, west Africa

Abstract

The ecological conditions of the Mono River Basin (BFM) are favorable for the survival and development of biodiversity. However, this biodiversity, particularly wildlife, is under strong anthropogenic pressure. This synthesis is a contribution to the analysis of the state of knowledge on fauna and its habitat in the BFM. More specifically, it aims to assess the state of knowledge on fauna and habitat and characterize the faunal diversity of the BFM. In total, 89 references comprising mainly articles (71.9%) and study reports (24.5%) were retained. These publications covered 12 thematic categories, the most represented of which are wildlife (23.5%), cartography (19.6%) and protected areas (19.1%). The analysis of faunal diversity shows 476 species divided into seven (7) classes and 152 families. The avifauna (38.2%) is the most represented. A proportion of 4.20% of fauna listed (20 species) are classified as vulnerable according to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) red list. There are a few data on several groups of insects and a lack of studies on the local wildlife vulnerability and habitat viability. Ecological models of wildlife habitats and the impact of climate change on wildlife distribution are almost non-existent. Taking these shortcomings into account will contribute to the establishment of a more efficient mechanism for the management of wildlife in the Mono River basin plain.

Keywords: Mono River, wildlife, habitat, degradation

INTRODUCTION

Les cours d'eau constitués principalement de fleuves, rivières et ruisseaux sont des écoulements terrestres créant une zone géographique spécifique appelée bassin. Ce territoire collectant l'ensemble des eaux est un biotope abrité par d'innombrables espèces animales et végétales. Ce sont des réservoirs de la biodiversité qui jouent un rôle indéniable dans la conservation des ressources naturelles et la mitigation du changement climatique (Ater *et al.*, 2008; Folega *et al.*, 2020; Mabafei *et al.*, 2021b). Les écosystèmes de ces zones restent les milieux les plus riches sur le plan biologique en disposant des espèces endémiques (Ranarijaona, 2007; Segniabeto *et al.*, 2018b). Ces biosphères jouent un rôle clé dans la fourniture de l'eau nécessaire pour la vie et la régulation de ce flux d'eau (El Mokaddem et Bencheikroun, 2016; Folega *et al.*, 2019; Mabafei *et al.*, 2021a). Sur le plan mondial, la prise de conscience de la menace de ces zones à forte productivité a conduit à la mise en place des conventions pour la protection de la biodiversité de ces milieux (Glowka *et al.*, 1996). En dépit de ces différentes mesures, les statistiques mondiales montrent une forte baisse des ressources biologiques de ces écosystèmes avec une forte menace d'extinction de certaines espèces et la perturbation, voire la disparition, des services et biens écosystémiques.

En Afrique, plusieurs espèces sont en voie de disparition dans les zones souvent réservées et protégées pour la conservation et la protection de la biodiversité (IUCN, 2008; Doumenge *et al.*, 2021). Cette tendance signalée depuis plusieurs décennies dont le phénomène ne cesse de s'accroître est lié aux activités humaines et aux changements globaux (Polo-Akpisso *et al.*, 2018; Salas Y Mélia, 2022). Les changements d'affectations des terres avec l'augmentation des parcelles agricoles, les braconnages, le pâturage, le feu de végétation et la déforestation sont à la base de cette situation déplorable de la perte du patrimoine biologique (Polo-Akpisso *et al.*, 2018; Atakpama *et al.*, 2019; Mabafei *et al.*, 2021a; Houngou *et al.*, 2022; Sonhay-Ouyé *et al.*, 2022; Thiam *et al.*, 2022).

Le bassin du fleuve Mono (BFM), majoritairement situé au Togo regorge une importante diversité animale et végétale (Kpedenou *et al.*, 2017; Thiam *et al.*, 2022). Il abrite plusieurs aires protégées qui sont les derniers refuges de certaines espèces sauvages aquatiques et terrestres. Ces aires protégées sont de plus en plus dégradées par les activités humaines (Adjonou *et al.*, 2017; Akodéwou *et al.*, 2020). Il est par conséquent nécessaire de faire un état des lieux de la recherche sur la faune et son habitat dans le BFM afin de mieux orienter les actions de gestion et de

¹ Laboratoire d'Écologie et d'Écotoxicologie, Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

² Département de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Faculté Des Sciences, Université de Lomé, Togo

restauration des écosystèmes et de la biodiversité faunique. L'importance du BFM justifie les diverses études réalisées dans cette zone.

Il existe une diversité de questions justifiant la présente étude. Quelles sont les ressources bibliographiques disponibles sur l'habitat et la faune du BFM ? Quels est l'état de connaissance de la diversité faunique et le niveau de vulnérabilité de cette faune ? Quels sont les gaps dont la prise en compte pourrait permettre de concevoir un plan de gestion et de préservation des ressources fauniques vulnérables de la zone ?

Cette étude contribuera à une meilleure connaissance et à la gestion durable de la biodiversité du BFM dans un contexte d'anthropisation extrême et de changement climatique au Togo. Il s'agit spécifiquement de : (i) évaluer l'état des lieux de connaissance de la faune et l'habitat et (ii) caractériser la faune du BFM à partir de la synthèse bibliographique.

MÉTHODOLOGIE

Description du bassin du fleuve Mono

Le BFM d'une superficie de 24.300 km² (Figure 1) est plus étendu au Togo avec 21.300 km², soit 38 % du territoire togolais et couvre environ 3.000 km², soit une 2,14% du territoire béninois (CCRE-CEDEAO, 2015). Sur le plan administratif, il s'étend sur trois (3) régions économiques/administratives du Togo: la région Centrale, la région des Plateaux et la région Maritime. Sur le plan phytogéographique, il fait partie de deux (2) zones écologiques du Togo: la zone des plaines centrales (zone écologique III) et la zone des plaines côtières (zone écologique IV) (Ern, 1979).

Le bassin jouit globalement d'un climat de type guinéen à deux (2) saisons pluvieuses. On distingue trois (3) unités morpho-structurales: le bassin sédimentaire, les unités internes des Dahoméyides et la chaîne de l'Atakora. Les

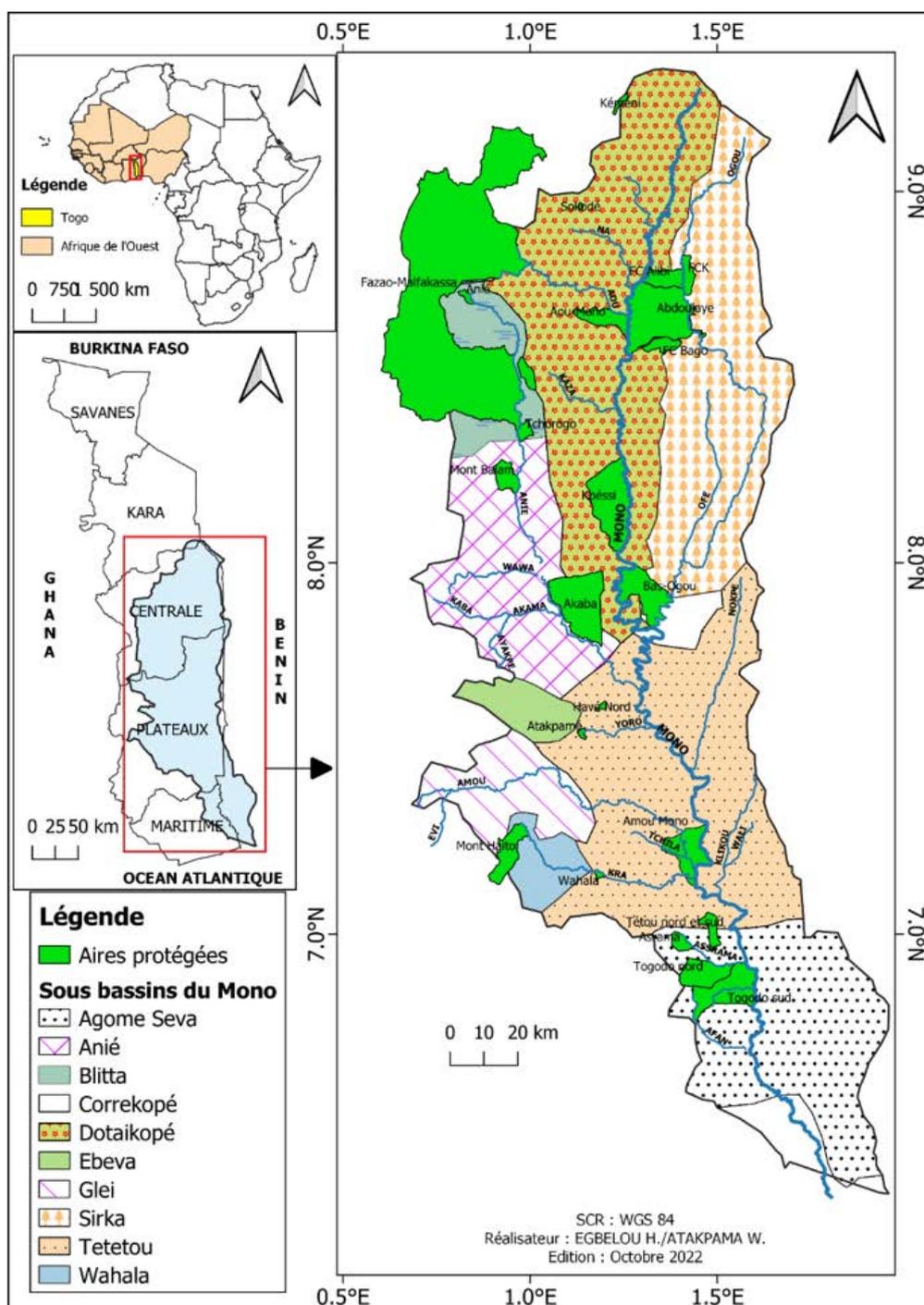


Figure 1: Localisation du bassin du fleuve Mono au Togo et au Bénin, Afrique de l'Ouest

sols sont dans l'ensemble peu évolués et variés. On y distingue, les sols modaux dans les milieux marins littoraux, les sols hydromorphes à pseudogley, les sols ferrallitiques, les sols ferrugineux tropicaux et les lithosols (Lamouroux, 1979). La végétation du BFM est dans son ensemble dégradée par les activités anthropiques en particulier l'agriculture (Thiam *et al.*, 2022). Les formations végétales sont composées de forêts claires, de forêts denses sèches, des savanes diverses (Kokou *et al.*, 2006; Adjonou *et al.*, 2010; Pereki *et al.*, 2013; Mabafei *et al.*, 2021b). Les écosystèmes les plus conservés sont localisés dans les aires protégées comprenant les Réserve de Faune d'Abdoulaye (RFA), le Complexe d'aires protégées de Togodo (CAPT), les forêts communautaires (FC) et les forêts sacrées (FS) (Pereki *et al.*, 2013; Adjonou *et al.*, 2017; Dibegdina, 2021).

L'agriculture extensive et itinérante sur brûlis est la principale activité des populations résidentes. Le maïs, l'arachide, le niébé, le sorgho, le manioc, l'igname, sont les principales cultures pratiquées par les habitants du bassin. Le commerce et l'artisanat y sont également pratiqués. Plusieurs ethnies occupent le BFM dont les Adja, les fon, les Ewé, les Ouatchi et les Peda qui les ethnies autochtones. Il existe aussi une très grande diversité d'ethnies allochtones: les Kabyè, les Tèm, les Ana, les Akposso, les Tchamba, les Xla, les Tchi, les Dendi, les Yourouba, les Bariba, les Sahoué, les Katafon.

Collecte des données

Les données bibliographiques ont été collectées dans les bases électroniques de Google scholar, Researchgate, Academia, Pubmed, Crossref et Scindirect. Les mots de clés utilisés sont: Mono, Togo, Bénin, Faune, Flore, Cartographie, dynamique, aires protégées ainsi que leur équivalence en anglais. Ensuite, une recherche spécifique est faite en considérant les différents groupes fauniques et les aires protégées du BFM. Ces mots ont été préalablement utilisés ensemble, puis couplés deux à deux. Les recherches ont ensuite été focalisées sur les documentations disponibles sur les aires protégées de la zone d'étude auprès du Ministère chargé de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF) du Togo. Cette méthodologie a permis de retrouver d'innombrables documents. Pour la sélection des documents à inclure dans l'analyse des données, deux (2) critères ont été appliqués: critère d'inclusion et critère d'exclusion. Le critère d'inclusion consiste à trier tous les documents se référant au BFM ayant trait à la cartographie, aux études de l'habitat et à la faune. Les documents focalisés purement sur la flore, l'agriculture, les régimes hydrologiques ont été exclus. En cas de redondance des informations pour la même période, entre un article et un autre type de document, la préférence est accordée aux articles, les autres documents n'étant pas retenus. Sur la base de ce filtrage, 86 références ont été retenues pour l'analyse des données.

Traitements des données

Les données retenues ont été extraites dans un tableur Microsoft Excel avec les informations suivantes : titre du document, types de références, année de publication, pays couverts par l'étude, thématique principale et la/les thématique(s) secondaire(s). Le traitement des données a consisté à la typologie des références et à la discrimination des thématiques abordées. L'évolution des publications dans le temps et la répartition des publications suivant les types de documents ont également été déterminées.

Les espèces fauniques recensées classées en familles et classes correspondantes en référence aux documents sur la faune du Togo et du Bénin (Amori *et al.*, 2016; Segniagbeto *et al.*, 2018a; Segniagbeto *et al.*, 2018b; Dowsett-Lemaire et Dowsett, 2019). L'analyse de la diversité faunique a pris en compte uniquement les espèces fauniques signalées dans les publications des 10 dernières années: 2012-2022. Le statut global de conservation des espèces est établi suivant les critères de vulnérabilité de l'Union internationale de conservation de la nature (IUCN, 2022).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

État des lieux l'analyse bibliographique

Suivant les années de publication, on distingue deux (2) principales périodes. La première de 1988 à 2014 est marquée par le nombre assez limité de publication annuelle, en moyenne une. Au-delà de cette période, on a recensé en moyenne six (6) publications par an (Figure 2). Les années 2016-2017 et 2020-2021 sont les plus pourvues en publications. Le nombre élevé de référence pour ces années s'explique par la conception des plans de gestion des aires protégées et des FC financée respectivement par les projets PGICT (Programme de Gestion Intégré des Catastrophes et des Terres) et PALCC (Programme d'Appui à la Lutte contre le Changement Climatique). Ces programmes du gouvernement togolais en partenariat avec les partenaires techniques et financiers ont pour but de renforcer la gestion durable des écosystèmes forestiers et de la biodiversité. En effet, suite aux troubles socio-politiques des années 90, plusieurs aires protégées de l'état ont été envahies (Tchamiè, 1996). Aujourd'hui, certaines de ces aires protégées n'existent que de nom (MERF, 2020).

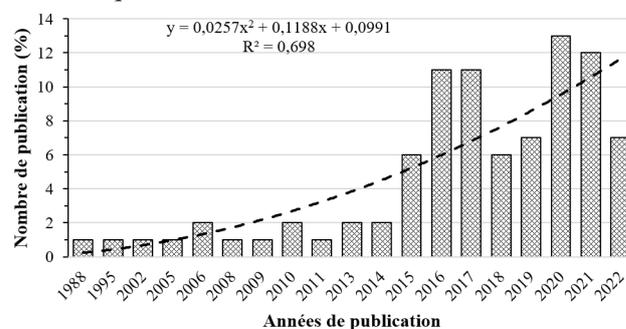


Figure 2: Évolution des publications sur la faune et l'habitat du Bassin du fleuve Mono

Proportionnellement à la représentativité du BFM, les études recensées font référence dans 90,4 % des cas au Togo et le reste au Bénin. Quatre (4) catégories de publications sur la faune et l'habitat faunique ont été recensées: les articles, les actes de conférences, les rapports d'études et les mémoires. Environ trois quarts (3/4) des publications sont des articles (71,9 %), suivis des rapports d'études des plans de gestion et d'études d'impact environnementales et sociales (22,5 %). Les mémoires et les actes de conférences sont faiblement représentés (Figure 3). La prépondérance des articles se justifie par la méthodologie de collecte des données qui consiste à privilégier les articles au détriment des autres documents. Les articles scientifiques constituent aussi les publications les plus accessibles à travers les bases de données en ligne. Les informations données dans les articles semblent aussi plus fiables et rédigées dans un style plus académique.

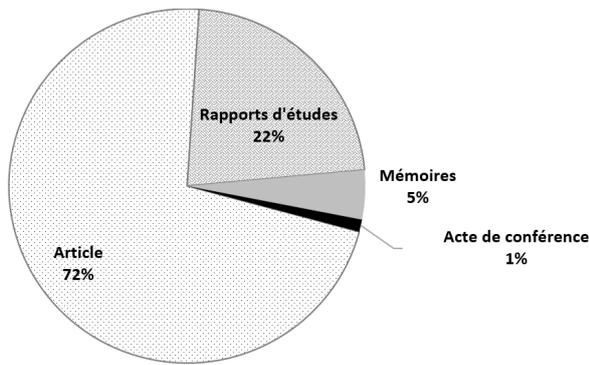


Figure 3: Typologie des publications sur la faune et l'habitat du bassin du fleuve Mono

L'analyse thématiques sur la diversité et l'habitat faunique du BFM montre une forte représentativité de la thématique relative à la faune (27,5 %). Les groupes d'animaux ayant fait objet d'étude sont: les oiseaux (Dowsett-Lemaire et Dowsett, 2016a; Dowsett-Lemaire et Dowsett, 2016b), les primates (Agbessi *et al.*, 2017a; Segniagbeto *et al.*, 2018b), les ongulés (Amori *et al.*, 2016; Segniagbeto *et al.*, 2018a), les reptiles (Segniagbeto *et al.*, 2011; Segniagbeto *et al.*, 2014; Segniagbeto *et al.*, 2015b), les insectes (Sanbena Bassan, 2021) et l'ichtyofaune (Paugy *et al.*, 1988; Lederoun *et al.*, 2016; Lederoun *et al.*, 2018; Lederoun *et al.*, 2021). Certaines espèces animales ont fait aussi l'objet d'études dont les singes au ventre rouges, le pangolin, les tortues, le perroquet et le python royal (Amori *et al.*, 2016; D'Cruze *et al.*, 2020; Segniagbeto *et al.*, 2021). Il n'existe d'études sur l'écophysiologie, l'impact des facteurs bioclimatiques sur la distribution et la viabilité de l'habitat faunique.

Les études cartographiques occupent 22,8 % et les aires protégées (18,7 %) viennent en deuxième et troisième positions. Les études cartographiques concernent l'occupation du sol, la dynamique et changement d'occupation du sol, la modélisation des changements d'occupation de sol et le feu de végétation (Adjonou *et al.*, 2017; Atakpama *et al.*, 2021; Thiam *et al.*, 2022). Les aires protégées ayant le plus été étudiées sont la RFA et CAPT, la Forêt Communautaire d'Alibi et les forêts sacrées de la partie septentrionale du BFM (Pereki *et al.*, 2013; Anonyme, 2020; Akpamou *et al.*, 2021; Atakpama *et al.*, 2021; Dibegdina, 2021). Les études sur les aires protégées sont plus orientées sur l'habitat faunique que la faune.

Le flore, le feu de végétation, les études forestières et la biodiversité de façon générale ont été moyennement représentés. Les autres thématiques à savoir: l'exploitation forestière, l'anthropisation, la gestion durable des écosystèmes, les changements climatiques, la gestion des écosystèmes et l'agriculture sont très peu fréquents (Figure 4).

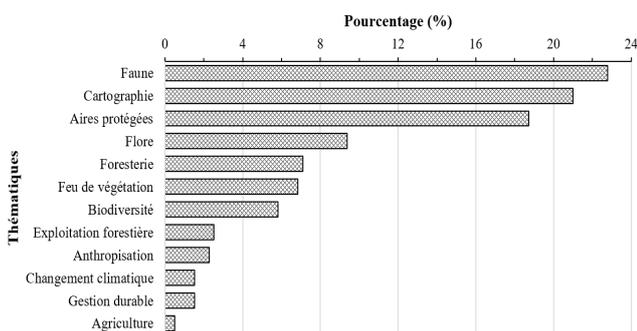


Figure 4: Répartition des thématiques abordées

La faible représentativité des thématiques sur l'agriculture s'explique par la méthodologie utilisée au cours de la présente étude qui exclut toutes les publications se référant uniquement à la flore et à l'agriculture. Bien que le feu de végétation soit un outil de gestion pouvant réduire la dégradation et la productivité des écosystèmes, les études sur cette thématique dans le bassin du Mono (Afelu et Kokou, 2015; Afelu *et al.*, 2016a; Afelu *et al.*, 2016b; Atakpama *et al.*, 2021) et au Togo (Afelu *et al.*, 2016a; Atakpama *et al.*, 2019; Konko *et al.*, 2021) restent assez récentes.

Diversité faunique du bassin du fleuve Mono

L'inventaire bibliographique a permis de recenser dans le BFM une diversité faunique de 476 espèces réparties en sept (7) classes et 152 familles. La classe la plus représentée est celle des Oiseaux (38,2 %). Ensuite viennent les classes des Mammifères (16,2 %), des Insectes (15,9%), des Poissons (14,9 %) et des Reptiles (10,3 %). Les Amphibiens et les Gastéropodes sont faiblement représentés (Figure 5).

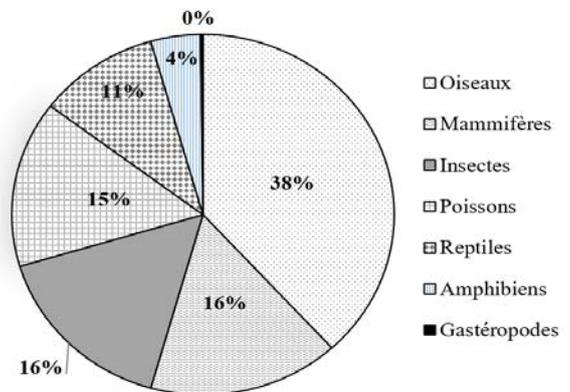


Figure 5: Spectre des classes

Les données concernant certains groupes d'insectes (sauterelles, termites) pourtant foisonnants dans le BFM à la faveur des conditions écologiques semblent absentes. Les insectes constituent un groupe d'animaux écologiquement important pour les écosystèmes. Elles participent activement à la pollinisation et à la dissémination des plantes ainsi qu'à l'amélioration de l'aération et la fertilisation des sols (Koudegnan *et al.*, 2015; Effowe *et al.*, 2021). C'est également des bioindicateurs de la santé de l'environnement et des partenaires écologiques de la restauration des écosystèmes dont la meilleure connaissance contribuerait dans la restauration des écosystèmes surtout dans le contexte des changements climatiques (Koudegnan *et al.*, 2016; Kasseny *et al.*, 2019). Les d'insectes adultes et les larves d'insectes sont des sources protéiniques pour l'homme et les animaux susceptibles de contribuer à la sécurité alimentaire (Latham, 2008; Badanaro *et al.*, 2016).

L'avifaune recensées est de 182 espèces, répartie en 56 familles ont été recensées. La famille la plus représentée est celle des Accipitridae (20 espèces). Elle est suivie des Ploceidae (11 espèces), des Columbidae et des Nectariniidae (10 espèces chacune). Les espèces d'oiseaux les plus rapportées sont *Centropus senegalensis* (2,3 %) suivi de *Crinifer piscator* et *Pycnonotus barbatus* (1,97 % chacune) et *Poicephalus senegalus* (1,64 %). Les autres espèces sont faiblement représentées. Le nombre d'oiseaux rapportés dans le plan de gestion de la réserve d'Abdoulaye est 115 espèces réparties en 85 genres, 47 familles et 13 ordres

(Pereki, 2017) contre 89 espèces, 61 genres répartis dans 47 familles et 13 ordres dans la Forêt communautaire d'Alibi-1 (Anonyme, 2020) contiguë à la RFA. Cependant, en absence de la liste globale d'espèces dans ces publications, il est plus difficile de comptabiliser toutes les espèces recensées dans ces zones d'études dans la présente étude.

La faune mammalienne est de 77 espèces appartenant à 25 familles. La famille des Bovidae (18 espèces) est la plus représentée suivie des Cercopithecidae (13 espèces) et des Herpestidae (6 espèces). Les autres familles sont peu représentées. Les espèces les plus fréquemment signalées sont: *Erythrocebus patas* (6,25 %), *Tragelaphus scriptus* (5,42 %) et *Papio anubis* (5 %). Ensuite viennent *Kobus ellipsiprymnus defassa* et *Phacochoerus africanus* (3,33 %). Cette liste de faune mammalienne est non exhaustive. Certaines espèces, notamment les petits mammifères (Muridae) sont peu rapportés bien qu'ils existent et sont fréquemment rencontrés dans la zone.

Les insectes comprennent 76 espèces appartenant à 15 familles. Les familles les plus représentées sont les Nymphalidae (24 espèces), suivie des Pieridae (12 espèces) et Libellidae (11 espèces). Les autres familles sont représentées par moins de 7 espèces. Cette diversité des insectes est sous-évaluée, les études sur ce Classe étant assez limitées. La seule étude disponible et non encore publiée est celle de Sanbena Bassan (2021).

L'ichtyofaune comporte une diversité de 71 espèces réparties en 30 familles. Les familles des Cichlidae (10 espèces) et des Cyprinidae (9 espèces) sont les plus représentées. Ensuite viennent les Clariidae, Alestidae et Mormyridae (6 espèces chacune). Les espèces de poissons les plus fréquemment rapportées sont: *Awaous lateristriga*, *Chromidotilapia guntheri*, *Chrysichthys auratus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Clarias gariepinus*, *Hemichromis fasciatus*, *Lates niloticus*, *Oreochromis niloticus*, *Parachanna obscura*, *Sarotherodon galilaeus*, *Schilbe intermedius* et *Schilbe mystus* (2,59 % chacune).

La classe des reptiles comporte une diversité de 49 espèces réparties en 17 familles. La famille des Lamprophiidae (7 espèces), des Testudinidae (6 espèces) et des Scincidae (5 espèces) sont les plus rapportées suivis des Elapidae et des Varanidae (4 espèces chacune). Les espèces les plus représentées sont *Varanus niloticus* (5,47 %), *Bitis arietans*, *Causus maculatus*, *Crocodylus niloticus* et *Python sebae* (4,69 % chacune).

Une diversité de 20 espèces réparties en 9 familles d'amphibiens a été identifiée. La famille des Hyperolidae (5 espèces) et des Bufonidae (4 espèces) sont les plus représentées. Les espèces d'amphibiens les plus fréquentes sont *Amnirana galamensis* et *Arthroleptis poecilnotus* (7,89% chacune). Suivant l'IUCN, les Amphibiens est l'un des groupes les plus menacée (41,0 %) (IUCN, 2022). Cette menace serait la résultante des facteurs anthropiques et climatiques notamment les variations des régimes d'eau, des paramètres physico-chimiques imputables à la variation de la pluviométrie et des saisons, aux activités humaines (utilisation des produits chimiques, pêches, dégradation de la végétation des ripisylves).

Une seule espèce de gastéropodes, *Achatina achatina* (Escargot géant africain) de cette classe appartenant à la famille des Achatinidae a été constatée.

Vulnérabilité de la faune du bassin du fleuve Mono

De façon globale, les espèces recensées sont de préoccupation mineure (76,7 %) suivant les critères de vulnérabilité de l'IUCN (Figure 6) pour toutes les classes de faune. Une proportion de 15,5 % des espèces est non évaluée (NE) et 0,84 % ont les données déficientes (DD) suivant les critères de vulnérabilité de l'IUCN. Les espèces menacées comprenant les espèces vulnérables (VU), en danger (EN) et en danger critique (CR) représentent 4,20 %, soit 20 espèces de l'ensemble (04 en danger critique, 07 en danger et 09 vulnérable). Une (01) espèce éteinte et 12 quasiment menacées ont été aussi retrouvées (Tableau 1). Il n'existe pas de liste nationale de faunes menacées.

La faune mammalienne menacée comprend huit (09) espèces. Les espèces vulnérables (VU) et les espèces en danger sont respectivement représentées par trois (03) et quatre (04) espèces. Les espèces vulnérables sont *Panthera leo*, *Panthera pardus* et *Hippopotamus amphibius* tandis que *Cercopithecus erythrogaster*, *Cercopithecus erythrogaster erythrogaster*, *Manis tricuspis* et *Phataginus tricuspis* sont classées en danger. *Colobus vellerosus* et *Loxodonta africana* sont les deux mammifères en danger critique. Le premier est rapporté par le CAPT et d'autres aires protégées jouxtant le CAPT tandis le second se retrouve uniquement dans la RFA (Segniagbeto et al., 2015a; Agbessi et al., 2017a; Pereki, 2017; Segniagbeto et al., 2018b). On distingue aussi neuf (09) espèces quasi menacées et non évaluées.

Pour l'avifaune, il a été constaté quatre (4) espèces menacées dont une (1) en danger critique (*Necrosyrtes monachus*), deux (2) en danger (*Neophron percnopterus* et *Psittacus erithacus*) et une (1) vulnérable (*Streptopelia turtur*). Deux (2) espèces quasiment menacées ont été aussi remarquées (Tableau 1).

Six (6) espèces de l'herpétofaunes sont classées menacées dont une (1) en danger critique (*Kinixys homeana*) et cinq (5) vulnérable (*Dermodochelys coriacea*, *Kinixys belliana*, *Lepidochelys olivacea*, *Osteolaemus tetraspis* et *Trionyx triunguis*). Une espèce éteinte et une quasiment menacée ont été aussi répertoriées. Il s'agit respectivement de *Pelusios castaneus* et de *Python regius* (Tableau 3). La pression humaine et la perte des habitats sont les principales menaces pesant sur le python royal et le pangolin. Les individus et les produits issus de ces derniers font l'objet d'exploitation à des fins commerciales (D'Cruze et al., 2020a; D'Cruze et al., 2020b).

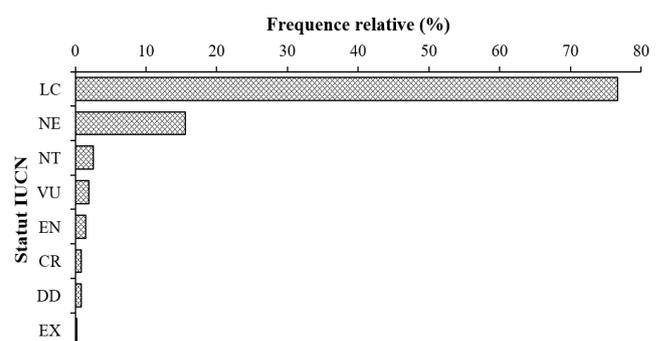


Figure 6: Vulnérabilité des espèces fauniques du bassin du fleuve Mono suivant l'IUCN

EX: Éteinte au niveau mondiale, CR: en danger critique, EN: en danger, VU: vulnérable, NT: Quasi menacé, LC: Préoccupation mineure, NE: Non évalué, DD: Données déficientes

La faune des amphibiens et des gastéropodes a une préoccupation mineure (100 %). Quant aux insectes, les espèces de préoccupation mineure et non évalué sont représentées chacune par 50 %. Le taux d'insectes non évalués montre à suffisance la faible prise en compte de ce groupe faunique dans les études de vulnérabilité même à l'échelle globale. Seule une espèce de poisson (*Pseudotolithus senegalensis*) est en danger. La liste des espèces menacées en fonction des différents taxons se retrouve au niveau du tableau 1.

Aires protégées du bassin du fleuve Mono

Plusieurs aires protégées se retrouvent dans le BFM. Ces aires protégées sont catégorisées en: aires protégées étatiques et les forêts communautaires et/ou sacrées. Les AP étatiques comprennent les réserves de faune et les forêts classées. On distingue deux (2) réserves de faunes : la RFA dans la préfecture de Tchamba au nord du bassin et la Réserve de Faune de Togo-Sud située au sud du bassin. La Réserve de Faune de Fazo-Malfakassa est en partie incluse dans le bassin du fleuve Mono. Cependant, elle n'a pas été considérée dans l'analyse bibliographique de la présente étude.

La RFA est l'une des aires protégées où l'on note une dynamique progressive des écosystèmes forestiers et une dynamique régressive des feux de végétation (Atakpama *et al.*, 2021; Dibegdina, 2021). Cependant elle n'est pas exempte des pressions anthropiques diverses. La réserve de faune de Togodo est fortement affectée par les activités anthropiques, notamment les feux de végétation, la collecte des produits forestiers ligneux et non-ligneux, le feu de végétation, l'agriculture et le braconnage (Segniagbeto *et al.*, 2015a; Adjonou *et al.*, 2017; Dagoua, 2021). Cette pression anthropique est à l'origine de la dynamique régressive, du développement et de la prolifération des plantes invasives/envahissantes dans le CAPT et de ces environs (Akodéwou *et al.*, 2019; Akodéwou *et al.*, 2020). Pourtant le CAPT et les écosystèmes forestiers environnants abritent de nombreuses espèces fauniques d'intérêt qu'il urge de protéger (Segniagbeto *et al.*, 2015a; Agbessi *et al.*, 2017a; Segniagbeto *et al.*, 2018a; Segniagbeto *et al.*, 2018b).

Les forêts classées recensées dans le BFM sont au nombre de 17. Il s'agit de: Kéméni, Sokodé, Anié, Aou-Mono, Sotouboua, Tchologo, Kpéssi, Akaba, Bas-Ogou, Mont

Tableau 1: Noms scientifiques, noms communs et taxons des espèces menacées du bassin du fleuve Mono

Classe	Familles	Noms scientifiques	Noms communs	Statut IUCN
Avifaune	Accipitridae	<i>Necrosyrtes monachus</i>	Vautour charognard	CR
		<i>Neophron percnopterus</i>	Percnoptère	EN
		<i>Stephanoaetus coronatus</i>	Aigle couronné	NT
	Columbidae	<i>Streptopelia turtur</i>	Tourterelle des bois	VU
	Laniidae	<i>Lanius senator</i>	Pie-grièche à tête rousse	NT
Mammifères	Bovidae	<i>Psittacus erithacus</i>	Perroquet jaco	EN
		<i>Cephalophus silvicultor</i>	Céphalophe à dos jaune	NT
		<i>Kobus ellipsiprymnus defassa</i>	Cobe Defassa	NT
		<i>Syncerus caffer</i>	Buffle d'Afrique	NT
	Cercopithecidae	<i>Tragelaphus eurycerus</i>	Bongo	NT
		<i>Cercopithecus erythrogaster</i>	Hocheur à ventre roux	EN
		<i>Cercopithecus erythrogaster erythrogaster</i>	Cercopithèque à ventre rouge	EN
		<i>Cercopithecus mona</i>	Mone	NT
		<i>Cercopithecus petaurista</i>	Hocheur blanc-nez	NT
		<i>Cercopithecus pogonias</i>	Singes mones	NT
		<i>Colobus vellerosus</i>	Colobe magistrat	CR
	Elephantidae	<i>Erythrocebus patas</i>	Patas	NT
	Felidae	<i>Loxodonta africana</i>	Éléphant	CR
		<i>Panthera leo</i>	Lion	VU
	Hipopotamidae	<i>Panthera pardus</i>	Léopard	VU
		<i>Hippopotamus amphibius</i>	Hippopotame	VU
	Manidae	<i>Manis tricuspis</i>	Pangolin à petites écailles	EN
<i>Phataginus tricuspis</i>		Pangolin à petites écailles	EN	
Pteropodidae	<i>Eidolon helvum</i>	<i>Eidolon helvum</i>	NT	
Reptiles	Cheloniidae	<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortue olivâtre	VU
	Crocodylidae	<i>Osteolaemus tetraspis</i>	Crocodile nain	VU
	Dermochelyidae	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortue luth	VU
	Pelomedusidae	<i>Pelusios castaneus</i>	Péluse de Schweigger	EX
	Pythonidae	<i>Python regius</i>	Boa	NT
		<i>Kinixys belliana</i>	Tortue de Bell	VU
	Testudinidae	<i>Kinixys homeana</i>	Cinixys de Home	CR
Trionychidae	<i>Trionyx triunguis</i>	Tortue molle du Nil	VU	
Poissons	Sciaenidae	<i>Pseudotolithus senegalensis</i>	Courbine du Sénégal	EN

Haito, Amou-Mono, Wahala, Tététou nord et sud, Asrama, Togodo nord, Atakpamé, Havé nord. Ces forêts classées sont pour la plupart dégradées par les activités anthropiques (Tchassanti *et al.*, 2013; Aboza *et al.*, 2015; Dourma *et al.*, 2017; Dourma *et al.*, 2019). D'autres ont presque disparus (MERF, 2020). C'est le cas de la Forêt Classée de Kpéssi. Leurs rôles en tant que refuge de la biodiversité est fortement compromise. L'avènement de la création des FC qui prône une gestion efficiente des écosystèmes par les communautés (MERF, 2015) à la base pourrait être une solution à la problématique de dégradation des AP étatiques.

Face à nécessité de préservation des écosystèmes et de la biodiversité ainsi que la volonté d'atteinte des objectifs d'augmentation de la superficie forestière, l'on assiste ces dernières années à la mise en place et à la gestion de plusieurs FC au Togo (Dibegdina, 2021; Atakpama *et al.*, 2022; Mensah *et al.*, 2022). Une vingtaine de FC mis en place par les communautés ont été recensées dans la BFM. Une douzaine se retrouvent dans la préfecture de Tchamba dont Kous-soutou, Bago, Alibi 1, Goubi, Saabi, Affem-Boussou, Igbo allouso et Toukoum. Presque chaque canton de la préfecture dispose d'au moins une FC. Dans la préfecture de l'Ogou, on retrouve quatre (4) FC: Abotessé, Ohoundjé, Odori et Agadjahoué. Les préfectures d'Amou, de Kpélé-Adéta, de Tchaoudjo et de Haho ont chacune une FC respectivement FC de Kpélé Tutu, Edouwossi Kopé, Kalare et Agbedougbe. Les FC sont créés et gérés par des comités de gestion nommés à cette fin. La plupart des FC comptabilisées sont celles disposant déjà de plans de gestion. Il existe d'autres en cours de création (Djakambi et Karamon, 2019). Une meilleure gestion des FC pourrait contrebalancer la dégradation des aires protégées étatiques et contribuer à la protection de la faune menacée du BFM. Au-delà de protection des écosystèmes, de la biodiversité et de la résilience climatique, les ressources issues des FC sont sources de revenus pour les populations locales (Atakpama *et al.*, 2018).

Dans la partie sud du BFM, on retrouve plusieurs FC ayant un caractère sacré. Les forêts sacrées sont des forêts communautaires ayant une vocation purement religieuse, l'appartenance et la gestion de ces dernières sont l'apanage des prêtres traditionnels. Ce sont des lieux de cultes et des formes de conservation traditionnelles de la biodiversité dont les écosystèmes sont de plus en plus dégradés suite aux non-respects des us et coutumes (Kokou *et al.*, 2008).

État de connaissance de l'habitat faunique du bassin du fleuve Mono

La majorité des études se sont plus intéressées aux AP notamment la cartographie des écosystèmes, la dynamique de l'occupation, la fragmentation de l'habitat, la conception des plans de gestion et l'anthropisation. L'étude de l'habitat faunique s'est plus focalisée sur la RFA et le CAPT. Bien qu'encore conservée, la dynamique d'occupation des formations forestières de la CAPT est régressive (Adjonou *et al.*, 2013; Akodéwou *et al.*, 2020). Les causes de cette dégradation sont principalement les feux de végétation, l'avancée du front agricole entraînant le développement des plantes invasives (Akodéwou *et al.*, 2019; Dagoua, 2021; Akodéwou et Godron, 2022). Pourtant cette aire protégée reste un habitat privilégié de la plupart des primates, des mammifères et des reptiles vulnérables figurant sur la liste de l'IUCN (Segniagbeto *et al.*, 2015a; GIZ, 2016;

Agbessi *et al.*, 2017b). À l'opposé du CAPT, on remarque une tendance inverse de la dynamique des écosystèmes qui est devenue ces dernières années progressive au niveau de la RFA (Atakpama *et al.*, 2021; Dibegdina, 2021). Cette progression est liée à une réduction de l'occurrence du feu de végétation et des autres activités anthropiques favorisés par la mise en place des forêts communautaires autour de ladite réserve. Au-delà de ces deux aires protégées et des forêts communautaires, à l'échelle globale de la zone la dynamique régressive est alarmante (Kpedenou *et al.*, 2017; Mabafei *et al.*, 2021a; Houngoué *et al.*, 2022; Thiam *et al.*, 2022). On note une extension des zones habitées et des formations agraires entraînant la quasi-destruction des formations végétales existantes surtout en dehors des aires protégées. Le développement de la transhumance au cours de ces dernières années favorisées par les conditions favorables au développement d'une flore fourragère diversifiée (Amegnaglo *et al.*, 2018; Pedanou *et al.*, 2022).

Plusieurs espèces fauniques du BFM sont exploitées pour l'autoconsommation, les usages artisanaux, médicaux et magico-religieux (GIZ, 2016; Pereki, 2017). Cette faune fait également l'objet de commerce. Les cas de commercialisation de la faune les plus rapportés dans le BFM sont celles relatives au python royal (*Python regius*), les tortues, le perroquet gris d'Afrique (*Psittacus erithacus*), le pangolin (Segniagbeto, 2016; D'Cruze *et al.*, 2020a; D'Cruze *et al.*, 2020; Assou *et al.*, 2021). La vente de cette faune constitue des revenus supplémentaires pour les populations résidentes. Le prélèvement de ces espèces se fait aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des AP. Les mammifères demeurent les animaux les plus concernés dans les transactions commerciales (Pereki, 2017). Ceci est aussi relevé par Sonhayé-Ouyé *et al.* (2022) dans le Parc National Fazao-Malfakassa dans la région Central du Togo. La dégradation et la fragmentation de l'habitat par les activités anthropiques (Agbessi *et al.*, 2017b; Dimobe *et al.*, 2017; Polo-Akpiisso *et al.*, 2020; Ahononga *et al.*, 2021) restent une menace importante pour la conservation de la faune sauvage au Togo et dans la sous-région ouest-africaine. Cependant, la vulnérabilité de la faune du BFM en général et au sein des AP face à la pression anthropique et la dégradation de leur habitat est peu abordée dans les études. Cette dégradation couplée aux incertitudes climatiques (Houngoué *et al.*, 2022) rendrait plus vulnérable la faune du bassin. La possibilité de connectivité des îlots forestiers le long du BFM susceptible de contribuer à la migration de la faune n'est pas aussi évaluée. Par ailleurs, on dispose de peu de données sur la distribution spatiale de la faune et l'écophysiologie de cette dernière. Les seules études présentes sont celles sur les primates, des lézards, des tortues et des ongulés (Segniagbeto *et al.*, 2011; Segniagbeto *et al.*, 2014; Segniagbeto *et al.*, 2018b). Les études de Lederoun *et al.* (2021) sur la faune ichtyologique montre un impact de l'anthropisation sur la distribution et la diversité de la faune ichtyologique dans le bassin du Fleuve Mono.

CONCLUSION

L'analyse bibliographique sur la faune et l'habitat faunique du bassin du fleuve Mono s'est basée sur une ressource bibliographique de 89 publications comprenant environ les trois quarts (3/4) des articles. Elle montre une relave croissance de la disponibilité des ressources bibliogra-

phiques sur cette thématique et ressort les gaps. La diversité faunique est de 476 espèces, dont sept (7) classes et 152 familles. Les oiseaux restent la faune la plus représentées avec une diversité de 182 espèces. Suivant l'échelle de vulnérabilité de l'IUCN, une proportion de 4,20 %, soit 20 espèces fauniques sont menacées dans le BFM. On note une forte régression des écosystèmes forestiers au profit des espaces agraires et des bâtis. Bien que l'on dispose des connaissances sur l'état de l'habitat faunique ainsi que les changements d'affectation des sols, il n'existe pas de données sur la fragmentation de l'habit. Ce paramètre s'avère important dans l'évaluation de la vulnérabilité de la faune. Car, il n'existe pas encore à l'échelle locale/nationale de listes crédibles des espèces menacées au Togo. Ceci rend plus difficile la prise de décision pour une meilleure gestion de la faune. La modélisation des habitats potentiels et la création des couloirs constituent des pistes de solution pour une meilleure gestion de la faune.

RÉFÉRENCES

- Aboza K, Boukpepsi T, Lare YL, Tchamie TT (2015). Caractéristiques floristiques et écologiques des formations végétales du massif de Djabatoure (Centre-Togo). *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 04: 79-95.
- Adjonou K, Djiwa O, Kombate Y, Kokutse AD, Kokou K (2010). Étude de la dynamique spatiale et structure des forêts denses sèches reliques du Togo: implications pour une gestion durable des aires protégées. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4: 168-183.
- Adjonou K, Kémavo A, Fontodji JK, Tchani W, Sodjinou F, Sebastia MT, Kokutse AD, Kokou K (2017). Vegetation dynamics patterns, biodiversity conservation and structure of forest ecosystems in the wildlife reserve of Togodo in Togo, West Africa. *International Journal of Development Research*, 7: 14549-14557.
- Adjonou K, Kokutse A, Kokou K (2013). Dynamique spatiale et diversité floristique de la Réserve de Faune de Togodo au Sud Est du Togo (Afrique de l'Ouest). *Scripta Botanica Belgica*, 50: 63-72.
- Afelu B, Djongon KA, Kokou K (2016a). Dynamique spatio-temporelle des feux de végétation au Togo (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 12: 1857-7881.
- Afelu B, Fontodji KJ, Kokou K (2016b). Impact des feux sur la biomasse dans les savanes guinéo-soudaniennes du Togo. *VertigO*: 16.
- Afelu B, Kokou K (2015). Paramètres physiques d'évaluation du comportement des feux de végétation au Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9: 2091-2105.
- Agbessi KGE, Camara M, Segniagbeto GH, Ouedraogo M, Hounbedji M, Kabre AT (2017a). Spatial distribution of primate species in the protected area Togodo in Togo and threats to their sustainable conservation. *International Journal of Current Research*, 9: 61767-61775.
- Agbessi KGE, Ouedraogo M, Camara M, Segniagbeto GH, Hounbedji MB, Kabre AT (2017b). Distribution spatiale du singe à ventre rouge, *Cercopithecus erythrogaster* erythrogaster Gray et les menaces pesant sur sa conservation durable au Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11: 157-173.
- Ahononga F, Gouwakinnou GN, Biao SS, Biao S (2021). Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015. *Bois et Forêts des Tropiques*, 346: 35-50.
- Akodéwou A, Godron M (2022). Agricultural Land-Use Increases Floral Species Richness in Tropical Dry Forest and Savannah Ecosystems in West Africa. *Diversity*, 14:106.
- Akodéwou A, Oszwald J, Akpavi S, Gazull L, Koffi A, Gond V (2019). Problématique des plantes envahissantes au sud du Togo (Afrique de l'Ouest): apport de l'analyse systémique paysagère et de la télédétection. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 23.
- Akodéwou A, Oszwald J, Gazull L, Akpavi S, Koffi A, Gond V, Saïdi S (2020). Land Use and Land Cover Dynamics Analysis of the Togodo Protected Area and Its Surroundings in Southeastern Togo, West Africa. *Sustainability*, 12: 1-23.
- Akpamou GK, Konko Y, Kokou K (2021). Monitoring of Residual Forest Ecosystems Dynamics in the Mono Biosphere Reserve (Southeast Togo). *Natural Resources*, 12: 271-289.
- Amegnaglo KB, Dourma M, Akpavi S, Akodéwou A, Wala K, Diwediga B, Atakpama W, Agbodan KML, Batawila K, Akpagana K (2018). Caractérisation des formations végétales pâturées de la zone guinéenne du Togo: typologie, évaluation de la biomasse, diversité, valeur fourragère et régénération. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12: 2065-2084.
- Amori G, Segniagbeto GH, Decher J, Assou D, Gippoliti S, Luiselli L (2016). Non-marine mammals of Togo (West Africa): an annotated checklist. *Zoosystema*, 38: 201-244.
- Anonyme (2020). Plan d'Aménagement et de Gestion de la Forêt communautaire d'Alibi-1 2021 - 2030, Ministère d'Environnement et des Ressources Forestières, Togo.
- Assou D, Elwin A, Norrey J, Coulthard E, Megson D, Ronfot D, Auliya M, Segniagbeto GH, Martin RO, D'Cruze N (2021). Trade in African Grey Parrots for Belief-Based Use: Insights From West Africa's Largest Traditional Medicine Market. *Frontiers in Ecology and Evolution*: 29.
- Atakpama W, Agbetanu KMW, Atara LL, Biao S, Batawila K, Akpagana K (2021). Biodiversité et gestion des feux de végétation dans la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Sci. Technol.*, 27: 51-64.
- Atakpama W, Amegnaglo KB, Afelu B, Folega F, Batawila K, Akpagana K (2019). Biodiversité et biomasse pyrophytes au Togo. *VertigO*, 19.
- Atakpama W, Asseki E, Kpemissi Amana E, Koudegnan C, Batawila K, Akpagana K (2018). Importance socio-économique de la forêt communautaire d'Edouwossi-copé dans la préfecture d'Amou au Togo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6: 55-63.
- Atakpama W, Egbelou H, Folega F, Afo C, Batawila K, Akpagana K (2022). Diversité floristique des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 10(4).
- Ater M, Radi M, Kadiri M, Hmimsa Y, Achtak H, Qninba A (2008). Structure et diversité de l'avifaune des ripisylves du bassin versant de l'Oued Laou. *Travaux de l'Institut Scientifique*, 5: 27-35.
- Badanaro FD, Bilabina I, Awaga KL, Sanbena Bassan B, Amevoin K, Amouzou K (2016). Les Orthoptères peuvent-ils contribuer à la sécurité alimentaire au Togo? *Sciences de la vie, de la terre et agriculture*, 3: 14-20.
- CCRE-CEDEAO (2015). Étude relative à la constitution d'une plateforme des organisations de la société civile du bassin du Mono, CEDEAO.
- D'Cruze N, Assou D, Coulthard E, Norrey J, Megson D, Macdonald DW, Harrington LA, Ronfot D, Segniagbeto GH, Auliya M (2020a). Snake oil and pangolin scales: insights into wild animal use at "Marché des Fétiches" traditional medicine market, Togo. *Nature Conservation*, 39: 45-71.
- D'Cruze N, Harrington LA, Assou D, Green J, Macdonald DW, Ronfot D, Segniagbeto GH, Auliya M (2020b). Betting the farm: A review of Ball Python and other reptile trade from Togo, West Africa. *Nature Conservation*, 40: 65-91.
- D'Cruze N, Harrington LA, Assou D, Ronfot D, Macdonald DW, Segniagbeto GH, Auliya M (2020). Searching for snakes: ball python hunting in southern Togo, West Africa. *Nature Conservation*, 38: 13-36.
- Dagoua D (2021). Impact des feux de végétation sur la biodiversité et la dynamique de végétation du complexe d'aires protégées de Togodo, INFA de Tové, Tové, Togo.
- Dibegdina M (2021). Dynamique du feu de végétation et de l'occupation du sol du complexe Abdoulaye-Alibi 1, INFA de Tové, Togo.

- Dimobe K, Goetze D, Ouédraogo A, Forkuor G, Wala K, Porembski S, Thiombiano A (2017). Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of West Africa. *Journal of Landscape Ecology*, 10: 75-95.
- Djakambi B, Karamon F (2019). Appui aux collectivités locales de la plaine du Mono pour la promotion et la gestion durable des forêts communautaires au Togo, Lomé, Togo.
- Doumenge C, Palla F, Madzous I, Ludovic G (2021). Aires protégées d'Afrique centrale-État 2020. OFAC.
- Dourma M, Souu E, Amana EK, Atakpama W, Folega F, Polo-Akpisso A, Wala K, Akpagana K (2017). La forêt classée d'Atakpamé: diversité, typologie, séquestration de carbone et activités anthropiques. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 19: 29-45.
- Dourma M, Souu E, Atakpama W, Folega F, Akpagana K (2019). Dynamique spatio-temporelle et structure de la végétation de la forêt classée d'Atakpamé au Togo. *Annale des Sciences et Techniques*, 19: 1-22.
- Dowsett-Lemaire F, Dowsett JR (2016a). Exploration ornithologique du Bénin et du Togo de mars à début août 2016.
- Dowsett-Lemaire F, Dowsett JR (2019). The Birds of Benin and Togo An Atlas and Handbook.
- Dowsett-Lemaire F, Dowsett RJ (2016b). Exploration ornithologique du Bénin et du Togo de fin août à mi-décembre 2015.
- Effowe TQ, Kasseney BD, Ndiaye AB, Sanbena BB, Amevo K, Glitho IA (2021). Termites' diversity in a protected park of the northern Sudanian savanna of Togo (West Africa). *Nature conservation*, 43: 79.
- El Mokaddem A, Benckekroun F (2016). La conservation des ressources en eau par la mise en oeuvre de paiements pour services environnementaux dans un bassin versant. *Revue des sciences de l'eau*, 29: 109-117.
- Ern H (1979). Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*, 9: 295-315.
- Folega F, Diwediga B, Guuroh R, Wala K, Akpagana K (2020). Riparian and stream forests carbon sequestration in the context of high anthropogenic disturbance in Togo. *Mor. J. Agri. Sci.*, 1: 39-49.
- Folega F, Wala K, Kanda M, Batawila K, Akpagana K (2019). Aperçu sur les potentialités du paysage laguno-lacustre du Togo. *Zones Humides Infos*, 97-98: 23.
- GIZ (2016). Plan aménagement et gestion du complexe d'aires protégées de Togodo, Togo.
- Glowka L, Burhenne-Guilmin F, Synge H, McNeely JA, Gündling L (1996). Guide de la Convention sur la diversité biologique. IUCN.
- Hounguè NR, Almoradie ADS, Evers M (2022). A Multi Criteria Decision Analysis Approach for Regional Climate Model Selection and Future Climate Assessment in the Mono River Basin, Benin and Togo. *Atmosphere*, 13: 1471.
- IUCN, (2022). The IUCN Red List of Threatened species. Version 2022-1. <https://www.iucnredlist.org>.
- Kasseney BD, N'tie TB, Nuto Y, Wouter D, Yeo K, Glitho IA (2019). Diversity of ants and termites of the botanical garden of the university of Lomé, Togo. *Insects*, 10: 218.
- Kokou K, Adjossou K, Kokutse AD (2008). Considering sacred and riverside forests in criteria and indicators of forest management in low wood producing countries: The case of Togo. *Ecol. Ind.*, 8: 158-169.
- Kokou K, Atato A, Bellefontaine R, Kokuste AD, Caballé G (2006). Diversité des forêts denses sèches du Togo (Afrique de l'Ouest). *Rev. Ecol. Terre Vie*, 61: 225-246.
- Konko Y, Afelu B, Kokou K (2021). Potentialité des données satellitaires Sentinel-2 pour la cartographie de l'impact des feux de végétation en Afrique tropicale: application au Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 347: 59-75.
- Koudegnan C, Nenonene AY, Guelly KA, Edoth T (2016). L'apiculture dans la lutte contre les changements climatiques dans la zone écologique IV du Togo. *Numéros*, 12 (3).
- Koudegnan C, Nenonene AY, Guelly KA, Edoth T (2015). L'apiculture dans la lutte contre les changements climatiques dans la zone écologique IV du Togo. *Afrique Sci.*, 11 (6).
- Kpedenou KD, Drabo O, Ouoba AP, Da DCE, Tchamie TTK (2017). Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire Ouatchi au sud-est Togo entre 1958 et 2015. *Cahiers du Cerleshs*, 31: 203-228.
- Lamouroux M (1979). Notice explicative No. 34 / Carte pédologique du Togo au 1/1.000.000. 1: 99.
- Latham P (2008). Les chenilles comestibles et leurs plantes nourricières dans la province du Bas-Congo. Paul Latham.
- Lederoun D, Lalèye PA, Vreven EJ, Vandewalle P (2016). Length-weight and length-length relationships and condition factors of 30 actinopterygian fish from the Mono basin (Benin and Togo, West Africa). *Cybium*, 40 (4).
- Lederoun D, Snoeks J, Lalèye P, Vandewalle P, Vreven E (2018). An updated checklist of the ichthyofauna of the Mono River basin (Benin and Togo: West Africa). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 28: 135-156.
- Lederoun D, Vreven E, Vandewalle P, Moreau J, Laleye P (2021). Spatial and temporal variations of fish communities in the longitudinal gradient of the Mono River (Benin and Togo: West Africa). *Cybium*, 45 (2).
- Mabafei A, Diwediga B, Folega F, Wala K, Akpagana K (2021a). Landscape-based analysis of wetlands patterns in the Ogou River basin in Togo (West Africa). *Environmental Challenges*, 2: 100013.
- Mabafei A, Diwediga B, Fousseni F, Wala K, Koffi A, Paysages R (2021b). Caractérisation phyto-sociologique des zones humides de la plaine de l'Ogou. *Rev. Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 1: 43-57.
- Mensah K, Folega F, Woegan YA, Atakpama W, Pereki H, Wala K, Akpagana K (2022). État et dynamique spatio-temporelle de la forêt communautaire d'Edouwossi-Copé, Région des Plateaux-Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages (Togo)*, 1: 12-26.
- MERF (2015). Manuel de procédures de création, d'attribution et des normes de gestion des forêts communautaires au Togo. FAO, Lomé, Togo.
- MERF (2020). État des lieux du système national d'aires protégées du Togo: Ecosystèmes, vulnérabilités aux changements climatiques et valorisation écotouristique, Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières, Lomé, Togo.
- Paugy D, Bénech V, Etou K (1988). La faune ichthyologique des bassins du Mono et du lac Togo (Togo), Laboratoire d'Hydrobiologie, Bamako, Mali.
- Pedanou BK, Atakpama W, Noundja L, Akpagana K (2022). Ethnomédecine et santé bovine dans la préfecture d'Anié au Togo. *Rev. Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 1: 98-108.
- Pereki H (2017). Aire protégée d'Abdoulaye : Plan d'aménagement et gestion 2017 - 2026, Ministère d'Environnement et des Ressources Forestières, Togo.
- Pereki H, Wala K, Thiel-clemen T, Bessike MPB, Zida M, Dourma M, Batawila K, Akpagana K (2013). Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *Int. J. Biodivers. Conserv.*, 5: 358-366.
- Polo-Akpisso A, Folega F, Soulemane O, Atakpama W, Coulibaly M, Wala K, Röder A, Akpagana K, Yao T (2018). Habitat biophysical and spatial patterns assessment within Oti-Keran-Mandouri protected area network in Togo. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 10: 214-229.
- Polo-Akpisso A, Wala K, Soulemane O, Folega F, Akpagana K, Tano Y (2020). Assessment of Habitat Change Processes within the Oti-Keran-Mandouri Network of Protected Areas in Togo (West Africa) from 1987 to 2013 Using Decision Tree Analysis.
- Ranarijaona HLT (2007). Concept de modèle écologique pour la zone humide Alaotra. *Madagascar Conservation & Development*, 2: 35-42.
- Salas Y Méliá D (2022). Les principaux enseignements du 6e rapport du groupe I du GIEC. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*. p 11-16.

- Sanbena Bassan B (2021). Inventaires biodiversité sur la région de Tététo, Togo: Relevé entomologique, BIOTOPE, Lomé, Togo.
- Segniagbeto GH (2016). Étude de quatre espèces de faune faisant l'objet du commerce international au Togo, MERF, Lomé, Togo.
- Segniagbeto GH, Assou D, Agbessi EKG, Atsri HK, D'Cruze N, Auliya M, Fa JE, Luiselli L (2021). Insights into the status and distribution of pangolins in Togo (West Africa). *African Journal of Ecology*, 59: 342-349.
- Segniagbeto GH, Assou D, Koda DK (2015a). Évaluation du potentiel de mammifères dans le Parc National de Togodo, la forêt sacrée de Godjinme et les 5 mares d'Afito, GIZ, Togo.
- Segniagbeto GH, Atsri KH, Assou D, Koda KD, Amori G, Decher J, Dendi D, Luiselli L (2018a). Diversity and conservation status of ungulates in the Mono Transboundary Biosphere Reserve, Togo (West Africa). *Tropical Zoology*, 31: 118-130.
- Segniagbeto GH, Atsri KH, Delagnon A, Abotsi KE, Akpamou GK, Amori G, Dendi D, Decher J, Luiselli L (2018b). Local distribution and density estimates of primates in the Transboundary Reserve of the Mono River, Togo (West Africa). *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 73: 363-374.
- Segniagbeto GH, Bour R, Ohler A, Dubois A, Rödel M-O, Trape JF, Fretey J, Petrozzi F, Luiselli L (2014). Turtles and tortoises of Togo: historical data, distribution, ecology, and conservation. *Chelonian Conservation and Biology*, 13: 152-165.
- Segniagbeto GH, Trape J-F, Afiademanyo KM, Rödel M-O, Ohler A, Dubois A, David P, Meirte D, Glitho IA, Petrozzi F (2015b). Checklist of the lizards of Togo (West Africa), with comments on systematics, distribution, ecology, and conservation. *Zoosystema*, 37: 381-402.
- Segniagbeto GH, Trape JF, David P, Ohler A, Dubois A, Glitho IA (2011). The snake fauna of Togo: systematics, distribution and biogeography, with remarks on selected taxonomic problems. *Zoosystema*, 33: 325-360.
- Sonhaye-Ouyé A, Hounmavo A, Assou D, Afi Konko F, Segniagbeto GH, Ketoh GK, Funk SM, Dendi D, Luiselli L, Fa JE (2022). Wild meat hunting levels and trade in a West African protected area in Togo. *African Journal of Ecology*, 60: 153-164.
- Tchamiè TTK (1996). Aires protégées du Togo: nécessité d'une redéfinition des stratégies de conservation et de protection de la faune. *Bull. Flamboyant*, 39: 12-15.
- Tchassanti L, Akpavi S, Dourma M, Dimobe K, Tebonou G, Nuto Y, Batawila K, Akpagana K (2013). Impacts de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources naturelles à Kemeni (région centrale du Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 15: 23-38.
- Thiam S, Salas EAL, Houngouè NR, Almoradie ADS, Verleysdonk S, Adoukpe JG, Komi K (2022). Modelling Land Use and Land Cover in the Transboundary Mono River Catchment of Togo and Benin Using Markov Chain and Stakeholder's Perspectives. *Sustainability*, 14: 4160.
- UICN (2008). Parcs et réserves du Togo: Évaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées, Programme Afrique Centrale et Occidentale (PACO).

Valeurs ethno-médicale et socio-économique de *Irvingia tenuinucleata* à Gbado-Lite, République démocratique du Congo

K.N. NGBOLUA¹, R. DJOLU¹, C. MASENGO¹, J. ITEKU², P. MPIANA³, J. C. MUDOGO³

(Reçu le 30/11/2022; Accepté le 26/12/2022)

Résumé

La République démocratique du Congo est l'un des réservoirs de la biodiversité végétale. Celle-ci constitue une source de revenus, d'aliments et de médicaments pour la population des zones rurales, périurbaines et urbaines. La présente étude a pour but d'identifier les usages ethno-médicaux et la valeur socio-économique de *Irvingia tenuinucleata* à Gbado-Lite en vue de sa valorisation suivant le principe d'accès et de partage de bénéfices. Il ressort de cette étude que cette plante soigne le gonflement de pied, l'hémorroïde, les vers intestinaux et comme utéro-tonique traditionnel (FCI=0,5). La décoction et l'expression sont les deux modes de préparation les utilisés. Le fruit (92,8%) est la partie la plus utilisée, suivi respectivement des tiges (3,8%), des feuilles (2,4%) et des écorces (1%). La vente des fruits de *I. tenuinucleata* est assurée par les femmes (92,2%), les célibataires (52,9%) et les personnes d'âge compris entre 36 et 50 ans. La taille de ménage majoritaire est composée de 1 à 5 personnes (62,7%) avec une expérience de vente de 1 à 5 ans (72,5%). Ce produit forestier non ligneux (PFNL) est prioritairement destiné à la consommation (80%) et son écoulement est partiel (90,2%). Cette vente génère une recette mensuelle d'environ 2.500 à 5.000 CDF (1 USD= 2.030 CDF) pour 68,6% des enquêtés. La principale difficulté liée à la vente est la conservation des fruits (45,1%). Les contraintes liées à la cueillette sont notamment la présence des serpents dans la forêt, l'inaccessibilité, les acheteurs moins nombreux, la difficulté d'accès aux fruits sur le pied de l'arbre et la déforestation (la forêt de plus en plus éloignée de la ville). Par contre, la principale activité des paysans-cueilleurs est l'agriculture (55,8%), celle-ci est majoritairement pratiquée par les hommes (69,2%), les cueilleurs sont majoritairement des mariés (69,2%). La production annuelle représente 2 à 5 bassins pour 40,4% des enquêtés. 86,5% des paysans interrogés possèdent au moins un champ dans la forêt. 46,2% des paysans y fréquentent plus de trois fois par semaine. Le chômage et la pauvreté sont les principales causes de la pression exercée sur la forêt. D'où la nécessité de les former dans la gestion des PFNLs en renforçant leur capacité en agro-écologie. A cet effet, les recherches scientifiques approfondies devront être menées en vue d'une meilleure connaissance de l'écologie, la phyto-chimie et les propriétés pharmaco-biologiques, toxicologiques et nutritionnelles de cette espèce végétale et sa domestication dans le Nord-Ubangi.

Mots Clés: Plantes médicinales, produits forestiers non ligneux, agro-écologie, agroforesterie, *Irvingia tenuinucleata*

Ethno-medical and socio-economic values of *Irvingia tenuinucleata* in Gbado-Lite, DR of Congo

Abstract

The Democratic Republic of the Congo is one of the reservoirs of plant biodiversity. This biodiversity constitutes a source of income, food and medicine for the population in rural, peri-urban and urban areas. The aim of this study was to identify the ethno-medical uses and the socio-economic value of *Irvingia tenuinucleata* in Gbado-Lite city with a view to its valorization according to the principle of access and benefit sharing. The results revealed that this plant treats foot swelling, hemorrhoids, intestinal worms and as a traditional uterotonic agent (ICF=0.5). The decoction and the expression are the two modes of preparation the most used. The fruit (92.8%) is the most used part, followed respectively by stems (3.8%), leaves (2.4%) and bark (1%). The sale of *I. tenuinucleata* fruits is carried out by women (92.2%), single people (52.9%) and people between 36 and 50 years old. The majority of households are composed of 1 to 5 people (62.7%) with a sales experience of 1 to 5 years (72.5%). This plant is primarily intended for consumption (80%) and is partially sold (90.2%). This sale generates a monthly income of approximately 2,500 to 5,000 CDF (1 USD= 2,030 CDF) for 68.6% of the respondents. The main difficulty related to the sale is the preservation of the fruit (45.1%). The constraints related to harvesting include the presence of snakes in the forest, inaccessibility, fewer buyers, difficulty in accessing the fruit at the base of the tree and deforestation (the forest is increasingly far from the city). On the other hand, the main activity of the peasant farmers is agriculture (55.8%), which is mostly practiced by men (69.2%), and the pickers are mostly married (69.2%). Annual production represents 2 to 5 basins for 40.4% of respondents. 86.5% of farmers surveyed own at least one field in the forest. 46.2% of farmers visit the forest more than three times a week. Unemployment and poverty are the main causes of pressure on the forest. It is therefore necessary to train them in management by strengthening their capacity in agro-ecology. To this end, in-depth scientific research should be carried out to gain a better understanding of the ecology, phytochemistry, pharmacobiological, toxicological and nutritional properties of this plant species and its domestication in North Ubangi.

Keywords: Medicinal plants, non-timber forest products, agro-ecology, agroforestry, *Irvingia tenuinucleata*

INTRODUCTION

La République démocratique du Congo (RDC) est l'un des réservoirs de la biodiversité végétale dans le monde (Asimonyio *et al.*, 2015; Kambale *et al.*, 2016a; 2016b). Parmi les ressources végétales disponibles, les produits forestiers non ligneux (PFNLs) constituent pour la population des zones rurales, périurbaines et urbaines une source non négligeable de revenus, d'aliments et de médicaments (Mawunu *et al.*, 2017; Mawunu *et al.*, 2019; Tchatchambe

et al., 2017a,b; Ezebilo et Mattsson, 2010). Ces produits contribuent ainsi à la sécurité alimentaire et aux soins de santé primaire chez plus de 80% des personnes en Afrique (Allabi *et al.*, 2011; De Wet *et al.*, 2010). Les PFNLs contribuent également à l'amélioration de l'état nutritionnel des populations pauvres en leur apportant les vitamines, les éléments minéraux (Zn, Se, Fe, Mg, Ca, etc.), les protéines, les fibres, les glucides, les lipides, etc. (Mawunu *et al.*, 2020; Tchatchambe *et al.*, 2017a, b) et sont donc doués de propriétés pharmaco-biologiques scientifi-

¹ Département de l'Environnement, Faculté de Sciences, Université de Gbado-Lite, République Démocratique du Congo

² Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

³ Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

quement validées (Sinsin et Kampmann, 2010). Parmi ces PFNLs, *Irvingia tenuinucleata* Tiegh. (Syn. *I. wombulu*) est une plante à valeurs alimentaire, nutritive et médicinale bien connues. En effet, les fruits sont riches en lipides et contiennent diverses vitamines et des minéraux (thiamine, riboflavine, niacine, vitamine C, Ca, Fe, etc.). L'écorce de la plante est utilisée pour soigner diverses maladies telles que la diarrhée, la dysenterie, la stérilité, la hernie et la décharge urétrale (Oyen, 2021). Cependant, la gestion d'une telle ressource biologique ne saurait être durable dans cette partie du pays si on n'intègre pas les valeurs sociale, culturelle et économique que la population locale accorde à cette dernière (Masengo *et al.*, 2021a,b). Ainsi, la diversité biologique et culturelle constitue un potentiel inestimable de développement socio-économique de la RDC.

Dans la perspective de valorisation et de gestion durable de ces ressources, il est important de documenter les connaissances endogènes et pratiques traditionnelles associées à ces plantes. La présente étude a pour but d'identifier les usages ethno-médicaux et la valeur socio-économique de *Irvingia tenuinucleata* Tiegh. à Gbado-Lite en RDC et s'inscrit donc dans le cadre de la mise en œuvre du protocole de Nagoya qui vise à créer une base de données des plantes médicinales afin de faciliter l'accès et le partage des avantages tout en prenant en compte, la protection des connaissances, innovation et pratiques traditionnelles des communautés locales conformément aux dispositions de la Convention sur la Diversité Biologique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée à Gbado-Lite (Latitude: 4° 16' 41" Nord; Longitude: 21° 00' 18" Est; Altitude: 300-500 m au-dessus de la Mer). La ville de Gbado-Lite (Figure 1) est située dans l'écorégion oubangienne, un sous ensemble appartenant aux forêts congolaises du nord-est (*Northeastern Congolian low land forests*). Cette écorégion fait partie des 200 écorégions terrestres prioritaires sur le plan global dites les «G200». Sa superficie est de 278 Km² et la population est estimée à 198.839 habitants (Ngbolua *et al.*, 2018; Ngbolua *et al.*, 2019a-c; Ngbolua *et al.*, 2020a,b).

Méthodes

Enquête ethno-botanique

L'enquête ethno-botanique a été réalisée à Gbado-Lite auprès de 200 personnes selon la méthode d'échantillonnage stratifié probabiliste comme précédemment décrit (Ngbolua *et al.*, 2019d; Ngbolua, 2020; Masengo *et al.*, 2021a, b). Pour collecter les données ethnobotaniques, un échantillon de 200 personnes a été tiré aléatoirement. Les répondants ont été questionnés individuellement sur base d'une fiche d'enquête. Les principales données collectées sont relatives aux données socio-démographiques (sexe, âge, groupe socio-culturel, niveau d'études, profession et statut matrimonial) et aux données ethnobotaniques (nom vernaculaire, partie utilisée, maladies soignées, catégorie d'utilisation et mode de préparation des recettes médicinales, etc.).

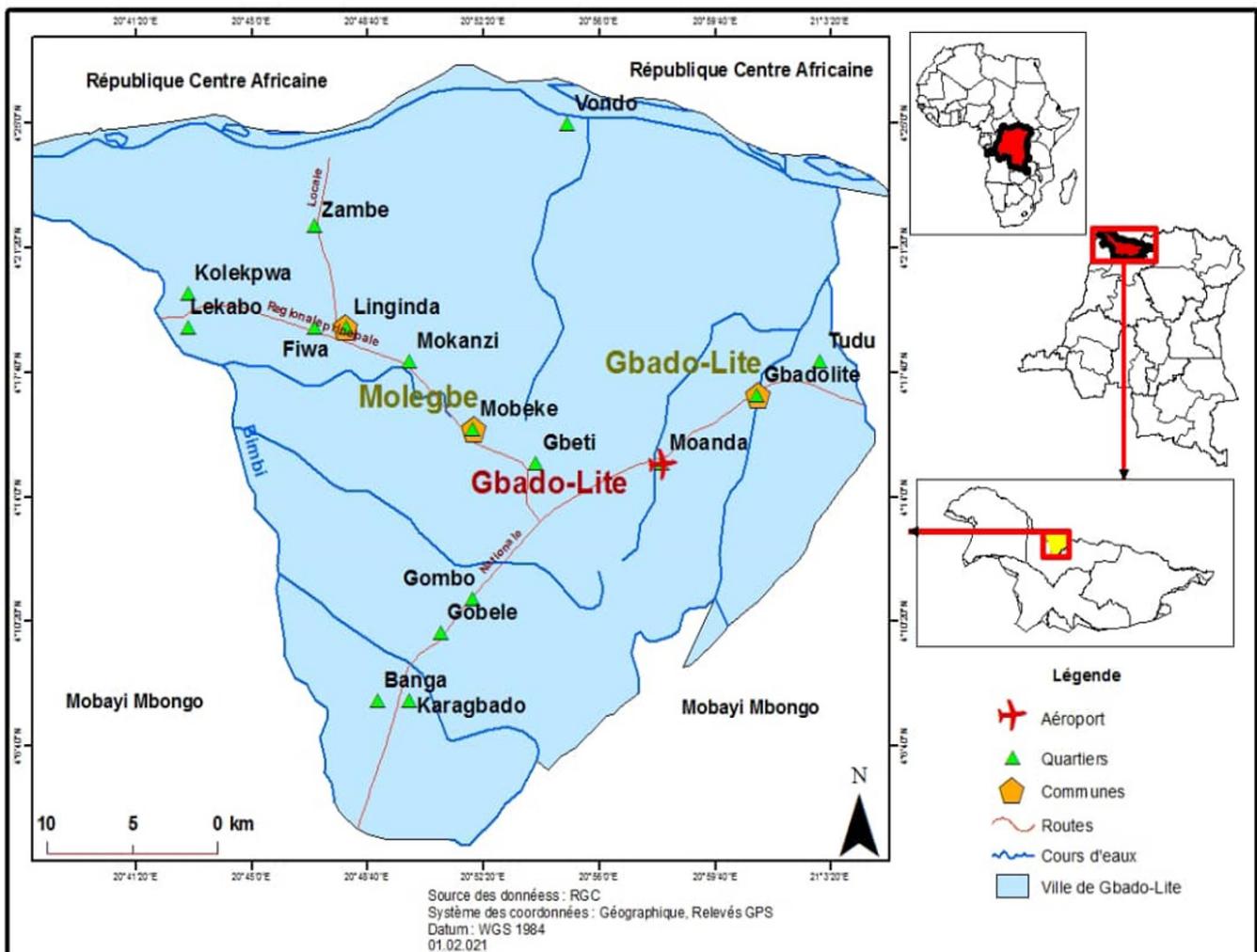


Figure 1: Localisation géographique de la ville de Gbado-Lite et ses environs (Province du Nord-Ubangi, RD Congo)

Enquête socio-économique

La technique d'échantillonnage par «boule de neige» (qui consiste à identifier un informateur compétent pour le sujet d'étude puis cet informateur après être enquêté indique à son tour un autre informateur compétent de la même communauté) a été utilisée. Ce processus s'est poursuivi jusqu'à l'investigation de tous les informateurs experts compétents sélectionnés cette étude. La population d'étude était composée des paysans et des vendeurs impliqués respectivement dans la cueillette et la vente *Irvingia tenuinucleata* Tiegh. Deux types de questionnaires ont été à cet effet utilisés pour la collecte de données. L'un pour les paysans-cueilleurs (52 personnes) et l'autre pour les vendeurs (51 personnes) de ce produit forestier non ligneux. Ces questionnaires ont préalablement été testés et adaptés au contexte de l'étude et du milieu.

L'enquête a été réalisée selon les principes repris dans la déclaration d'Helsinki (consentement libre des enquêtés, etc.) et en langue locale (Lingala).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Étude ethno-botanique

La figure 2 donne la répartition des enquêtés en fonction de leur sexe.

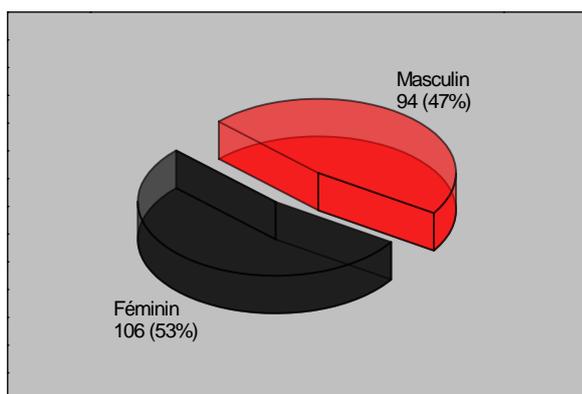


Figure 2: Répartition des enquêtés en fonction de sexe

Il ressort de cette figure que la majorité des enquêtés sont des femmes, soit 53 % par rapport aux hommes qui représentent 47%.

La figure 3 donne la répartition des enquêtés en fonction de leur âge.

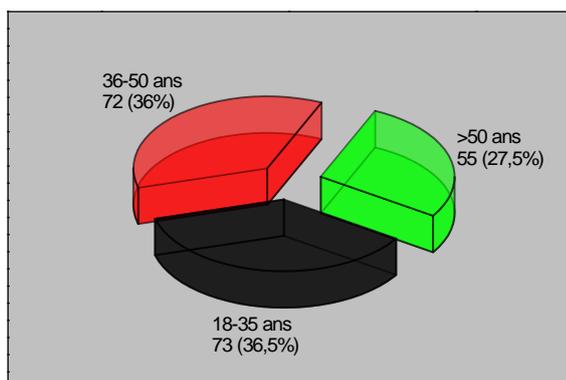


Figure 3: Répartition des enquêtés en fonction de l'âge

Il ressort de cette figure que la majorité des enquêtés ont l'âge compris entre 18-35 ans, soit 36,5%. Suivi de ceux dont l'âge est de 36-50 ans, soit 36% et enfin les personnes dont l'âge est supérieur à 50 ans qui représentent 27,5%.

La figure 4 donne la répartition des enquêtés en fonction de leur groupe socio-culturel.

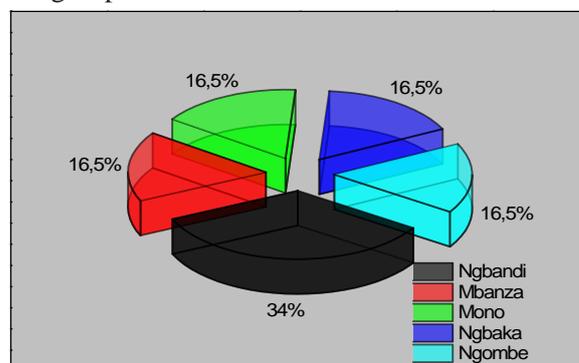


Figure 4: Répartition des enquêtés en fonction de groupe socio-culturel

Il ressort de cette figure que la majorité des enquêtés sont des peuples Ngbandi, soit 34%. Par rapport aux autres peuples: Mbanza, Mono, Ngbaka et Ngombe qui représentent 16,5% chacun.

La figure 5 donne la répartition des enquêtés en fonction de leur niveau d'études.

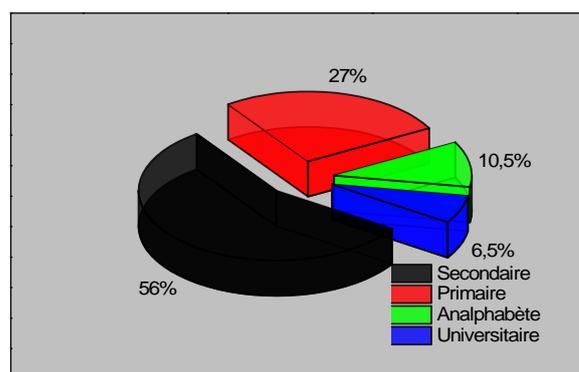


Figure 5: Répartition des enquêtés en fonction de niveau d'études

Il ressort de cette figure que la majorité des enquêtés ont un niveau secondaire, soit 56%. Suivi de ceux de niveau primaire (27%), des analphabètes (10,5%) et enfin des universitaires qui représentent 6,5%.

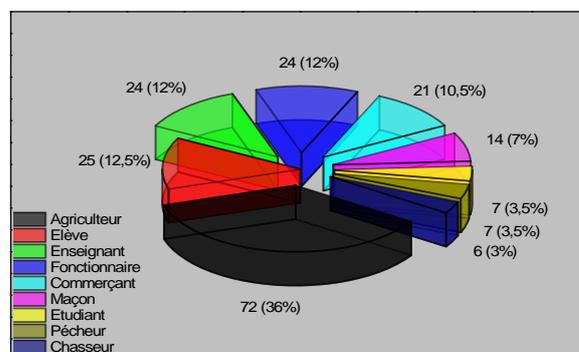


Figure 6: Répartition des enquêtés en fonction de profession

La figure 6 montre que la majorité des personnes enquêtées étaient des agriculteurs (36%) suivi respectivement des élèves (12,5%), enseignants et fonctionnaires de l'état (12% chacun), commerçants (10,5%), maçons (7%), étudiants et pêcheurs (3,5% chacun) et chasseurs (3%).

La figure 7 donne la répartition des enquêtés en fonction de leur statut matrimonial.

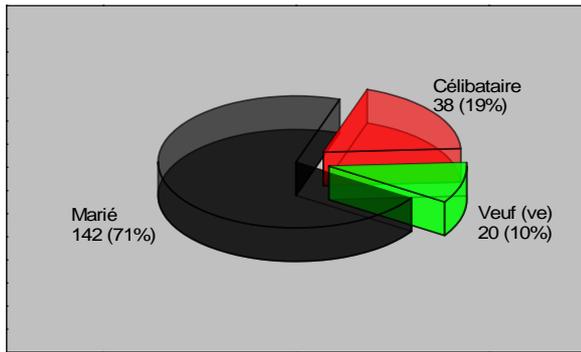


Figure 7: Répartition des enquêtés en fonction du statut matrimonial

Il ressort de cette figure que la majorité des enquêtés sont des mariés, soit 71%. Suivi respectivement des célibataires (19%) et des veufs qui représentent 10%.

Données ethnobotaniques

Localement, *Irvingia tenuinucleata* (Synonyme: *I. wombolu*) est appelé boro (chez les Mbanza), oboro (chez les Mono), ngbi (chez les Ngbaka), bolo (chez les Ngbandi) et bolobolo (chez les Ngombe). Il s’agit d’une plante médicinale alimentaire sauvage très appréciée par la population vivant dans l’écotélie Ubangienne.

La figure 8 donne l’origine (source d’approvisionnement) de l’espèce.

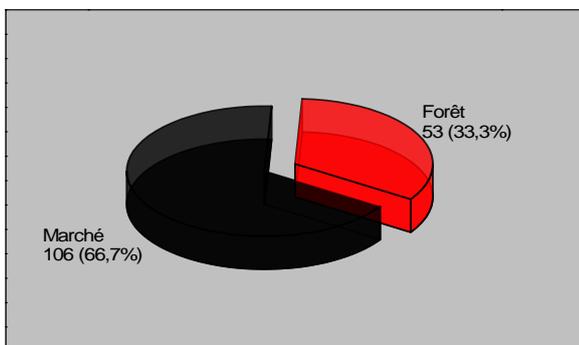


Figure 8: Source d’approvisionnement de l’espèce

Il ressort de cette figure que la majorité des enquêtés trouve leurs espèces au marché, soit 66,7%. Tandis que d’autres les trouvent dans la forêt, soit 33,3%.

La figure 9 donne les différentes parties utilisées de l’espèce.

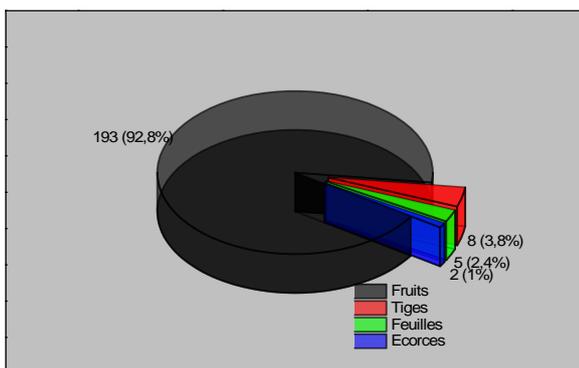


Figure 9: Différentes parties utilisées de l’espèce

Il ressort de cette figure que le fruit (92,8%) est la partie la plus utilisée, suivi respectivement des tiges (3,8%), des feuilles (2,4%) et des écorces (1%).

La figure 10 donne les maladies soignées par *Irvingia tenuinucleata* (Synonyme: *I. wombolu*).

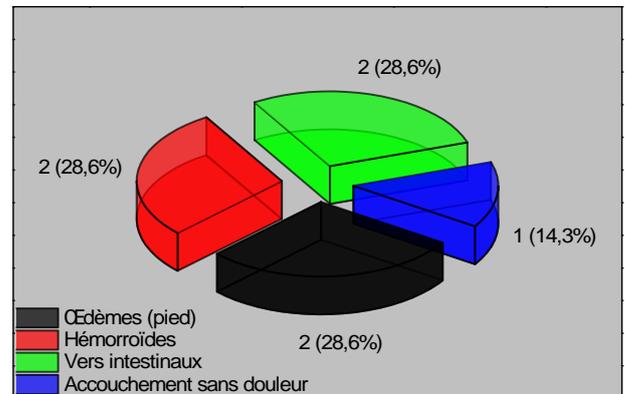


Figure 10: Maladies soignées par *Irvingia tenuinucleata* (Synonyme: *I. wombolu*)

Il ressort de cette figure que les maladies les soignées sont le gonflement de pied, l’hémorroïde, les vers intestinaux et comme utéro-tonique traditionnel (accouchement sans douleur). La valeur calculée de facteur de consensus informateur (nombre de citations Nr moins nombre de maladies soignées Na divisé par nombre de citation Nr moins 1) (Ngbolua, 2020) est 0,5 et indique qu’il existe un consensus entre les informateurs qui utilisent cette plante comme médicament pour les soins de santé primaire à Gbado-Lite.

Les figures 11 et 12 donnent respectivement les catégories d’utilisation et les modes de préparation de l’aliment et des recettes médicinales à base de *I. tenuinucleata* (Synonyme: *I. wombolu*).

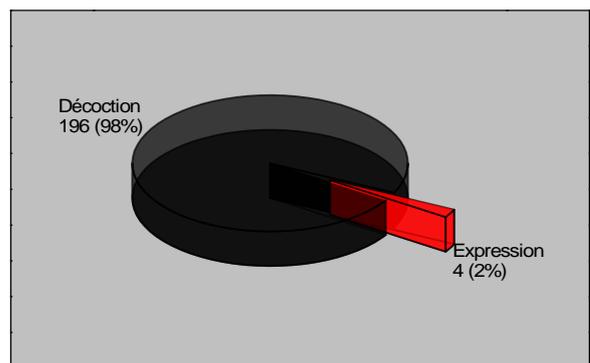


Figure 11: Catégories d’utilisation

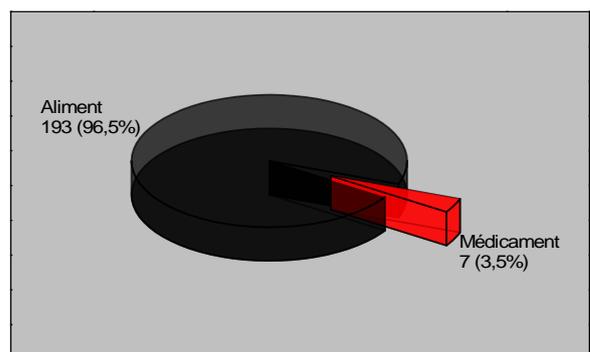


Figure 12: Modes de préparation

Il ressort de ces figures que la plante *Irvingia tenuinucleata* (*Synonyme: I. wombolu*) est un alicament. Du point de vue médical, la décoction et l'expression sont les deux modes de préparation les utilisés.

La figure 13 donne la perception de la population sur la fréquence de l'espèce.

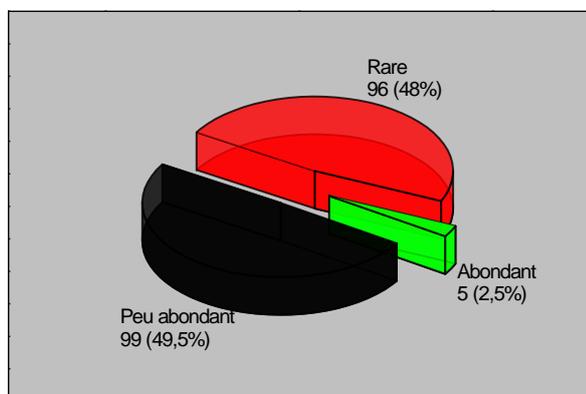


Figure 13: Perception de la population sur la fréquence de l'espèce

Il ressort de cette figure que l'espèce est peu abondante pour la majorité des enquêtés. Suivi de ceux qui confirment la rareté de l'espèce et enfin ceux qui estiment que l'espèce est abondante.

Selon Mongeke *et al.* (2018), les plantes médicinales constituent des ressources pour les générations actuelle et future et nécessitent une gestion durable en vue de leur valorisation suivant le principe d'accès et de partage de bénéfices (APA). En effet, ces plantes peuvent fournir des métabolites secondaires bioactifs susceptibles d'être utilisés par la médecine moderne comme molécules tête de série (hits) ou pour mettre au point des phyto-médicaments standardisés moins coûteux et facilement accessibles à la population.

Irvingia tenuinucleata est l'une de ces plantes nécessitant une attention soutenue en tant qu'aliment. Cette plante contient les minéraux tels que le phosphore (P), le calcium (Ca), le potassium (K), le sodium (Na), le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) qui sont indispensables pour le bon fonctionnement de l'organisme tant animal qu'humain (Atoyebi *et al.*, 2020). En outre, les graines, les écorces de racine et de tige ainsi que les feuilles de *I. tenuinucleata* contiennent les glucides, les lipides, les protéines, les fibres et les substances naturelles telles que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins, les saponosides, les stérols, les anthraquinones et les terpénoïdes (Chinelo et Ezeani, 2016). La peau et la pulpe de des fruits de *I. tenuinucleata* contiennent la lysine et la sérine. Elles contiennent aussi le friedelan-3-one (un composé anti-inflammatoire), le stigmasterol (composé à propriétés anti-tumorales et anti-cholestérol) et le béta-sitostérol, un métabolite secondaire connu pour ses propriétés anti-cholestérol et immuno-modulatrices et sa capacité à réduire le risque des maladies cardiovasculaires et à prévenir le cancer de colon (Oduntan *et al.*, 2019).

Études socio-économique et environnementale

Le tableau 1 donne la fréquence relative aux données sur la vente de *Irvingia tenuinucleata*.

Tableau 1: Données sur la vente de *I. tenuinucleata*

Paramètres	Effectifs	FR (%)	
1. Sexe			
	Féminin	47	92,2
Masculin	4	7,8	
Total	51	100,0	
2. État civil			
	Célibataire	27	52,9
Marié	24	47,1	
Total	51	100,0	
3. Age			
	>50 ans	8	15,7
18-35 ans	20	39,2	
36-50 ans	23	45,1	
Total	51	100,0	
4. Niveau étude			
	Primaire	16	31,4
Sans niveau	13	25,5	
Secondaire	22	43,1	
Total	51	100,0	
5. Activité principale			
	Agriculture	6	11,8
Commerce	34	66,7	
Cueillette	3	5,9	
Fonction publique	6	11,8	
Pêche	2	3,9	
Total	51	100,0	
6. Taille ménage			
	>10 personnes	1	2,0
1-5 personnes	32	62,7	
6-10 personnes	18	35,3	
Total	51	100,0	
7. Expérience vente			
	>20 ans	3	5,9
1-5 ans	37	72,5	
11-15 ans	5	9,8	
16-20 ans	1	2,0	
6-10 ans	5	9,8	
Total	51	100,0	
8. Origine du PFN			
	Achat	31	60,8
Cueillette	20	39,2	
Total	51	100,0	
9. Disponibilité			
	Non	15	29,4
Oui	36	70,6	
Total	51	100,0	
10. Client/acheteur			
	Autre	1	2,0
Chercheur	9	17,6	
Consommateur	41	80,4	
Total	51	100,0	
11. Écoulement du PFNL			
	Non écoulé	1	2,0
Partiel	46	90,2	
Total	4	7,8	
Total	51	100,0	
12. Recette mensuelle			
	>20000 CDF	1	2,0
	11000-20000 CDF	6	11,8
	2500-5000 CDF	35	68,6
	6000-10000 CDF	9	17,6
Total	51	100,0	
13. Appréciation de la vente			
	Assez bon	27	52,9
Bon	14	27,5	
Mauvais	10	19,6	
Total	51	100,0	
14. Affectation du revenu			
	Autre	17	33,3
Éducation	16	31,4	
Habillement	7	13,7	
Santé	11	21,6	
Total	51	100,0	
15. Difficultés ou contraintes			
	Approvisionnement	3	5,9
Conservation	23	45,1	
Pas de bénéfice	1	2,0	
Pas de vente	8	15,7	
Rareté	12	23,5	
Transport	4	7,8	
Total	51	100,0	

Il ressort de ce tableau que la vente de *I. tenuinucleata* est activée assurée par les femmes (92,2%), les célibataires (52,9%) et les personnes d'âge compris entre 36 et 50 ans. La taille de ménage majoritaire est composée de 1 à 5 personnes (62,7%) avec une expérience de vente de 1 à 5 ans (72,5%). Ce PFNL est prioritairement destiné à la consommation (80%) et son écoulement est partiel (90,2%). Cette vente génère une recette mensuelle d'environ 2.500 à 5.000 CDF (1 USD= 2.030 CDF) pour 68,6% des enquêtés. La principale difficulté liée à la vente est la conservation des fruits (45,1%).

La figure 14 donne l'appartenance ethnique des enquêtés.

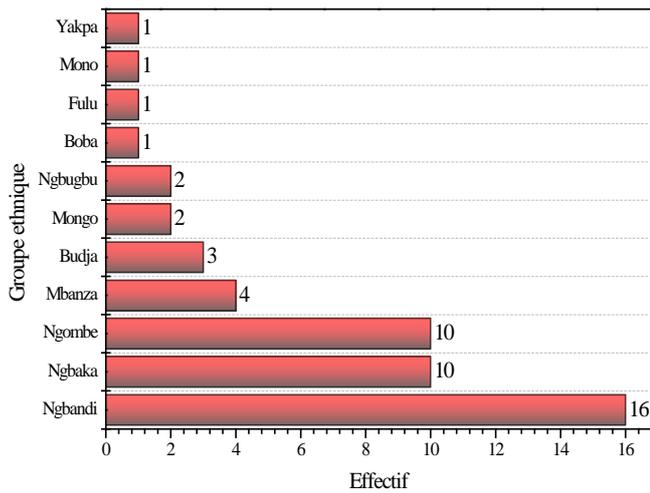


Figure 14: Appartenance ethnique des enquêtés

La vente est plus assurée par les trois groupes ethniques majoritaires du Nord-Ubangi notamment les Ngbandi, Ngbaka et Ngombe.

Le tableau 2 donne la fréquence relative aux données sur la cueillette de *Irvingia tenuinucleata*.

Il ressort de ce tableau que bien que la majorité des cueilleurs pensent n'éprouver aucune difficulté dans la récolte de cette plante, quelques contraintes ont été signalées. Il s'agit notamment de la présence des serpents dans la forêt, l'inaccessibilité, les acheteurs moins nombreux, la difficulté d'accès aux fruits sur le pied de l'arbre, la déforestation (la forêt de plus en plus éloignée de la ville), etc.

La présente étude a montré que le revenu issu de la cueillette et vente de ce PFNL à Gbado-Lite est orienté prioritairement vers le loyer et l'éducation des enfants, ceci est une caractéristique des pays pauvres où les dépenses prioritaires sont celles de la survie (Cockx, 1996).

Les soins de santé n'occupent que 10 à 11%. Ceci montre que la population recourt plus à la Médecine Traditionnelle et aux plantes médicinales pour les soins de santé primaire qu'à la médecine moderne (Mongeke *et al.*, 2019; Ngbolua *et al.*, 2019d; Masengo *et al.*, 2021a,b). En effet, selon l'OMS (Organisation Mondiale de Santé), plus de 80% de la population en Afrique mais aussi dans d'autres régions pauvres du monde recourent à la Médecine Traditionnelle pour la prise en charge des maladies courantes (Ngbolua *et al.*, 2011a,b).

La présente étude a également montré que la principale activité des paysans-cueilleurs est l'agriculture (55,8%), celle-ci est majoritairement pratiquée par les hommes (69,2%), les cueilleurs sont majoritairement des mariés

Tableau 2: Données sur la cueillette de *Irvingia tenuinucleata*

Paramètre	Effectifs	FR (%)	
1. Sexe			
	Féminin	16	30,8
	Masculin	36	69,2
	Total	52	100,0
2. État civil			
	Célibataire	16	30,8
	Marié	36	69,2
	Total	52	100,0
3. Age			
	>50 ans	7	13,5
	18-35 ans	15	28,8
	36-50 ans	30	57,7
	Total	52	100,0
4. Niveau étude			
	Primaire	17	32,7
	Sans niveau	4	7,7
	Secondaire	31	59,6
	Total	52	100,0
5. Activité principale			
	Agriculture	29	55,8
	Chasse	9	17,3
	Commerce	6	11,5
	Cueillette	3	5,8
	Pêche	5	9,6
	Total	52	100,0
6. Taille ménage			
	>15 personnes	6	11,5
	1-5 personnes	10	19,2
	11-15 personnes	14	26,9
	6-10 personnes	22	42,3
	Total	52	100,0
7. Expérience vente			
	>20	5	9,6
	1-5	26	50,0
	11-15	9	17,3
	16-20	3	5,8
	6-10	8	15,4
	6-15	1	1,9
	Total	52	100,0
8. Appartenance ethnique			
	Budja	5	9,6
	Mbanza	4	7,7
	Mono	2	3,8
	Ngbaka	20	38,5
	Ngbandi	16	30,8
	Nbugbu	2	3,8
	Ngombe	3	5,8
	Total	52	100,0
9. Circuit acheteur			
	Consommateur	33	63,5
	Détaillant	7	13,5
	Exportateur	9	17,3
	Grossiste	3	5,8
	Total	52	100,0
10. Écoulement PFNL			
	Non écoulé	2	3,8
	Partiel	42	80,8
	Entier	8	15,4
	Total	52	100,0
11. Appréciation vente			
	Assez bon	19	36,5
	Bon	33	63,5
	Total	52	100,0
12. Affectation revenu			
	Autre	11	21,2
	Éducation	15	28,8
	Habillement	4	7,7
	Loyer	17	32,7
	Santé	5	9,6
	Total	52	100,0
13. Production annuelle			
	< 2 bassins	8	15,4
	> 15 bassins	4	7,7
	11-15 bassins	5	9,6
	2-5 bassins	21	40,4
	6-10 bassins	14	26,9
	Total	52	100,0
14. Fidélisation des clients			
	Bonus	5	9,6
	Emprunt	1	1,9
	Explication	1	1,9
	Générosité	2	3,8
	Gris-gris	1	1,9
	Rabais	3	5,8
	Rien	39	75,0
	Total	52	100,0

(69,2%). La production annuelle (récolte) représente 2 à 5 bassins pour 40,4% des enquêtés. L'agriculture traditionnelle sur brûlis peut avoir un impact négatif sur l'environnement notamment les écosystèmes forestiers. Nous avons ainsi voulu avoir une idée sur son impact sur l'exploitation de *I. tenuinucleata* à Gbado-Lite et ses environs (Tableau 3).

86,5% des paysans interrogés possèdent au moins un champ dans la forêt. 46,2% des paysans y fréquentent plus de trois fois par semaine. Le chômage et la pauvreté sont les principales causes de la pression exercée sur la forêt. Bien que le PFNL récolté n'est pas encore perçu par la population comme rare (63,5%), la fréquence de son prélèvement *in situ* risque de causer son érosion si aucune mesure n'est prise pour sa conservation *in situ* ou *ex situ* puisque 25% des personnes interrogées récolte ce PFNL (Figure 15) à plus de 15 Km de la ville de Gbado-Lite. Toutes les personnes interrogées reconnaissent les services rendus par la forêt d'où nécessité de sa protection et de sa bio-ressource (*I. tenuinucleata*) pour les générations actuelle et future.



Figure 15: Fruits de *I. tenuinucleata*

En Afrique, les plantes alimentaires spontanées (ou sauvages) constituent l'une des sources les plus exploitées pour l'alimentation humaine en zone rurale (Mawunu et al., 2019; Tchatchambe et al., 2017a,b). Cependant, ces plantes sont de plus en plus abandonnées par la population locale au profit des plantes dites exotiques en raison notamment de la rareté, mais aussi leur méconnaissance et l'absence des preuves scientifiques sur leur toxicité et autres évidences pharmaco-biologiques (Ngbolua et al., 2021). Pourtant, ces plantes présentent souvent les meilleurs caractéristiques agronomiques (rendement élevé et facilité de production) et la haute valeur nutritive (Sinsin & Kampmann, 2010). A l'heure actuelle, les plantes sauvages occupent une place de choix dans la nutrithérapie du fait de leurs propriétés médicinales et nutritives. Outre le fait que ces plantes servent d'une part de sources de compléments nutritionnels, et un élément important de l'économie de nombreux ménages en RDC d'autre part, elles sont aussi utilisées comme médicaments.

La présente étude révèle que *I. tenuinucleata* constitue à la fois un aliment, un médicament et une source de revenu pour la population locale. La protection et la valorisation des connaissances, innovation et pratiques traditionnelles liées à cette ressource biologique s'avère donc indispensable. En effet, la plante *I. tenuinucleata* est insuffisamment mise en valeur à Gbado-Lite.

Tableau 3: Impact de l'agriculture sur l'habitat de *Irvingia tenuinucleata* à Gbado-Lite

Paramètre	Effectifs	%
1. Champs à la périphérie de la forêt		
Non	3	5,8
Oui	49	94,2
Total	52	100,0
2. Nombre de champ à la périphérie de la forêt		
1	10	19,2
2	14	26,9
3	8	15,4
4	11	21,2
Plus	9	17,3
Total	52	100,0
3. Champs en pleine forêt		
Non	7	13,5
Oui	45	86,5
Total	52	100,0
4. Nombre de champs dans la forêt		
1	11	21,2
2	16	30,8
3	9	17,3
4	3	5,8
Plus	13	25,0
Total	52	100,0
5. Fréquence dans la forêt		
1 fois par semaine	4	7,7
>3 fois par semaine	24	46,2
2 fois par semaine	6	11,5
3 fois par semaine	18	34,6
Total	52	100,0
6. Raison d'aller en forêt		
Chômage	20	38,5
Pauvreté	19	36,5
Subsistance	13	25,0
Total	52	100,0
7. Habitude d'utilisation du PFNL		
Non	1	1,9
Oui	51	98,1
Total	52	100,0
8. Services rendus par la forêt		
Les deux	31	59,6
Médicaments	4	7,7
Nourriture	17	32,7
Total	52	100,0
9. PFNL rare		
Non	33	63,5
Oui	19	36,5
Total	52	100,0
10. Causes d'érosion possible du PFNL		
Destruction habitat/Forêt	5	9,6
Fréquence de prélèvement	47	90,4
Total	52	100,0
11. Période récolte		
Avril-juin	27	51,9
Février-mai	3	5,8
Janvier-mars	12	23,1
Juillet-septembre	1	1,9
Octobre-décembre	9	17,3
Total	52	100,0
12. Circuit commercialisation		
Consommateur	33	63,5
Détaillant	7	13,5
Exportateur	9	17,3
Grossiste	3	5,8
Total	52	100,0
13. Distance		
<1 km	1	1,9
>15 Km	13	25,0
11 à 15 Km	6	11,5
2 à 5 Km	20	38,5
6 à 10 Km	12	23,1
Total	52	100,0
14. Évacuation		
Pied	33	63,5
Vélo	19	36,5
Total	52	100,0
15. Conservation plante		
Agroforesterie	9	17,3
Aucune mesure	31	59,6
Domestication	11	21,2
Protection des pieds in situ	1	1,9
Total	52	100,0

En dépit de ses multiples usages en Médecine Traditionnelle, seule la pulpe est consommée pourtant les amendes sont oléagineuses et peuvent fournir une huile pouvant servir de matière première pour les industries cosmétiques (fabrication de savons) et agro-alimentaires (alimentation humaine) ou pour fabrication de biodiesel. La gestion participative et le développement de cette plante alimentaire spontanée peut donc constituer un moyen de réduction de la pauvreté dans la province du Nord-Ubangi et aider ainsi à la réalisation des objectifs du développement durable (ODD). En effet, l'exploitation, la transformation et le commerce de PFNLs peuvent permettre de suppléer aux déficits alimentaires et de fournir des apports financiers substantiels en période de disette (Mawunu *et al.*, 2017; Mawunu *et al.*, 2019; Mawunu *et al.*, 2020; Ngbolua *et al.*, 2019b; Ngbolua *et al.*, 2021). Autrement dit, en valorisant scientifiquement et économiquement toutes les parties (organes) de la plante *I. tenuinucleata*, les paysans pauvres pourront accroître leurs revenus et pourront ainsi assurer le bien-être de leurs ménages.

Cette plante offre ainsi une réelle opportunité de développement aux paysans à travers le financement et l'encadrement des coopératives associatives par l'État, les ONG nationales et internationales. Cependant, dans une étude récente, nous avons démontré que la pratique de l'agriculture traditionnelle sur brûlis dans la province du Nord-Ubangi en RDC est la principale cause de la déforestation et la dégradation des forêts. Ainsi, dans la seule commune de Molegbe, environ 245 ha de forêts sont défrichés chaque année et convertis en espace agricole avec comme corollaire, la disparition des PFNLs générateurs de revenus pour les ménages.

A cet effet, la gestion participative qui permet d'allier le développement socio-économique et la conservation de la nature est une stratégie à encourager afin de prévenir l'érosion de la biodiversité et limiter l'impact de l'agriculture sur l'environnement du fait que les ménages interrogés disposent au moins un champ en pleine forêt. Ainsi, en élargissant l'activité agricole à la domestication des PFNLs, les paysans peuvent développer une agriculture paysanne raisonnée, multi-fonctionnelle et durable dans le but d'assurer la résilience face aux mutations en cours dans la province du Nord-Ubangi. En effet, la majeure partie de la population du Nord-Ubangi s'adonne à l'agriculture et la quasi-totalité de la production agro-alimentaire est assurée par des petits agriculteurs pratiquant encore l'agriculture de subsistance (Kpula *et al.*, 2021).

Il a été aussi rapporté que le niveau d'instruction de la population a une incidence très remarquable dans l'adoption des innovations et/ou dans le transfert de connaissances, de technologies en vue d'accroître la productivité dans tous les secteurs d'activités et dans la prise de décision (Tingu *et al.*, 2019). La présente étude révèle que la majorité des enquêtés ont un niveau d'études secondaires.

D'où la nécessité de les former dans la gestion des PFNLs en renforçant de leur capacité. Ainsi, l'agro-écologie définit comme étant la science de la gestion des ressources naturelles au bénéfice des plus démunis confrontés à un environnement défavorable constitue de ce fait une discipline à développer et à vulgariser dans la province du Nord-Ubangi (Triplet, 2016).

CONCLUSION

La présente étude a pour but d'identifier les usages ethnomédicaux et la valeur socio-économique de *Irvingia tenuinucleata* à Gbado-Lite en vue de sa valorisation suivant le principe d'accès et de partage de bénéfices. Il ressort de cette étude que:

- Cette plante est traditionnellement utilisée comme utéro-tonique et soigne le gonflement de pied, l'hémorroïde et les vers intestinaux;
- Le fruit est la partie la plus utilisée, suivi respectivement des tiges, des feuilles et des écorces;
- La vente des fruits de *I. tenuinucleata* est assurée par les femmes, les célibataires et les personnes d'âge compris entre 36 et 50 ans;
- La taille de ménage majoritaire est composée de 1 à 5 personnes avec une expérience de vente de 1 à 5 ans;
- Ce PFNL est prioritairement destiné à la consommation et son écoulement est partiel;
- Dans la majorité des cas, cette vente génère une recette mensuelle d'environ 2.500 à 5.000 CDF.
- La principale difficulté liée à la vente est la conservation des fruits;
- La principale activité des paysans-cueilleurs est l'agriculture, celle-ci est majoritairement pratiquée par les hommes, les cueilleurs sont majoritairement des mariés;
- La production annuelle représente 2 à 5 bassins pour 40,4% des enquêtés;
- La majorité des paysans possède au moins un champ dans la forêt et y fréquente plus de trois fois par semaine;
- Le chômage et la pauvreté sont les principales causes de la pression exercée sur la forêt.

Il est ainsi souhaitable que les recherches scientifiques approfondies soient menées en vue d'une meilleure connaissance de l'écologie, la phyto-chimie et les propriétés pharmacobiologiques, toxicologiques et nutritionnelles de cette espèce végétale et sa domestication dans le Nord-Ubangi.

RÉFÉRENCES

- Allabi A.C., Busiac K., Ekanmiana V., Bakiono F. (2011). The use of medicinal plants in self-care in the Agonlin region of Benin. *Journal of Ethnopharmacology*, 133: 234-243.
- Asimonyio J.A., Ngabu J.C., Lomba C.B., Falanga C.M., Mpiana P.T., Ngbolua K.N. (2015) Structure et diversité d'un peuplement forestier hétérogène dans le bloc sud de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 18: 241-251.
- Atoyebi J.O., Adeyemo A., Ajiboye T.O., Tellez-Isaias G., Garcia-Casillas C., Oluwafeyidara O., Yetunde A., Suleiman Y., Edagbo D. (2020). Comparison of important micronutrients profile among collections of *Irvingia gabonensis* and *Irvingia wombolu* at NAC-GRAB, Nigeria. *Food Science & Nutrition Research*, 3: 1-4.
- Chinelo A.E., Ezeani D.S. (2016). Comparative Study of Phytochemical and Nutrient Contents of Various Parts of *Irvingia gabonensis* (Aubry-Lecomte ex O' Rorke) Baill. and *Irvingia wombolu* Vermeesen. *International Journal of Pharmacy and Chemistry*, 2: 10-14.
- Cockx B. (1996). La connaissance des pauvres. L'économiste face au point de vue des plus pauvres. In : GIREP. La connaissance des pauvres. P. Fontaine *et al.* Ed. Les éditions Travailler le social, Academia bruyant, pp. 333-342.
- De Wet H., Nkwanyana M.N., van Vuuren S.F. (2010). Medicinal plants used for the treatment of diarrhoea in northern Maputaland, KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Journal of Ethnopharmacology*, 130: 284-289.

- Ezebilu E.E., Mattsson L. (2010). Contribution of non-timber forest products to livelihoods of communities in southeast Nigeria. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 17: 231-235.
- Kambale J.-L.K., Shutsha R.E., Katembo E.W., Omatoko J.M., Kirongozi F.B., Basa O.D., Bugentho E.P., Yokana E.I., Bukasa K.K., Nshimba H.S., Ngbolua K.N. (2016a). Étude floristique et structurale de deux groupements végétaux mixtes sur terre hydromorphe et ferme de la forêt de Kponyo (Province du Bas-Uélé, R.D. Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 24: 300-308.
- Kambale J.-L.K., Asimonyio J.A., Shutsha R.E., Katembo E.W., Tsongo J.M., Kavira P.K., Yokana E.I., Bukasa K.K., Nshimba H.S., Mpiana P.T., Ngbolua K.N. (2016b). Études floristique et structurale des forêts dans le domaine de chasse de Rubi-Télé (Province de Bas-Uélé, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 24: 309-321.
- Kpula N.M., Ngbolua K.N., Assi R.L., Nzamonga A.G., Andia P.L., Masengo C.A. (2021). Pratique de l'agriculture traditionnelle sur brûlis dans la commune de Molegbe (Gbado-Lite, Nord-Ubangi) en République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 9:718-723.
- Masengo C.A., Bongo N.G., Robijaona B., Ilumbe G.B., Ngbolua K.N., Mpiana P.T. (2021a). Étude ethnobotanique quantitative et valeur socioculturelle de *Lippia multiflora* Moldenke (Verbenaceae) à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 9:93-101.
- Masengo C.A., Inkoto C.L., Munsebi J.M., B.L. Mandjo B.L., Mpiana P.T., Ngbolua K.N. (2021b). Connaissance et usages de *Quassia africana* (Simaroubaceae) par les peuples Mongo, Yaka et Yombe de Kinshasa en République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 9: 737-747.
- Mawunu M., Eduardo A.s.o, Balomba P., Mohindo A.A., Bongo G., Ngbolua K.N. (2017). Food Security and Livelihood of Rural Households of Songololo Territory in Kongo Central Province, Democratic Republic of the Congo. *International Journal of Health Economics and Policy*, 2: 97-103.
- Mawunu M., Dionisio C.A., Lukoki L., Ngbolua, Luyindula N. (2019). Ethnobotanical and Socio-economics of *Dracaena camerouniana* Baker in Uíge Province, Northern Angola. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 20: 1-15.
- Mawunu M., Pedro P., Lautenschläger T., Biduayi F.M., Kapepula P.M., Ngbolua K.N., Luyeyeye F.L., Luyindula N. (2020). Nutritional Value of Two Underutilized Wild Plant Leaves Consumed as Food in Northern Angola: *Mondia whitei* and *Pyrenacantha klaineana*. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 12: 116-127.
- Mongeke M.M., Ngbolua K.N., Bakola R.D., Inkoto C.L., Elikandani P.N., Mowuli C.Y. (2018). Survey on the plants used in Traditional medicine by Bambenga: Pygmy from Dongo Sector (Territory of Kungu, Province of Sud-Ubangi) in Democratic Republic of the Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 6: 469-475.
- Ngbolua K.N., Rakotoarimanana H., Rafatro H., Urverg R.S., Mudogo V., Mpiana P.T., Tshibangu D.S.T. (2011a). Comparative antimalarial and cytotoxic activities of two *Vernonia* species: *V. amygdalina* from the Democratic Republic of Congo and *V. cinerea* subsp vialis endemic to Madagascar. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 345-353.
- Ngbolua K.N., Rafatro H., Rakotoarimanana H., Urverg R.S., Mudogo V., Mpiana P.T., Tshibangu D.S.T. (2011b). Pharmacological screening of some traditionally-used antimalarial plants from the Democratic Republic of Congo compared to its ecological taxonomic equivalence in Madagascar. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 1797-1804.
- Ngbolua K.N., Ndanga B.A., Gbatea K.A., Djolu D.R., Ndaba M.M., Masengo A.C., Likolo B.J., Falanga M.C., Yangba T.S., Gbolo Z.B., Mpiana P.T. (2018). Environmental Impact of Wood-Energy Consumption by Households in Democratic Republic of the Congo: A Case Study of Gbadolite City, Nord-Ubangi. *International Journal of Energy and Sustainable Development*, 3: 64-71.
- Ngbolua K.N., Ngemale G.M., Masengo A.C., Motende B.N., Ndolete G.J-P., Djolu D.R., Libwa M.B., Bongo N.G. (2019a). Evaluation of Artisanal Logging Sector in Democratic Republic of the Congo: A Case Study of Peri-urban Forest of Gbadolite City, Nord-Ubangi. *International Journal of Plant Science and Ecology*, 5: 25-30.
- Ngbolua K.N., Nzamonga G.A., Gbatea K.A., Nzale M.S., Masengo A.C., Ndolete G.J-P., Bongo N.G., Zakwani L.N., Libwa M.T.B., Yangba T.S., Gerengbo K.G. (2019b). Knowledge on Non-Timber Forest Products (NTFPs) Marketed in Democratic Republic of the Congo: A Case Study of Gbadolite City and Surroundings, Nord-Ubangi. *Agricultural and Biological Sciences Journal*, 5: 20-28.
- Ngbolua K.N., Zuangbo I., Molongo M., Masengo A.C., Djolu D.R., Yabuda H., Bongo N.G., Gbolo Z.B., Monde -te-K.G. (2019c). Effect of Agricultural Residues Based-Compost on the Yield of *Amaranthus hybridus* L. (Amaranthaceae) in Gbado-Lite City, Nord-Ubangi (Democratic Republic of the Congo). *Budapest International Research in Exact Sciences Journal*, 1: 53-61.
- Ngbolua K.N., Inkoto L.C., Mongo L.N., Masengo A.C., Masens Da-Musa Y.B., Mpiana P.T. (2019d). Études ethnobotanique et floristique de quelques plantes médicinales commercialisées à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 7: 118-128.
- Ngbolua K.N., Kumbali N.G., Mbembo-wa-Mbembo B., Kohowe P.S., Kogana K.F., Bongo N.G., Masengo A.C., Djolu D.R. (2020a). First Report on Three Cases of Monkey pox in Nord-Ubangi Province (Democratic Republic of the Congo). *Britain International of Exact Sciences Journal*, 2: 120-125.
- Ngbolua K.N., Ngemale G.M., Masengo A.C., Ndolete G.J.P., Bongo N.G., Ndanga B.A., Tshibangu D.S.T., Tshilanda D.D. (2020b). Survey on the Sale of *Megaphrynium Macrostachyum* (Marantaceae) Leaves in Gbado-Lite City and Surroundings (Nord-Ubangi Province, Democratic Republic of the Congo). *Budapest International Research in Exact Sciences Journal*, 2: 157-167.
- Ngbolua K.N. (2020). Ethnobotanique quantitative : Approches méthodologiques pour l'évaluation et la valorisation du savoir endogène en régions tropicales. Éditions Universitaires Européennes, Riga: Latvia.
- Ngbolua K.N., Molongo M.M., Libwa M.T.B., Amogu J.J.D., Kutshi N.N., C.A. Masengo C.A. (2021). Enquête ethnobotanique sur les plantes sauvages alimentaires dans le Territoire de Mobayi-Mbongo (Nord-Ubangi) en République démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 9: 259-265.
- Oduntan A.O., Babalola S.O., Kenneth-Obosi O., Awe O.F.E., Olabode I.A., Egbekunle K., Igwe H.C., Fajinmi O.B., Oduntan O.O., Afolayan S.O. (2019). Evaluation of proximate, amino acid profile and oil characterisation of *Irvingia wombolu* fruit pulp and peel. *International Food Research Journal*, 26: 1371-1377.
- Oyen L.P.A. *Irvingia wombolu*, PROTA Network Office. Wageningen University, Wageningen, Netherlands. https://uses.plantnet-project.org/fr/Irvingia_wombolu (PROTA). (20/05/2021)
- Sinsi B., Kampmann D. (Eds) (2010). Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Tome I: Benin. Cotonou & Frankfurt/Main.
- Tchatchambe N.B.J., Solomo E.B., Kirongozi B.F., Lebisabo B.C., Dhed'a D.B., Tchatchambe W.B.J., Ngombe K.N., Mpiana P.T., Mbemba F.T., Ngbolua K.N. (2017a). Évaluation de la valeur nutritive et des facteurs antinutritionnels de quatre légumes alimentaires sauvages consommées à Kisangani et ses environs (Province de la Tshopo, RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 30: 75-90.
- Tchatchambe N.B.J., Solomo E.B., Kirongozi B.F., Lebisabo B.C., Dhed'a D.B., Tchatchambe W.B.J., Ngombe K.N., Mpiana P.T., Mbemba F.T., Ngbolua K.N. (2017b). Analyses nutritionnelle et toxicologique de trois plantes alimentaires traditionnelles de la Tshopo en République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 30: 105-118.
- Tingu C., Mathunabo A. (2019). Analyse de la situation socio-économique et alimentaire des ménages des provinces du Nord et Sud-Ubangi en RDC. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques & Vétérinaires*, 7: 203-211.
- Triplet P. (2016). Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature.

Étude phyto-chimique et activité glucophage *in vitro* de *Laportea aestuans* (L.) Chew. (Urticaceae)

F. L. LUKOKI¹, D. N. MUSIKA¹, B. Z. GBOLO², A. B. KIKUFI¹, H. N. LUKOKI¹

(Reçu le 09/11/2022; Accepté le 07/02/2023)

Résumé

Dans cette étude, nous avons procédé à l'analyse phyto-chimique et à l'évaluation de l'activité glucophage des feuilles de *Laportea aestuans*. Plusieurs paramètres ont été étudiés, tels que les caractéristiques physiques, le screening chimique et l'activité glucophage. Les résultats obtenus montrent que les feuilles sèches de *Laportea aestuans* ont une teneur d'humidité de 1,6 %, un taux de cendres de 14,9 % et une teneur en matière sèche de 98,4 %. Ces feuilles sont riches en polyphénols, flavonoïdes, quinones liés, anthocyanes, leuco-anthocyanes, alcaloïdes, saponines et stéroïdes, et pauvres en triterpènes, quinones libres et tannins. En outre, les feuilles de *Laportea aestuans* sont glucophages.

Mots Clés: *Laportea aestuans*, Screening phyto-chimique, hyperglycémie, Kinshasa, RD Congo

Phyto-chemical study and *in vitro* glucophage activity of *Laportea aestuans* (L.) Chew. (Urticaceae)

Abstract

In this study, we carried out a phytochemical analysis and an evaluation of the glucophage activity of *Laportea aestuans* leaves. Several parameters were studied, such as physical characteristics, chemical screening and glucophage activity. The results showed that the dry leaves of *Laportea aestuans* have a moisture content of 1.6 %, an ash content of 14.9 % and a dry matter content of 98.4%. The leaves contain major groups of secondary metabolites such as that polyphenols, flavonoids, bound quinones, anthocyanins, leuco-anthocyanins, alkaloids, saponins and steroids and there is an absence of triterpenes, free quinones. Leaves of *Laportea aestuans* have also glucophage activity.

Keywords: Phytochemical, *Laportea aestuans*, hyperglycemia, Kinshasa, RD Congo

INTRODUCTION

La République démocratique du Congo (RDC) est un réservoir de la biodiversité tant animale que végétale. Dans ce dernier, les plantes alimentaires traditionnelles jouent un rôle important dans l'alimentation humaine et génèrent des revenus non négligeables aussi bien dans les zones rurales que dans les zones urbaines. Elles constituent une meilleure source des nutriments et de ce fait, contribuent à l'amélioration de l'état nutritionnel des populations des milieux tant ruraux qu'urbains. Ces plantes sont généralement douées des propriétés médicinales et sont utilisées pour soigner diverses maladies d'où le terme «aliments» qu'on leur attribue. A cet effet, les aliments et denrées alimentaires traditionnels peuvent constituer une piste importante dans la recherche des solutions à la lutte contre les maladies chroniques mais aussi contre la malnutrition dans le contexte de la crise qui frappe la RDC.

Riche ou pauvre, quelles que soient les conditions de vie, nous voulons avoir une santé saine, afin de vivre le plus longtemps possible. Pour maintenir, améliorer ou recouvrer la santé, il nous faut recourir à la médecine ou à la phytothérapie.

Face à cette situation, nous sommes contraints de nous organiser sans relâche, en cherchant dans notre propre environnement, le remède nécessaire à notre survie ; cet environnement est extrêmement riche en plantes médicinales constamment disponibles, mais insuffisamment répertoriées ou étudiées (Gunawan *et al.*, 2018).

La forte croissance démographique et l'insuffisance des infrastructures médicales constituent des problèmes majeurs auxquels se heurtent les africains. Et actuellement, les médicaments utilisés dans le monde sont synthétiques

et meilleurs, ils proviennent pour beaucoup aussi de l'origine végétale, car le domaine végétal a été le premier et le plus abondamment exploité ; les plantes ont été de tout temps utilisées, soit dans leur état naturel, soit sous forme d'extraits ou de principes actifs que les chimistes extraient et isolent (Pierre *et al.*, 2012).

La médication par les plantes connaît depuis quelques années un regain de faveur chez les chercheurs. Il y a, en effet, un mouvement général vers le recours aux traitements par des substances d'origine biologique notamment d'origine végétale (Wome, 1985).

Il est reconnu que le traitement par les plantes médicinales demeure jusqu'ici le système de soin de santé le plus facilement accessible et plus abordable pour la plupart de populations. Et dans le souci de valider scientifiquement la richesse phyto-thérapeutique et/ou d'apporter une contribution pragmatique dans l'étude phyto-thérapeutique des plantes de la République Démocratique du Congo, nous avons porté notre choix sur *Laportea aestuans* (L.) Chew., une plante utilisée en pharmacopée traditionnelle pour soigner certaines maladies. Un problème majeur de santé publique selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2015), le diabète est une maladie métabolique chronique caractérisée par une hyper-glycémie chronique ou permanente, suite à une carence absolue ou relative en insuline ou anomalie de l'action de l'insuline (Muzusangabo, 2015).

Plusieurs caractéristiques illustrent l'importance du diabète en termes de santé publique. La fréquence de cette affection chronique, en particulier celle du diabète de type 2, est considérable et en constante augmentation dans nos sociétés industrialisées (mais aussi dans les pays en voie de développement) compte tenu des modifications

¹ Laboratoire de Botanique systématique et d'Écologie végétale, Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, RDC

² Laboratoire de Chimie des substances naturelles, Mention Chimie et Industries, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, RDC

³ Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

du mode de vie (hygiéno-diététique) et de l'augmentation de l'espérance de vie. La prévalence du diabète augmente avec l'âge. De plus, l'âge de début du diabète de type 2 est de plus en plus jeune du fait notamment de l'augmentation de prévalence de l'obésité, contribuant également à l'augmentation du nombre absolu de diabétiques. Mais certaines interrogations demeurent et les questions suivantes peuvent être posées.

Laportea aestuans, espèce sauvage rudérale, possède-t-elle des propriétés médicinales pour qu'elle soit utilisée dans le traitement d'un certain nombre de maladies ? Quels sont les principes actifs ou métabolites secondaires qu'on pourrait trouver dans cette plante sauvage rudérale ?

Cette étude veut participer à la valorisation des espèces sauvages dans le traitement de maladies en RD. Congo, notamment en évaluant la composition phyto-chimique des extraits aqueux et organiques de *Laportea aestuans* et l'activité anti-hyperglycémique *in vitro* des extraits aqueux de cette plante médicinale.

MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu

Cette étude a été réalisée au Département des Sciences de la Vie, de la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa. Les analyses phyto-chimiques ont été réalisées au Laboratoire de Nutrition de l'Institut des Sciences et Techniques Médicales (ISTM) à Kinshasa.

Matériel biologique

Le matériel végétal est constitué des organes de *Laportea aestuans*, récoltée au village Kinduku, à l'Université de Kinshasa, près du Home 10 des étudiants.

Laportea aestuans est originaire de l'Afrique tropicale, bien qu'il soit maintenant répandu en tant qu'espèce introduite dans les autres régions tropicales du monde, (Adjanooun *et al.*, 1985). Cette espèce est largement répartie en Afrique tropicale, du Sénégal jusqu'en Érythrée et vers le Sud jusqu'en Angola, au Zimbabwe et au Mozambique, ainsi qu'au Madagascar. Elle est également présente au Yémen, en Asie tropicale et en Amérique tropicale, (Adjanooun *et al.*, 1985). La figure 1 illustre la plante et les feuilles de *Laportea aestuans*.

Données ethno-botaniques

Le décocté des feuilles, en association avec celles de pppermint (*Mentha x piperita* L.) et de plantain (*Plantago major* L.) est employé *per os* dans le traitement des épigastralgies. L'infusé de la plante entière est utilisé *per os*

contre l'anxiété, le nervosisme et pour faciliter le travail (Adjanooun *et al.*, 1985) Il est aussi couramment utilisé en médecine traditionnelle africaine. La bouillie de plante entière écrasée ou le jus de la plante s'ingèrent comme vermifuge et pour le traitement de la hernie. Il est utilisé comme abortif antimicrobien, laxatif, dans les traitements des yeux et analgésiques. Il est également utilisé dans le traitement des troubles pulmonaires et gastriques, de la diarrhée et de la dysenterie (Sahabi, 2009).

La plante peut être utilisée pour guérir les ulcères internes, le diabète, la bronchite et la filariose. Les feuilles légèrement brûlées ou fumées s'appliquent sur les brûlures et s'emploient contre la migraine. Pour traiter la gonorrhée et la leucorrhée, on enroule la feuille, on la grille et on la broie dans l'eau, puis on boit le liquide (Sahabi, 2009).

La macération de feuilles fraîches s'emploie en massage sur le corps pour le traitement des douleurs intercostales et des points de côté. La décoction de feuilles est utilisée contre les maux d'estomac, comme embrocation pour fortifier les enfants rachitiques et soulager la fièvre. L'infusion de feuilles se prend dans le traitement de la filariose, des rhumatismes et des troubles de la ménopause. La décoction de feuilles et de racine se boit comme antidote dans tous les cas d'empoisonnements.

Selon Kondaku Mbuta *et al.* (2012), la plante de *Laportea aestuans* est utilisée dans le traitement de beaucoup de maladies.

Céphalées: En application locale, après scarification au-dessus des sourcils: la poudre du calcinât des feuilles associées à la tête du poisson Mukenge et au sel végétal;

Splénomégalie, par voie anale: Le macéré des feuilles, 2 poires 2 fois par jour pendant 7 jours;

Ocytocique par voie anale: Le macéré des feuilles, 2 poires en prise unique;

Troubles psychosomatiques comme légume du malade : Le pilât des feuilles fraîches et celles de *Mondia whitei* (Hook.f.) Skuls et de *Colocasia esculenta* (L.) Schott. cuit;

Ictère, par voie anale: L'extrait aqueux des feuilles associées aux noix de palme. Adulte: 1 poire 2 fois par jour. Enfant: 1 petite poire 2 fois par jour;

Éléphantiasis en cataplasme: Le pilât des feuilles fraîches associées au rhizome de *Anchomanes giganteus* Engl.;

Antitussif, comme nourriture du malade: Les jeunes feuilles cuites avec la pâte d'arachides grillées, un peu d'huile de palme et d'eau ou comme boisson: la soupe de jeunes feuilles cuites avec la pâte d'arachides grillées, un peu d'huile de palme et d'eau;



Figure 1: a) Feuilles de *Laportea aestuans*; b) Plante de *Laportea aestuans*; c. Feuilles séchées au Laboratoire

Stérilité et avortements répétés, comme boisson: La soupe aux feuilles associées aux poissons et aux bananes plantain, ou par voie orale: le décocté des feuilles, ou par voie anale: le décocté des feuilles.

Méthodes

Détermination des paramètres physico-chimiques

Détermination de l'humidité

Le taux d'humidité a été déterminé par la méthode décrite par Kifuani (2012). A cet effet, 2 g de poudre ont été placés dans une étuve (de marque Heraeus) à 105°C pendant 24 heures. La masse étuvée a été pesée après refroidissement dans un dessiccateur et le taux d'humidité est alors déterminé par la relation suivante:

$$HR (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Avec: HR (%): teneur d'humidité; m_1 : masse initiale de l'échantillon; m_2 : masse de l'échantillon après séchage

Détermination des cendres totales

Le pourcentage des cendres a été déterminé par calcination de 2 g de l'échantillon. A cet effet, la masse de l'échantillon a été placée dans un four à mouffles (Naber, modèle N7/H) à 500 °C pendant 6 h. Le taux de cendres est calculé selon la relation:

$$\frac{m_2}{m_1} \times 100$$

Avec: m_1 : Masse initiale de l'échantillon; m_2 : Masse obtenue après calcination

Teneur en matières sèches (MS)

La teneur en matière sèche est déterminée en déduisant la masse d'eau de la masse totale de l'échantillon.

Méthodes de Screening chimique

Le screening chimique est une technique d'analyse chimique, ayant pour but, la mise en évidence des différents groupes chimiques contenus dans une plante ou un animal

donné. Ces différents groupes chimiques constituent les principes actifs (Sofowora, 1996; Tiwar *et al.*, 2011). Le tableau 1 reprend les différentes méthodes utilisées pour la recherche des grands groupes des métabolites secondaires.

Complexification de glucose *in vitro*

Le but de ce test est d'estimer la capacité des extraits totaux de *Laportea aestuans* à complexer le glucose libre *in vitro*. Donc, démontrer leur rôle de glycochages bien que les conditions *in vivo* et *in vitro* soient différentes. Ce test pourra nous renseigner sur un des mécanismes hypoglycémisants par extraits totaux de *Laportea aestuans*.

Mode opératoire

Prélever 20 µL d'une solution de glucose mère (0,25 mg/ml) et mélanger avec 20 µL de chaque extrait aqueux à différentes concentrations allant de 0,8 mg/mL à 4 mg/mL.

Le témoin positif (0,25 mg/mL) est constitué par 20 µL d'eau distillée, le mélange ainsi obtenu est incubé à 37°C pendant 15 minutes. Le dosage du glucose non lié aux extraits aqueux est mesuré selon la méthode de glucose oxydase (Sahabi, 2009).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques physiques

Les résultats sur les caractéristiques physiques des feuilles de *Laportea aestuans* sont présentés dans le tableau 2.

D'après les résultats du tableau 2, les feuilles de *Laportea aestuans* présentent une teneur d'humidité de 1,63 %, un taux de cendre de 14,9 % et la teneur en matière sèche de 98,4%.

Screening phytochimique

Le tableau 3 présente les résultats du screening phytochimique des extraits aqueux et organiques des feuilles de *Laportea aestuans*.

Tableau 2: Caractéristique des feuilles de *Laportea aestuans*

Paramètres	Valeurs
Granulométrie (mm) de <i>Laportea aestuans</i>	≤ 1 mm
Teneur en cendre (%) de <i>Laportea aestuans</i>	14,9
Humidité (%) de <i>Laportea aestuans</i>	1,63
Matière sèche (%) de <i>Laportea aestuans</i>	98,4

Tableau 1: Différents réactifs pour détecter les groupes chimiques

Groupes chimiques	Réactifs d'identification	Indicateurs (Réactions positives)
Stérols et Polyterpènes	Anhydride acétique- Acide sulfurique concentré Réactifs de Lieberman Burchadad	Apparition à l'interphase d'un anneau pourpre ou violet, virant au bleu, puis au vert.
Polyphénols	Chlorure ferrique FeCl ₃ (2%), K ₃ Fe (CN) ₆ 1% (1 : 1 v/v)- Réactif de Burton.	Apparition d'une coloration bleue noirâtre ou verte plus ou moins foncée
Flavonoïdes	Alcool chlorhydrique, Alcool iso-amylque, Copaux de Mg- Réactif de Shinoda	Dégagement de la chaleur, puis coloration rose-orange ou violacée
Anthocyanes	Acide chlorhydrique et Ammoniaque (NH ₄ .OH) 50%	Coloration violacée
Leuco-anthocyanes	Réactif de Shinoda	Coloration rouge brun
Coumarines	Réactif de Bortrager NH ₄ .OH 10%	Observation sous UV à 366 nm- Fluorescence intense
Tanins catéchiques	CH ₃ COONa, FeCl ₃ 2%- Réactif de Stiasny (formol 30 % + HCl concentré 2: 1)	Précipité gélatineux en gros flocons- Rose
Tanins galliques	Acétate de sodium, Chlorure ferrique (CH ₃ COONa, FeCl ₃)	Coloration bleue-noire intense
Quinones	Ammoniaque (NaOH 10 % ou NH ₄ .OH 10 %), Réactif de Bortrager.	Apparition d'une coloration rose ou rouge violacée
Saponines	Indice de mousse	Apparition d'une mousse persistante de 1 cm au moins
Alcaloïdes	Réactif de Dragendorf (Solution iodo-bismuthate de potas- sium) ou de Burchard (Réaction iodo-iodurée)	Précipité de coloration brun rougeâtre

Source: Houghton & Raman (1998)

Ces résultats montrent que les feuilles de *Laportea aestuans* ont une forte teneur en Polyphénols, Flavonoïdes, Alcaloïdes, Saponines et Stéroïdes ; une teneur moyenne en Quinones liés, Anthocyanes, Leuco-anthocyanes et Triterpènes, et une absence de Tanins et de Quinones libres.

Le tableau 4 présente les résultats obtenus après l'activité glucophage des extraits totaux de *Laportea aestuans*.

Il ressort de ce tableau que l'extrait éthanolique des feuilles de *Laportea aestuans* présente un effet glucophage plus élevé à la concentration de 4 mg/mL. En effet, on observe que cette activité croît avec l'augmentation de la concentration (Figure 2).

Cette figure nous montre que le % de glucose résiduel varie baisse avec l'augmentation du % de l'effet glucophage.

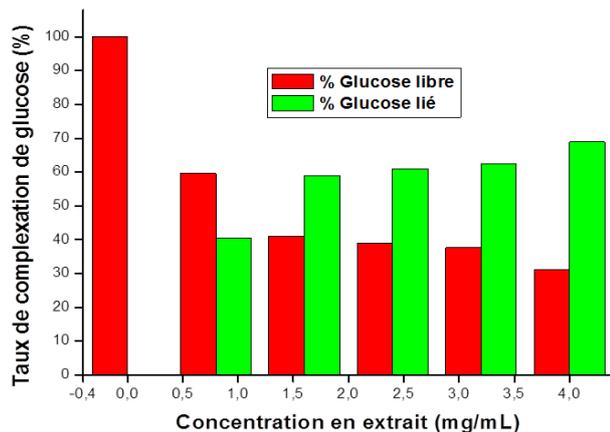


Figure 2: Évolution de l'activité glucophage des extraits totaux des feuilles de *L. aestuans*

CONCLUSION

Les résultats de cette étude permettent de dire que les feuilles de *Laportea aestuans* (L.) Chew. présentent une teneur d'humidité de 1,63 %, un taux de cendre de 14,88 % et une teneur en matière sèche de 98,37 %; les feuilles de *Laportea aestuans* possèdent les grands groupes des métabolites secondaires tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les quinones liés, les anthocyanes, les leuco-anthocyanes, les alcaloïdes, les saponines et les stéroïdes et, il y a absence des triterpènes, des quinones libre et des tannins; les feuilles de *Laportea aestuans* ont une dense activité glucophagique.

Rappelons que les composés ici révélés, sont en gros de groupes fonctionnels qui peuvent à leur tour par des tests spécifiques, donner des composés simples et actifs (principes actifs). La présence des métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les anthocyanes pourrait se justifier par les rôles physiologiques que ces derniers assurent chez la plante notamment la protection contre les rayons solaires et les prédateurs ainsi que la coloration des végétaux (Bruneton, 2009). Les terpénoïdes provoquent un large éventail d'actions thérapeutiques sur la perturbation membranaire et l'inhibition des cellules bactériennes ou des champignons, d'où ils ont de bonnes activités antibactériennes et antifongiques. En outre, la présence des polyphénols dans les feuilles de *L. aestuans* justifierait les diverses activités thérapeutiques et, en plus les flavonoïdes trouvés seraient d'après la littérature, doués des propriétés antihelminthiques. Cependant, il faut noter l'absence des triterpènes, des quinones libres et des tannins. Les feuilles de *Laportea aestuans* ont une dense acti-

Tableau 3: Résultats du screening chimique

Substances naturelles	Réactifs utilisés	Observations	Tests
Macéré:			
Polyphénols	Burton	Apparition d'une coloration bleu intense	+++
Flavonoïdes	Shinoda	- Apparition d'une coloration orange à rouge-orange (Flavones) - Apparition d'une coloration rouge cerise (Flavonols) - Apparition d'une coloration rouge violacée (Flavonones)	+++
Quinones liés	BORNTRAGER	Présence d'une coloration orange peu intense	++
Anthocyanes	HCl 20%	Présence d'une coloration peu intense violette	++
Leuco-anthocyanes	Shinoda	Présence d'une coloration brune allant à la coloration violette	++
Tannins	- Fe Cl ₃ 2% - Stiansny - Burton		-
Alcaloïdes	- HCl 0,1 N - Mayeur - Dranggendoff	Apparition d'un précipité rouge orange	+++
Saponines	Agitateur	Apparition d'une mousse	+++
Phase organique:			
Stéroïdes	Libermann-Burchardat	Apparition d'une coloration verte	+++
Triterpènes	Libermann-Burchardat	Apparition d'une coloration mauve	++
Quinones libres	Borntager		-

Légende: (+++) Très abondant, (++) Abondant, (+) Moins abondant et (-) Absent

Tableau 4: Activité glucophage des extraits totaux des feuilles de *L. aestuans*

Concentration Extrait (mg/mL)	Concentration Glucose libre (g/l)	Concentration Glucose lié	Activité des extraits de la	
			% Glucose Libre	% Glucose lié
0	0,250	0	100	0
0,8	0,149	0,101	59,6	40,4
1,6	0,103	0,147	41,1	58,9
2,4	0,097	0,153	39,0	61,0
3,2	0,094	0,156	37,6	62,4
4,0	0,078	0,172	31,1	68,9

tivité glycophagique. De par leurs propriétés fonctionnelles intéressantes, cette plante pourrait servir dans la formulation d'un alicament à fort pouvoir anti oxydant pour améliorer le statut antioxydant des consommateurs, mais aussi dans la prise en charge des diabétiques. La présence de taux élevés de certains métabolites secondaires tels que les alcaloïdes, les polyphénols, les flavonoïdes, les saponines, les stéroïdes, ainsi que la présence en concentration modérée des triterpènes, leuco-anthocyanes, anthocyanes et quinones libres, pourrait justifier aussi ses potentialités thérapeutiques reconnues en médecine traditionnelle telles que les usages dans le traitement de l'éléphantiasis, de la splénomégalie, de l'ictère, des troubles psychosomatiques, de la stérilité et des avortements répétés. Cette plante est aussi utilisée comme ocytocique. Mais, il convient de souligner aussi l'activité glycophage des extraits totaux des feuilles de *L. aestuans* qui serait à la base de propriétés anti-hyperglycémiantes utiles dans le traitement du diabète.

RÉFÉRENCES

- Adjanohoun F.J., Ake A.L., Chibon P., Cuffy S., Darnaud J.J., Edward M.J., Etienne C., Eyne J., Gooudote E., Jérémie J., Keita A., Longuetosse J.L., Portecop J., Soopramanien A., Troian J. (1985). Contribution aux études ethno-botaniques et floristiques à la Dominique. ACCT, Paris, 400p.
- Aubry P, Gaüzère BA (2018). Diagnostic d'une splénomégalie sous les tropiques- Actualités 2018- Centre René Labusquière, Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux, 4p.
- Bruneton J. (2009). Pharmacognosie, photochimie et plantes médicinales. 4^e éd, revue et augmentée, Paris, Tec & Doc, Éditions médicales internationales, 1288p.
- Chuard Christian (2018). Hépatosplénomégalie d'origine infectieuse. *Pipette- Swiss Laboratory Medicine*, 4: 14- 15.
- Gentilini M, Caumes E, Danis M, Richard-Lenoble D, Bégue P, Touze JE et Kerouédou D (2012). Médecine Tropicale. 6^{ème} Édition, Lavoisier, 1279 p.
- Gunawan E., Dirgantara S., Simaremaro E. Pratiwi R. (2018). Antibacterial activity of Daun Jilat Extract (*Villebrunea rubescens*) Papua to *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacterial. *Advances Science Letters*, 24: 84-87.
- Houghton P.J. Raman A. (1998). Laboratory Handbook for the Fractionation of Natural Extracts. 1^{ère} Édition, Chapman and Hall, 244p.
- Klemm J., Herzsuh U., Pestryakova L. A. (2016). Vegetation, climate and lake changes over the last 7000 years at the boreal treeline in north-central Siberia. *Quaternary Science Reviews*, 147: 422-434.
- Kifuani KM. (2012). Adsorption de la quinine bi chlorhydrate sur un charbon actif peu coûteux à base de la Bagasse de canne à sucre imprégnée de l'acide phosphorique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6: 1337-1359.
- Konda Ku Mbuta, Kabakura M., Mbembe, Bitengeli, Itufa Y'okolo, Mahuku Kavuna, Mafuta Mandanga, Mpoyi Kalam-bayi, Ndemankeni, Izamajole, Kadima Kazembe, Kelela Booto, Ngiuvu Vasaki, Bongombola Mwabonsika et Dumu Lody (2012) Plantes Médicinales de traditions province de L'Equateur – R.D. Congo, Edition 1, Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS), Kinshasa 420 p.
- Mansour K., Meski F. Z. (2013). Étude des facteurs associés aux complications Chez les diabétiques du RSSB Préfecture des arrondissements de Ben Msik Année 2012. *Epidémiologie de Santé Publique: École Nationale de Santé Publique*. 33.
- Muzusangabo KR. (2015). Prise en charge d'un diabète, Mémoire de Licence, Université Simon Kimbangu, Kinshasa, 145p.
- Odonne G (2012). Approche ethno-pharmacologique comparative des traitements phyto-thérapeutiques de la leishmaniose en Amazonie. Application aux communautés Chayahuita (Pérou) et du haut et moyen Oya-pock (Guyane française). Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, Cayenne, 250p.
- Olusanya BO, Alakija OP, Inem Va (2010). Non-uptake of facility-based maternity services in an inner-city community in Lagos, Nigeria: an observational study. *Journal of Biosocial Science*, 42: 341-358.
- OMS. (2015). Diabète ; Aide-mémoire n°321, Mars 2013
- Pierre P.J., Da Silva., Laurent M. (2012). Recherches de substances naturelles à activité thérapeutique. *Médecine/ Sciences*, 28 : 534- 542.
- Sahabi B. (2009). Études phyto-chimiques et potentialités biologiques de cinq espèces d'*Indigofera* (fabaceae) utilisées en médecine traditionnelle au Burkina Faso, Thèse doctorale, Université d'Ouagadougou, Ouagadougou, 2009, 154 p.
- Sofowora A. (1996). Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. Ed. Karthala, 378p.
- Tchatchambe N.B.J., Solomo E.B., Kirongozi B.F., Lebisabo B.C., Dhed'a D.B., Tchatchambe W.B.J., Ngombe K.N., Mpiana P.T., Mbemba F.T., Ngbolua K.N. (2017a). Évaluation de la valeur nutritive et des facteurs antinu-tritionnels de quatre légumes alimentaires sauvages consommées à Kisangani et ses environs (Province de la Tshopo, RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 30: 75-90.
- Tchatchambe N.B.J., Solomo E.B., Kirongozi B.F., Lebisabo B.C., Dhed'a D.B., Tchatchambe W.B.J., Ngombe K.N., Mpiana P.T., Mbemba F.T., Ngbolua K.N. (2017b). Analyses nutritionnelle et toxicologique de trois plantes alimentaires traditionnelles de la Tshopo en République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 30: 105-118.
- Tiwari P., Kaur M., Kaur G., Kaur H. (2011). Phytochemical screening and extraction. *Pharmaceutical*, 1: 98-106.
- Wome B. (1958). Recherches ethno-pharmacognosiques sur les plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle à Kisangani (Haut-Zaire). Thèse de Doctorat, ULB/ Bruxelles, 561p.

Dominance de *Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera* et *Meliponula* sp dans l'Apidofaune de la Réserve de Biosphère de Luki, RD Congo

H. N. LUKOKI¹, J. B. ILUNGA¹, F. L. LUKOKI¹

(Reçu le 16/01/2023 Accepté le 27/02/2023)

Résumé

Les abeilles sont des Hyménoptères les plus importants dans la pollinisation des plantes. Aussi, il est admis que la présence dominante de l'abeille domestique peut avoir une influence négative sur les abeilles solitaires voire d'autres pollinisateurs et donc défavoriser les plantes qu'elles ne peuvent pas visiter elles-mêmes. Afin de connaître les espèces pollinisatrices dominantes dans la Réserve de Biosphère de Luki, une étude a été conduite de Juillet 2021 à Juin 2022. A l'issue de cette étude, 6308 spécimens étaient capturés, réparties dans 81 espèces. Cependant, trois espèces (*Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera* et *Meliponula* sp) ont représentées à elles seules 76,2% de captures. De plus, ces trois espèces ont témoigné d'un régime polylectique avec une activité journalière de 10 h à 15 h.

Mots clés: Abeille, dominance, Pollinisateur, Réserve de Biosphère de Luki, RDC

Dominance of *Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera* and *Meliponula* sp. in the Apidofauna of the Luki Biosphere Reserve, DR Congo

Abstract

Bees are the most important Hymenopterans in the pollination of plants. Therefore, it is recognized that the dominant presence of honeybees can have a negative influence on solitary bees and other pollinators, and thus disadvantage plants that they cannot visit themselves. In order to know the dominant pollinators species in the Luki Biosphere Reserve, a study was conducted from July 2021 to June 2022. At the end of this study, 6308 specimens of 81 species were captured. However, three species (*Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera* and *Meliponula* sp) accounted for 76.2% of captures. Moreover, these three species showed a polylectic diet with a daily activity from 10 am to 3 pm.

Keywords: Bee, dominance, Pollinator, Luki Biosphere Reserve, DRC

INTRODUCTION

Les abeilles sont des Hyménoptères apocrites du groupe des aculéates et de la superfamille des Apoidea. Elles présentent une grande diversité de régime alimentaire et constituent un groupe très important pour la pollinisation des plantes (Michener, 2007).

Probablement apparues en Afrique au Crétacé moyen, les abeilles comptent actuellement environ 30 000 espèces décrites au niveau mondial, réparties en 7 familles et 1200 genres (Michener, 2007). Cependant, en Afrique et spécialement en Afrique Subsaharienne, les travaux réalisés à nos jours indiquent la présence d'environ 2 755 espèces d'abeilles regroupées en 99 genres et 6 familles, dont les Colletidae, les Andrenidae, les Halictidae, les Melittidae, les Megachilidae et les Apidae (Eardley et Urban, 2010; Eardley et al., 2010).

D'après Pouvreau (2004) et Michener (2007), les abeilles sont caractérisées par un mode de vie solitaire et la socialité n'est apparue que chez les Apidae et Halictidae. Par ailleurs, l'espèce la plus sociale et la plus connue de ces insectes est *Apis mellifera* L. de par son exploitation par l'homme depuis plusieurs siècles (Kuhlmann et Timmermann, 2008 in Ndayikeza et al., 2014a).

En République Démocratique du Congo (RDC), la majorité des travaux réalisés ont notés la présence remarquable d'*Apis mellifera* comme une espèce polylectique, mais aussi et surtout pour son grand rôle dans la pollinisation de plusieurs plantes des forêts, des savanes et des cultures (Bukaka et al., 2020; Lukoki et al., 2021a).

Les travaux réalisés à Kinshasa et au Kongo-Central par Lukoki et al. (2021a) ont démontré que les proboscis des pollinisateurs étudiés étaient fortement corrélés à la profondeur de corolles des fleurs alors qu'ils n'interviendraient pas dans le choix floral des pollinisateurs. Ceci revient à dire d'après Ndayikeza et al. (2014a) que malgré cette abondance remarquable d'*Apis mellifera* dans plusieurs écosystèmes en RDC, elle ne serait pas la bienvenue à tous les types de fleurs et ne permettrait pas une pollinisation efficace de nombreuses fleurs dont la taille varie fortement selon l'espèce végétale.

De plus, bien que polylectique, l'abeille domestique concentre ses récoltes sur une seule et même espèce végétale (Lemoine, 2010). Aussi, il est admis que la présence dominante de l'abeille domestique peut avoir une influence négative sur les abeilles solitaires voire d'autres pollinisateurs et donc défavoriser les plantes qu'elles ne peuvent pas visiter elles-mêmes (Bellmann, 1999; Nzigidahera et Fofu, 2010; Mpawenimana, 2013; Ndayikeza et al., 2014b).

Ndayikeza et al. (2014a) rapportent la nécessité de faire appel à la domestication d'autres espèces pollinisatrices en occurrence comme les abeilles de genres *Melipone* et *Dactylurina* qui font déjà l'objet d'élevage dans certaines régions d'Amérique et d'Afrique (FAO, 2007; Connal, 2004). C'est dans cette optique que cette étude s'est assigné comme objectif de démontrer la dominance remarquable de trois espèces d'*Apinae* dans l'Apidofaune de la Réserve de Biosphère de Luki et le probable risque en cas de leur déclin pour cet écosystème.

¹ Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, RD Congo

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

La présente étude a été menée sur base de récoltes d'abeilles faites pendant 12 mois, soit de Juillet 2021 à Juin 2022, dans deux zones sur trois que compte la Réserve de Biosphère de Luki (zone de transition et zone tampon). S'étendant sur une superficie de 33 811 ha, la Réserve de Biosphère de Luki est située à l'Ouest de la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo à 5°29' de latitude Sud et 13°04' de longitude Est, au dans le district du Bas-fleuve, à environ 110 km de l'Océan Atlantique (Desclee, 2017). Elle est traversée du Nord- Est au Sud-Ouest par le bassin hydrographique de la rivière Luki avec ses principaux affluents dont la Ntosi et la Monzi qui, ensemble se jettent dans la rivière Lukunga, affluent du fleuve Congo (WWF, 2010).

Échantillonnage

La collecte d'abeilles dans la Réserve a été conduite au moyen de trois techniques d'échantillonnage : Filets entomologiques, Coupelles colorées et Cornets unidirectionnels (Garrin et Houard, 2015; Lukoki *et al.*, 2021b; Bukaka *et al.*, 2020). Les captures étaient réalisées de 7 h à 17 h dans dix quadrats de 110 m/6 m en raison de cinq quadrats par zone selon le dispositif expérimental présenté à la figure 1.

Conservation et identification

Les abeilles capturées ont été conservées sur terrain dans des tubes préalablement remplis d'alcool à 70°C et ramenées au laboratoire de microscopie de la Mention Sciences de la Vie (ex-Département de Biologie) de la

Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Kinshasa. Au laboratoire, les spécimens étaient ressortis des tubes, lavés à l'eau de robinet. Après tri, épingleage et préparation, les spécimens étaient identifiés en se référant aux caractères morphologiques décrits dans différents clés de systématique entomologique des abeilles (Eardly et Urban, 2010; Eardley *et al.*, 2010; Pauly et Vereecken, 2013). Quant aux espèces végétales, l'identification a été complétée sur terrain par nous-mêmes avec l'aide des botanistes de l'INERA/Luki et la vérification a été faite à l'Herbarium IUK de la Mention de la Vie (ex-Département de Biologie) de l'Université de Kinshasa.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Abondance de trois espèces dans la zone d'étude

Au terme de cette étude, les données relatives à la capture d'abeilles dans la Réserve de Biosphère de Luki sont présentées dans le tableau 1.

Il se dégage du tableau 1 que la capture d'abeilles a permis de collecter 6308 spécimens répartis en 81 espèces. Par ailleurs, trois espèces d'entre elles soit *Dactylurina staudingeri*, *Apis mellifera* et *Meliponula sp*, comptent 4804 spécimens soit 76,2%. Cette abondance remarquable a été signalée aussi dans les travaux de Bukaka *et al.* (2020) à Kinshasa et Lukoki *et al.* (2021) au Jardin Botanique de Kisantu dans le Kongo Central. D'après Ndayikeza *et al.* (2014a) cette abondance serait liée d'une part à la pratique de l'apiculture (surtout pour l'*Apis mellifera*) dans le site et à ses alentours et, d'autre part à la présence abondante des plantes mellifères.

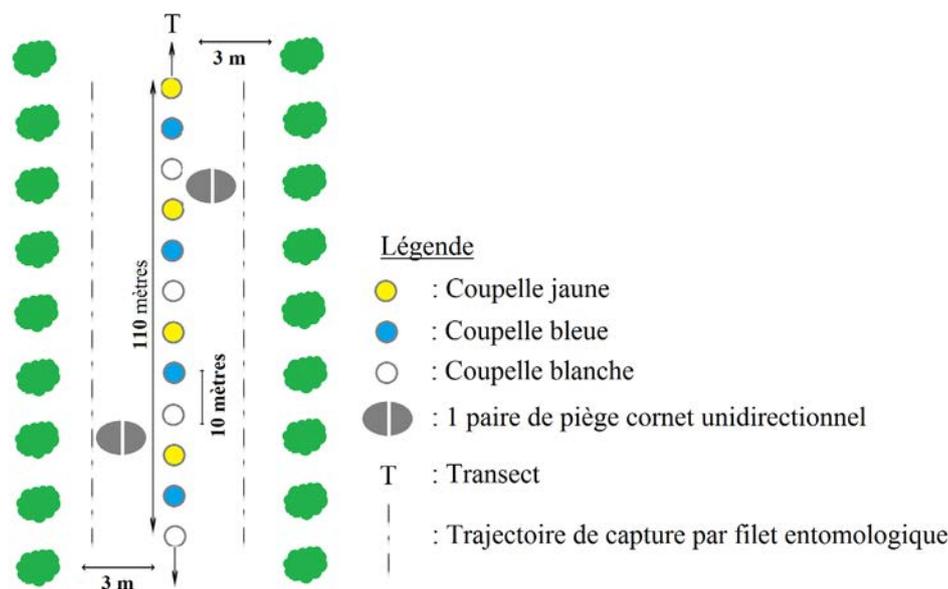


Figure 1: Dispositif expérimental utilisé

Tableau 1: Abondance spécifique de 3 espèces dans la Réserve de Biosphère de Luki

Espèce	Cornets	Filets	Coupelles	Total	%
<i>Dactylurina staudingeri</i> Gribodo 1893	0	1733	47	1780	28,2
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus 1758	0	1544	78	1622	25,7
<i>Meliponula sp</i>	0	1402	0	1402	22,2
Autres Apoidae	13	1360	131	1504	23,8
Total	13	6039	256	6308	100

L'espèce *Dactylurina staudingeri*, a présenté une abondance importante de 28,2% par rapport aux deux autres espèces. Les 78 espèces restantes ont présentées, quant à elles, une abondance de 23,8%, inférieure aux trois espèces (Figure 2). Ceci révèle l'importance de ces trois espèces dans la pollinisation de la flore de la Réserve.

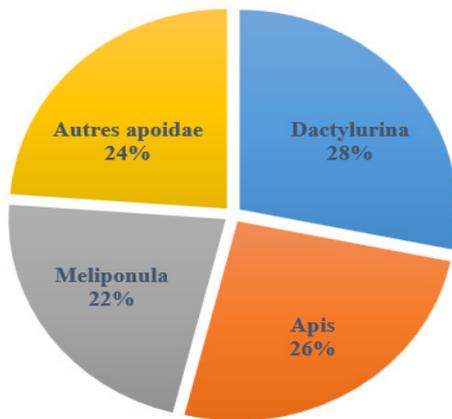


Figure 2: Répartition d'espèces en termes d'abondance

Comparaison des préférences de visites d'abeilles en fonction des familles botaniques

L'analyse de la figure 3 sur les visites d'abeilles en fonction des familles botaniques révèle de manière générale que *Dactylurina staudingeri*, hormis le fait d'être l'espèce la plus abondante dans la Réserve, a en outre démontrée une attraction aux espèces de familles des *Fabaceae* et *Acanthaceae*. *Apis mellifera* a, quant à elle, visitée plus les espèces de familles des *Anacardiaceae*, *Polygonaceae* et *Talinaceae*. D'autre côté, *Meliponula sp* a visité de manière significative les espèces de la famille des *Asteraceae*.

Cette analyse révèle aussi que ces trois espèces abondantes sont toutes polylectiques, car elles visitent plus de 4 familles botaniques. Ces observations rejoignent celles faites par Lukoki et al. (2021a) qui soulignent que les espèces abondantes sont beaucoup plus polylectiques. Cela, afin de réduire la compétition interspécifique.

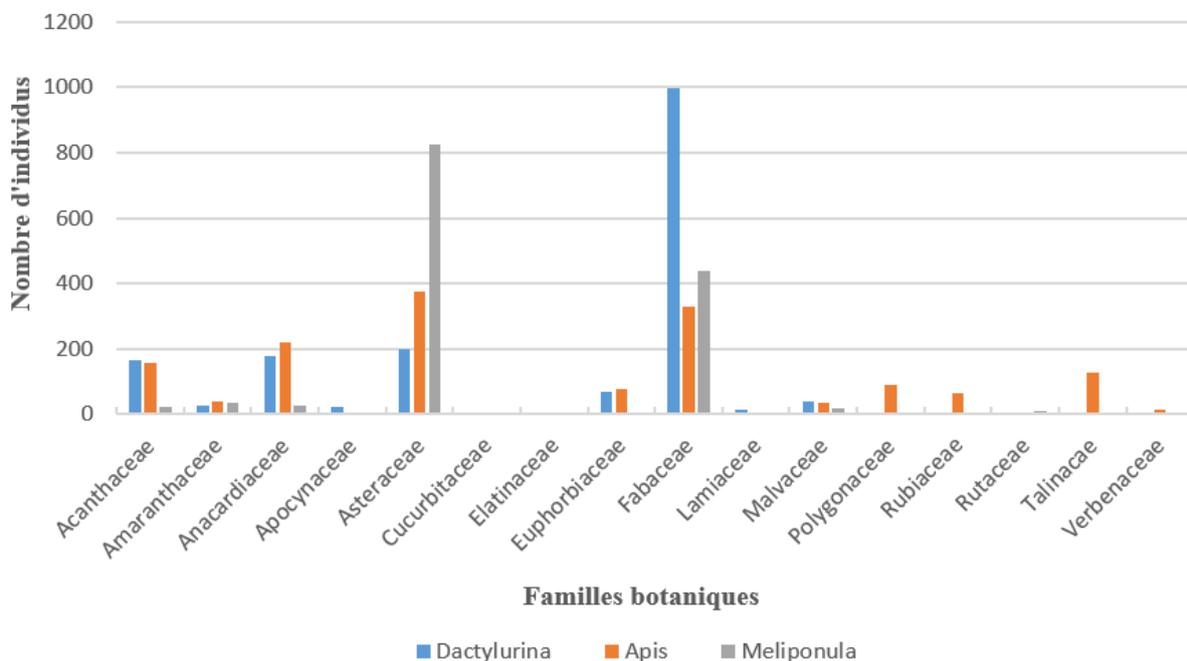


Figure 3: Familles botaniques les plus visitées par les abeilles

Périodicité de visites des abeilles

L'analyse de la périodicité de visites révèle que *Apis mellifera* est plus présente au mois de Janvier tandis que *Meliponula sp* et *Dactylurina staudingeri* ont connues des visites intenses respectivement aux mois de Mai-Juin et Juin-Juillet. Par ailleurs, il y a absence totale de visites de *Meliponula sp* au mois de Novembre (Figure 4). Cela traduirait que l'activité de ces pollinisateurs est dépendante des conditions éco-climatiques.

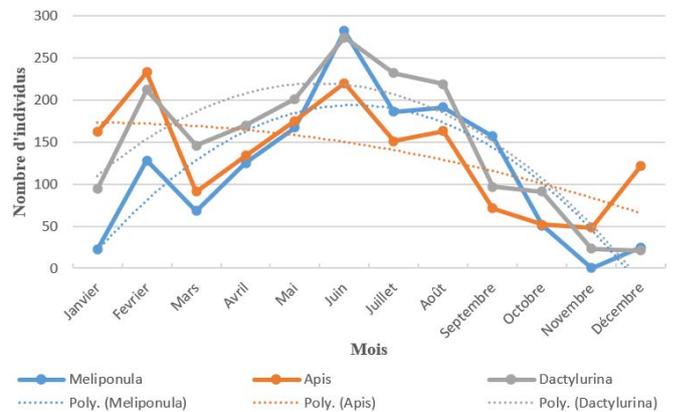


Figure 4: Phénologie des abeilles

Comportement de butinage des abeilles

La figure 5 reprend les observations du comportement de butinage tout au long de l'étude. Il se dégage par ailleurs que pour les trois espèces abondantes de cette étude, l'activité s'étalait de 7 h à 17 h avec des variations journalières remarquables. De plus, ces espèces ont été plus en activité de 10 h à 15 h. Cependant, *Apis mellifera* était plus en activité à 10 h tandis que *Dactylurina staudingeri* et *Meliponula sp* étaient plus en activité respectivement à 10 h et 11 h. A l'issue de ces résultats, la présente étude révèle que l'abondance de la faune pollinisatrice sur les fleurs de la flore de la Réserve ainsi que leur comportement de butinage seraient modifiés par l'abondance de ces trois espèces, corroborant ainsi les observations de Butz-Huryn (1997) in Chagnon (2008).

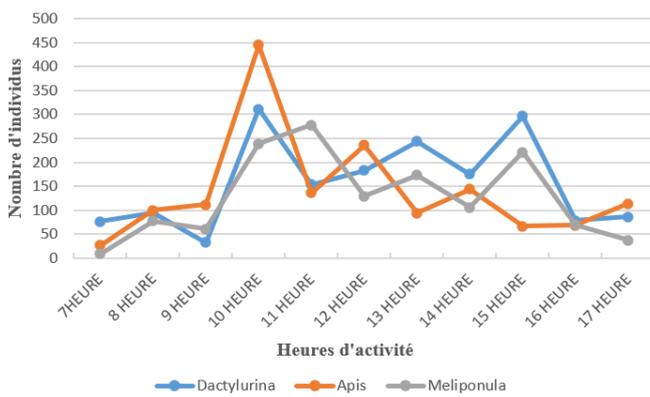


Figure 5: Comportement de butinage

Efficacité de techniques d'échantillonnage

Les observations faites sur l'efficacité d'échantillonnage consignées dans la figure 6 révèlent que les captures par filet étaient majoritaires avec 95,7% d'observations. De plus, *Dactylurina staudingeri* est plus capturée par filet que par les deux autres techniques. Par ailleurs, aucune de trois espèces abondantes n'a été capturée par les pièges cornets.

Ces résultats corroborent ceux de travaux de Lukoki *et al.* (2021b) qui affirment une efficacité performante des filets dans la même Réserve. Cependant, Kasomboyi *et al.* (2020) relèvent dans leur travail à Kisangani sur les Apoïdes, une performance des coupelles colorées dans la capture des insectes. Ceci serait dû aux nombreux facteurs dont certains propres à l'insecte et d'autres à l'environnement (Almouner et Frédéric, 2013).

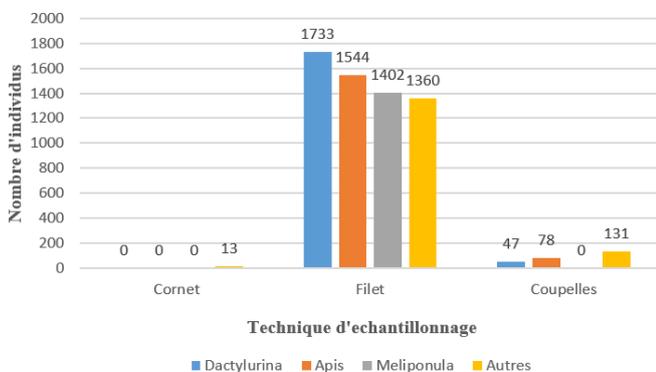


Figure 6: Évaluation de l'efficacité de la technique d'échantillonnage

CONCLUSION

Le risque majeur que court l'entomofaune pollinisatrice de nos jours est spécialement lié au déclin, causé par plusieurs facteurs environnementaux. Mais en dehors de ce dernier, d'autres facteurs liés à l'espèce sont également pris en compte. Dans le souci de montrer l'abondance de trois espèces pollinisatrices dans l'apidofaune de la Réserve de Biosphère de Luki, une étude a été conduite au moyen de trois techniques de capture. Il se dégage en cela que le filet était très efficace avec 95,7% de capture avec une dominance de *Dactylurina staudingeri* 28%. De plus, les trois espèces abondantes se sont avérées polylectiques avec un pic d'activité évalué entre 10 h et 15 h et une activité orientée pendant la saison de pluies. Cependant, face à cette abondance relative de ces trois espèces, des mesures de protection de l'apidofaune et surtout de deux

autres espèces (*Dactylurina staudingeri* et *Meliponula sp*) s'imposent, notamment à travers la domestication des espèces du genre *Meliponula*. Il serait aussi important de réduire la pression anthropique dans les zones tampon et de transition, afin de minimiser l'impact de ces activités sur les écosystèmes, principalement sur les plantes et les abeilles pollinisatrices.

Remerciements

Nous tenons à remercier le personnel de l'INERA/Luki de la Réserve de Biosphère de Luki pour l'accueil durant toute la période de l'étude. Ces remerciements s'adressent principalement à Mr Olivier Mamana Ngoma et Mr Papy Phonga qui nous ont grandement aidés lors de l'installation des pièges et la collecte d'insectes, mais également à Mr Mbambi de l'INERA/Luki et tout le personnel de l'Herbarium de l'Université de Kinshasa pour la détermination des espèces végétales.

RÉFÉRENCES

- Almouner A., Frédéric F. (2013). Impact des méthodes de piégeage sur l'efficacité de surveillance des pucerons: illustration dans les champs de pommes de terre en Belgique. *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology*, 66: 89-95.
- Bellmann H. (1999). Guide des abeilles, bourdons, guêpes et fourmis d'Europe. Delachaux et Niestlé, Paris, 336 p.
- Bukaka W., Belade Z., Nsabatien N., Nagahuedi M. (2020). Étude de la structure des communautés des abeilles sauvages (Hymenoptera: Apoidea) de Kinshasa (R.D. Congo), cas de la Vallée de la Funa, des Symphonies Naturelles et de Lutendele. *International Journal of Applied Research*, 6: 941-951.
- Chagnon M. (2008). Causes et effet du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier. - Bureau régional du Québec de la fédération canadienne de la faune. 75 p.
- Connal E. (2004). Taxonomic revision of the African stingless bees (Apoidea: Apidae: Apinae: Meliponini). *African Plant Protection*, 10: 63-96.
- Desclee D. (2017). Vers l'intégration des dynamiques humaines et spatiales dans un processus systémique de diagnostic multidimensionnel du 'Livelihoods' pour un développement durable: Cas d'étude de la Réserve de Biosphère de Luki en RDC. Thèse de doctorat, Université de Kinshasa/Université catholique de Louvain.
- Eardley C., Urban R. (2010). Catalogue of Afrotropical bees (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Zootaxa*, 24: 1-548.
- Eardley C., Kuhlmann M., Pauly A. (2010). Les genres et les sous-genres d'abeilles de l'Afrique subsaharienne. *ABC Taxa*, 9:147.
- FAO (2007). Plan d'action de l'Initiative africaine sur les pollinisateurs, 41p.
- Garrin M., Houard X. (2015). Inventaire commenté des Syrphes (Diptera, Syrphidae) de la forêt domaniale du Mans (77) – État initial d'un suivi après travaux forestiers – Résultats des campagnes 2011- 2012-2013. Office pour les insectes et leur environnement – Office national des forêts. Rapport d'étude, 40 p.
- Kasomboyi M., Posho B., Kombele F., Alenditima R., Upoki D., Vereecken N. (2020). Attractivité et performance de différents pièges utilisés pour la capture des Apoidea à Kisangani, RD Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8: 85-92.
- Lemoine G. (2010). Faut-il favoriser l'Abeille domestique *Apis mellifera* en ville et dans les écosystèmes naturels. *Le Héron*, 43: 248-256.
- Lukoki H., Ilunga J., Bakambana T., Lukoki F. (2021b). Preliminary study of the ecology and community structure of wasps (Hymenoptera) in the Luki biosphere reserve (Kongo-Central/Democratic Republic of Congo). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9: 31-41.
- Lukoki H., Kikufi B., Lukoki L. (2021a). Étude des choix floraux des pollinisateurs entomophiles. Étude des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: Cas du Jardin Botanique de Kisantu et de la Vallée de la Funa. Éditions Universitaires Européennes, 111p.
- Michener C. (2007). The Bees of the World, Second Edition. The Johns Hopkins University Press. USA.

- Mpawenimana A., Nzigidahera B., Ndayikeza L., Habonimana B. (2014). Les abeilles du genre *Meliponula* Cockerell, 1934 (Hymenoptera: Apoidea), potentialité pour la méliponiculture au Burundi. *Bull. Sci. Inst. Natl. Environ. Conserv. Nat.*, 11: 31-37.
- Ndayikeza L., Nzigidahera B., Mpawenimana A., Habonimana B. (2014b). Abondance et distribution des abeilles du genre *Xylocopa* Latreille, 1802 (Hymenoptera: Apoidea) du Burundi, *Bull. Sci. Inst. Natl. Environ. Conserv. Nat.*, 11: 38-48.
- Ndayikeza L., Nzigidahera B., Mpawenimana A., Théodore M. (2014a). Dominance d'*Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apoidea) dans les écosystèmes naturels et les agro-écosystèmes du Burundi: risque d'érosion de la faune des abeilles sauvages. *Bull. Sci. Inst. Natl. Environ. Conserv. Nat.*, 13: 72-83.
- Nzigidahera B., Fofa A. (2010). Les pollinisateurs sauvages dans les écosystèmes forestiers et agricoles du Burundi. INECN. 39 p.
- Pauly A., Vereecken N. (2013). Les Meliponinae africaines, <http://www.atlashymenoptera.net/page.aspx??ID=121>
- Pouvreau A. (2004). Les insectes pollinisateurs. - Delachaux & Nestlé, Paris, 128 p.
- WWF (2010). Plan d'aménagement de la Réserve de Biosphère de Luki, Projet d'appui à la gestion durable et conservation des écosystèmes forestiers de la République Démocratique du Congo, réalisé par ERAIFT, révisé en 2011.

La microdose, une technologie de fertilisation pour une gestion durable des terres et d'amélioration des rendements maraîchers dans le Bassin Arachidier au Sénégal

A. TOUNKARA¹, S. SARR², C. A. B. NGOM², N. NDIAYE², M. D. FAYE²

(Reçu le 05/01/2023 Accepté le 07/02/2023)

Résumé

La faible disponibilité des nutriments constitue un facteur limitant majeur de la production agricole dans les agro-systèmes du Bassin Arachidier (BA) du Sénégal. Face à cette situation, des initiatives ont été prises pour relever le niveau de fertilité des sols et par ricochet les rendements des cultures dans ces agrosystèmes. Entre autres initiatives, il y a la technologie de la microdose utilisée sur les céréales sèches et le maraîchage pour optimiser l'utilisation des fertilisants et booster les rendements. L'objectif de cette étude est d'analyser les performances agro-économiques de la microdose (MD) sur le maraîchage. L'étude a été menée pendant la contre saison 2020-2021 sur 2 297 parcelles de 100 à 200 m² par parcelle dans 96 périmètres maraîchers situés dans le BA. 60 ha ont été emblavés: 12 ha de piment, 22 ha de tomate, 12 ha de gombo et 14 ha d'aubergine. Chaque parcelle est divisée en deux parties d'égales superficies: un traitement qui représente la pratique paysanne (PP) et un autre la microdose (MD). Le rendement, le coût et la valeur de la production ont été évalués sur chaque traitement. L'étude a montré une bonne performance de la technologie MD sur les cultures maraîchères avec des économies d'engrais, des avantages de rendements et de la marge brute par rapport à la pratique paysanne. Une deuxième campagne s'avère nécessaire pour pouvoir apprécier les résultats de cette première campagne, en tirer des conclusions et formuler des recommandations.

Mots-clés: Bassin Arachidier, microdose, maraîchage

Microdose, a fertilization technology for sustainable land management and improved vegetable yields in the groundnut basin of Senegal

Abstract

The low availability of nutrients is a major limiting factor for agricultural production in the agrosystems of the Groundnut Basin (GB) of Senegal. Initiatives have been taken to raise the level of soil fertility and, in turn, crop yields in these agrosystems. Among other initiatives, there is the microdose technology used on dry cereals and vegetables to optimize the use of fertilizers and boost yields. The objective of this study is to analyze the agro-economic performance of microdose (MD) on vegetable production. The study was conducted during the 2020-2021 off-season on 2,297 plots of 100 to 200 m² per plot in 96 districts located in the GB. 60 ha were planted: 12 ha of pepper, 22 ha of tomato, 12 ha of okra and 14 ha of eggplant. Each plot was divided into two parts of equal area: one treatment representing the farmer's practice (FP) and another the microdose (MD). The yield, cost and value of production were evaluated for each treatment. The study showed good performance of the MD technology on vegetable crops with fertilizer savings, yield and gross margin advantages over farmer practice. A second cropping season is necessary to be able to appreciate the results of this first campaign, to draw conclusions and to make recommendations.

Keywords: Groundnut Basin, microdose, vegetable crops

INTRODUCTION

Dans le Bassin Arachidier (BA), l'agriculture pluviale est pratiquée avec principalement les cultures de l'arachide et du mil, qui occupent plus de la majorité des superficies (Ricome *et al.*, 2017, Faye *et al.*, 2019). L'arachide était la principale source de revenus de la plupart des exploitations familiales. Cependant, à partir des années 80 les politiques de libéralisation de l'économie et de privatisation imposées par la Banque Mondiale ont conduit à un désengagement de l'État qui subventionnait et supportait cette filière (Ndiaye, 2013). Ce qui n'est pas sans conséquence sur les conditions de production des exploitations familiales et le fonctionnement de la filière arachide. Face à cette situation, les agriculteurs ont adopté des stratégies de diversification avec comme objectif principal de trouver de nouvelles sources de revenus en substitution à l'arachide (Chia *et al.*, 2006). Entre autres, nous avons le développement du maraîchage qui est encouragé par les partenaires au développement et les structures d'encadrement, de vulgarisation et de conseil agricole (Zucchini *et al.*, 2016). Le maraîchage, pratiqué principalement en saison sèche dans cette zone, constitue une source de revenu avec des périmètres orientés vers la

commercialisation. Cette activité participe ainsi à l'accroissement des revenus et par conséquent à la sécurité alimentaire des ménages (Robbiati *et al.*, 2013; Ngom *et al.*, 2015). Cependant, la durabilité du maraîchage dans le BA fait face à de multitudes contraintes telles que la pauvreté et la salinité des sols, l'accès à l'eau, aux intrants et à la fumure organique de qualité et en quantité suffisante, la non-maîtrise des techniques de production, la commercialisation (Robbiati *et al.*, 2013; Zucchini *et al.*, 2016). C'est ainsi que plusieurs initiatives sont prises pour accompagner les agriculteurs à relever ces contraintes et particulièrement le niveau de fertilité des sols pour une amélioration des rendements des cultures dans ces agrosystèmes. Entre autres initiatives il y a la promotion de la technologie de la microdose utilisée sur les céréales sèches et le maraîchage pour optimiser l'utilisation des fertilisants et booster les rendements. Cette étude vise à documenter le comportement de la technologie de la microdose sur les cultures maraîchères dans le BA. Il s'agit d'analyser les performances agro-économiques de la microdose (MD) sur les cultures maraîchères par comparaison à la pratique habituelle des agriculteurs communément appelée la pratique paysanne (PP).

¹ SOCODEVI-Projet Résilience, Kolda, Sénégal

² IFDC Sénégal, Ngor-Dakar, Sénégal

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cadre de l'étude et zonage

Cette étude rentre dans le cadre du projet Feed The Future Dundèl Suuf (DS). Un projet initié par le Centre international de développement des engrais (IFDC) et ses partenaires sénégalais du ministère de l'agriculture, les services techniques en charge de la Recherche et du Développement, de la vulgarisation, le secteur privé des engrais, les organisations paysannes et les partenaires au développement. Ce projet est proposé comme un moyen pour améliorer la fertilisation des sols et augmenter durablement la productivité et la production agricole au Sénégal. C'est ainsi, que le programme de promotion de technologies de fertilisation est mis en œuvre dans différentes zones agroécologiques du pays. Il s'agit des technologies de la microdose (MD) et du placement profond de l'urée (PPU). La technologie MD est appliquée sur les céréales sèches (mil, sorgho, maïs) et les cultures légumières, quant au PPU, il est pratiqué sur le riz. Dans la zone agroécologique du Bassin Arachidier, pendant la contre saison 2020-2021, en partenariat avec la Direction Régionale de Développement Rural (DRDR) de Diourbel et la Direction de Zone Sud du BA de l'Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural (DZ ANCAR-BAS), des parcelles de démonstration de la technologie MD sur les cultures maraîchères ont été mises en place dans les zones d'intervention de ces partenaires (DRDR et ANCAR-BAS). Il s'agit des régions de Diourbel, Fatick, Kaolack et Kaffrine (figure 1), sur 38 communes soit un total de 96 sites ou villages.

Sensibilisation, identification, formation des bénéficiaires et visites guidées

Tout d'abord, une campagne de sensibilisation a été organisée dans les zones d'intervention avec comme objectif d'imprégner les agriculteurs et acteurs locaux sur les activités du projet afin qu'ils puissent adhérer à la mise en œuvre. Il s'en est suivi de l'identification de producteurs leaders porteurs du programme dans leurs zones. A leur tour, ces derniers ont choisi des producteurs bénéficiaires sur la base de critères définies (volontariat, respect des engagements, etc.). Les bénéficiaires ont par la suite été formés sur l'application de la technologie MD sur les cultures maraîchères et aussi sur les bonnes pratiques agricoles. Des visites guidées ont aussi été organisées dans les parcelles de démonstration pendant le cycle de développement des cultures, avec comme objectif le partage d'expérience entre agriculteurs.

Dispositif expérimental et conduite des parcelles de démonstration

2 297 parcelles de 100 à 200 m² par parcelle ont été installées sur 96 périmètres maraîchers dans 38 communes situées

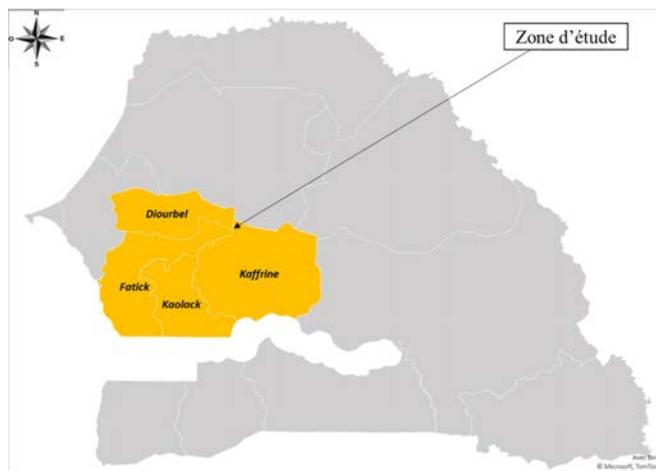


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

dans 8 départements des quatre régions concernées par cette étude (Diourbel, Kaolack, Fatick, Kaffrine) (Tableau 1). 60 ha ont été emblavés au total dont 12 ha de piment, 22 ha de tomate, 12 ha de gombo et 14 ha d'aubergine. Chaque parcelle est divisée en deux parcelles élémentaires d'égales superficies, une partie qui représente la pratique paysanne (PP) et l'autre la parcelle microdose (MD). Ainsi, la microdose a donc été appliquée sur 30 ha dont 6 ha de piment, 11 ha de tomate, 6 ha de gombo et 7 ha d'aubergine.

Matériel végétal

Les variétés utilisées sont: *jaune fort* (piment), *mongal* (tomate), *clemson* (gombo) et *black beauty* (aubergine).

Traitements comparés et entretien de la culture

Chaque parcelle est divisée en deux parcelles élémentaires d'égale superficie, une partie qui représente la pratique paysanne (PP) et l'autre la parcelle microdose (MD). Chaque parcelle constitue ainsi une répétition.

-Pratique paysanne (PP): l'agriculteur gère la parcelle en application de ses pratiques habituelles en termes de fertilisation. Les semences et les produits phytosanitaires sont les mêmes que sur la parcelle microdose.

-Microdose (MD): application de 3,5 g NPK (formule 10-10-20) par plant à 7 jours après repiquage ou levée. Un deuxième apport de la même quantité à 40 jours après repiquage ou levée, soit un apport total de 7 g de NPK (10-10-20) par plant durant le cycle de la culture. Pour le piment, la tomate et l'aubergine, avec un écartement de 50 cm x 50 cm cela équivaut à 280 kg NPK/ha. Quant au gombo, avec un écartement de 80 cm x 40 cm, la dose d'engrais NPK apportée est de 219 kg/ha. L'engrais est combiné avec de la fumure organique à la dose de 5 à 10 t/ha.

Après 4 à 6 semaines d'élevage en pépinière, les plants de piment, tomate et aubergine sont repiqués sur les parcelles

Tableau 1: Situation des périmètres maraîchers ou sites dans lesquels l'étude a été effectuée

Région	Département	Commune	Nombre de sites/ périmètres	Nombre de producteurs
Diourbel	Diourbel	Ngohé, Touré Mbonde Touré Ndoulo, Diourbel, Patar	9	178
Diourbel	Bambey	Ngogom, Ndangalma, Baba Garage, Lambaye, Réfane	5	267
Diourbel	Mbacké	Missirah, Affé, Ndok, Taif, Sadio, Guerlé	6	221
Kaolack	Kaolack	Keur Socé, Dya, Gandiaye, Sibassor	10	49
Kaolack	Nioro du Rip	Kayemor, Médina Sabakh, Porokhane, Paoskoto, Darou Salam, Taïba Niassène, Wack Ngouna, Keur Maba, Ndrané Escale	24	575
Kaolack	Guinguinéo	Mbadakhoune	1	10
Fatick	Foundiougne	Keur Samba Guèye, Toubacouta, Karang, Keur Saloum Diané, Nioro Alassane Tall	34	590
Kaffrine	Kaffrine	Kahi, Diocoul Mbelbouck	7	407
Total			96	2 297

avec des écartements de 50 cm x 50 cm soit une densité de 40 000 plants/ha. Pour le gombo, le semis direct est effectué à raison de 2-3 grains par poquet avec un écartement de 80 cm x 40 cm soit une densité de 31 250 plants/ha. Un démariage est effectué à raison de 1 plant par poquet à environ 3 semaines après le semis du gombo. Pour l'entretien de la culture, la recommandation concernant le désherbage et la protection phytosanitaire a été appliquée sur toutes les parcelles.

Observation et mesures

Avant la mise en place du dispositif, les parcelles des bénéficiaires ont été géoréférencées et les superficies mesurées à l'aide de GPS (Global Positioning System). Sur chaque parcelle, pour chacun des traitements comparés, les dates des différentes opérations culturales ont été répertoriées ainsi que les quantités et coûts des intrants utilisés (semence, engrais, produits phyto, fumure organique). De même, les coûts de l'irrigation et de la main d'œuvre pour les opérations culturales (préparation sol, semis, désherbage, épandage engrais, récolte...) ont été estimés à partir des enquêtes auprès des agriculteurs concernés. Les récoltes sur le cycle cultural ont été évaluées, ce qui a permis de déterminer la production et le rendement de la culture sur chaque traitement. Les quantités vendues et les prix de vente ont aussi été recueillis pour les besoins du compte d'exploitation.

Analyses statistiques

Les analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées avec le logiciel STATISTICA (Stat Soft. Inc. (2007)) pour évaluer l'effet des traitements sur le rendement. Quand un effet significatif d'un facteur a été déterminé, la comparaison des moyennes est effectuée en utilisant le test de Student Newman Keuls avec un seuil de significativité de 5 %.

Tableau 2: Réalisations en termes d'indicateurs

Activités	Hommes	Femmes	Jeunes	Total
Sensibilisation	429	452	42	881
Formation	863	1 814	517	2 677
Visites guidées	54	10	00	64
Total participants	1 346	2 276	559	3 622
Ceux qui ont participé à la démonstration de la technologie MD	751	1 546	228	2 297

Tableau 3: Performances agro-économiques de la MD sur piment (moyenne pour 1 hectare)

	MD	PP	Différence (MD-PP)
Coût Préparation du sol (labour, planage, ...)	67 434	67 434	0
Coût semence	7 900	7 900	0
Coût Irrigation	334 398	334 398	0
Quantité NPK (kg)	280	443	-163
Coût total engrais NPK	83 675	128 459	-44 784
Coût produits phytosanitaires	132 156	132 156	0
Coût Matière organique	81 481	81 481	0
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.)	384 767	317 053	67 714
Total dépenses (a)	1 091 810	1 068 880	22 930
Production (kg)	5 936	4 474	1 462
Valeur Production (FCFA) (b)	8 483 806	5 375 406	3 108 400
Marge (FCFA) (= b - a)	7 391 996	4 306 526	3 085 470

RÉSULTATS

Participants au programme de promotion de la technologie MD

Le tableau 2 présente le nombre de personnes ayant participé aux différentes activités de promotion de la technologie microdose sur le maraîchage pendant la campagne de contre saison 2020-2021. Au total, 3 622 personnes, dont 63% de femmes et 15% de jeunes, ont participé aux différentes activités du programme (sensibilisation, formation, visites guidées) dans les régions de Diourbel, Fatick, Kaolack et Kaffrine. Par ailleurs, 67% de femmes et 9% de jeunes ont participé à l'application de la technologie MD sur les cultures maraîchères au niveau de leurs parcelles.

Performances agro-économiques de la microdose

Les rendements des différentes spéculations (piment, tomate, gombo et aubergine) en fonction des traitements (PP et MD) sont présentés dans la figure 2. Les performances économiques de la MD sur les différentes ces différentes spéculations sont présentées dans les tableaux 3 à 6.

Sur le piment et la tomate, le rendement ne varie pas significativement entre la MD et la PP même s'il est plus élevé avec la MD. Alors que sur le gombo et l'aubergine, le rendement est significativement plus élevé avec la MD. Le rendement du piment est de 5 936 kg/ha avec la MD contre 4 474 kg/ha avec la PP (Figure 2), soit un gain de rendement de 33% avec la MD.

Une économie d'engrais de 37% et une marge brute de 72% ont été enregistrés avec la technologie MD par comparaison à la PP (Tableau 3). Le rendement moyen sous MD de la tomate de 23 773 kg/ha est supérieur à celui obtenu avec la PP de

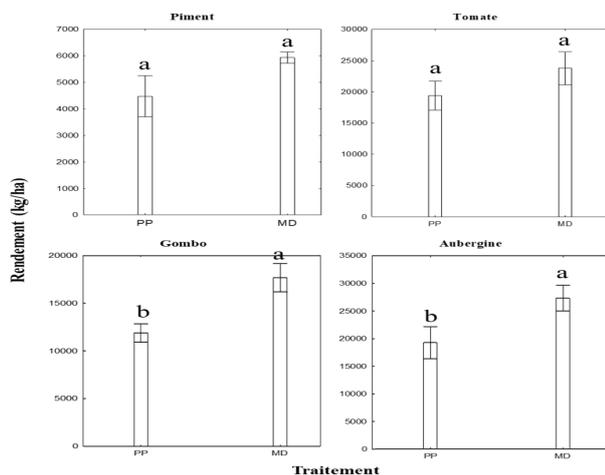


Figure 2: Rendements piment, tomate, gombo et aubergine en fonction des traitements. MD: microdose; PP: pratique paysanne

l'ordre de 19 388 kg/ha. La MD permet donc de faire un gain de rendement de 23% par rapport à la PP sur la tomate.

De plus, la MD sur la tomate permet de réaliser une économie d'engrais NPK de 31% et une marge brute de 74% (Tableau 4). Le rendement du gombo est significativement plus élevé avec la MD par comparaison à la PP, avec 17 660 kg/ha et 11 877 kg/ha respectivement, soit un gain de rendement de 49%. Une économie d'engrais de 20% NPK et une marge brute de 128% sur le gombo est aussi enregistré pour le compte de la MD (tableau 5). Comme pour le gombo, la fertilisation par microdose a eu un effet significatif sur le rendement de l'aubergine : 27 348 kg/ha avec la MD contre 19 258 kg/ha pour la PP, soit un gain de rendement de 42%. Une économie d'engrais NPK de 22% et une marge brute de 81% ont été réalisées avec la MD par rapport à la PP (tableau 6). Le coût de la production est cependant plus élevé avec la MD.

Tableau 4: Performance agro-économique de la MD sur tomate (moyenne pour 1 hectare)

	MD	PP	Différence MD-PP)
Coût Préparation du sol (labour, planage, ...)	251 277	251 277	0
Coût semence	98 510	98 510	0
Coût Irrigation	910 644	926 364	-15 720
Quantité NPK (kg)	280	406	-126
Coût total engrais NPK	66 411	118 976	-52 565
Coût produits phytosanitaires	273 716	284 243	-10 527
Coût Matière organique	413 069	267 934	145 135
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.)	2 328 146	2 217 432	110 714
Total dépenses (a)	4 341 775	4 164 736	177 039
Production (kg)	23 773	19 388	4 385
Valeur Production (FCFA) (b)	7 025 304	5 709 746	1 315 558
Marge (FCFA) (= b - a)	2 683 529	1 545 011	1 138 518

Tableau 5: Performance agro-économique de la MD sur gombo (moyenne pour 1 hectare)

	MD	PP	Différence (MD-PP)
Coût Préparation du sol (labour, planage, ...)	206 487	193 452	13 035
Coût semence	79 808	79 808	0
Coût Irrigation	826 315	871 042	-44 727
Quantité NPK (kg)	219	274	-55
Coût total engrais NPK	53 522	95 182	-41 660
Coût produits phytosanitaires	175 032	176 073	-1 041
Coût Matière organique	315 883	221 169	94 714
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.)	1 646 012	1 620 982	25 030
Total dépenses (a)	3 303 059	3 257 709	45 350
Production (kg)	17 660	11 877	5 783
Valeur Production (FCFA) (b)	8 435 676	5 511 094	2 924 582
Marge (FCFA) (= b - a)	5 132 617	2 253 385	2 879 232

Tableau 6: Performance agro-économique de la MD sur aubergine (moyenne pour 1 hectare)

	MD	PP	Différence (MD-PP)
Coût Préparation du sol (labour, planage, ...)	144 341	133 230	11 111
Coût semence	22 645	22 645	0
Coût Irrigation	768 713	803 435	-34 722
Quantité NPK (kg)	280	360	-80
Coût total engrais NPK	78 176	122 366	-44 190
Coût produits phytosanitaires	94 187	94 187	0
Coût Matière organique	93 184	45 267	47 917
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.)	1 015 075	735 758	279 317
Total dépenses (a)	2 216 321	1 937 556	278 765
Production (kg)	27 348	19 258	8 090
Valeur Production (FCFA) (b)	7 794 683	5 022 889	2 771 794
Marge (FCFA) (= b - a)	5 578 362	3 085 333	2 493 029

DISCUSSION

Cette étude a permis de renforcer les capacités de 2 677 agriculteurs du Bassin arachidier sur la technologie de la microdose (MD) sur les cultures maraîchères et sur les bonnes pratiques agricoles allant de la préparation du sol, en passant par la mise en pépinière, au repiquage ou semis direct, à la fertilisation localisée jusqu'à la récolte. Les visites guidées ont permis le partage d'expérience, en particulier sur la pratique de la microdose, entre producteurs bénéficiaires eux même et aussi avec des non-bénéficiaires du programme de promotion de la technologie MD. Il y a une forte implication des femmes (63%) aux différentes activités du programme de promotion de la technologie MD sur le maraîchage.

La technologie de la microdose, malgré l'utilisation moindre d'engrais a enregistré des rendements avantageux par rapport à la pratique paysanne sur les spéculations utilisées (piment, tomate, gombo, aubergine), avec des gains de rendements de 23 à 49% et des marges brutes de 72 à 128%. Cela pourrait être lié à l'apport localisé de l'engrais en combinaison avec de la fumure organique, ce qui réduit les risques de pertes de nutriments et permet une meilleure efficacité de l'engrais comme rapporté par la FAO (2012). Les rendements en piment (5 936 kg/ha) et tomate (23 773 kg/ha) avec la MD sont faibles comparés aux valeurs de 6 000 à 20 000 kg/ha et 35 000 à 45 000 kg/ha respectivement rapportées par Tropicasem (spécialisée dans la sélection et la production de semences maraîchères tropicales) pour les mêmes variétés utilisées (Tropiculture, 2017). Il y a donc une marge à gagner avec la technologie sur le piment et la tomate. Cependant, la valeur que nous avons obtenu sur le piment est légèrement supérieur au rendement (4 800 kg/ha) de la spéculation au niveau national avec la MD (IFDC, 2021). Le rendement (27 348 kg/ha) de l'aubergine obtenu avec la MD se situe dans la gamme de 20 000 à 30 000 kg/ha rapportée par Tropicasem pour la même variété *black beauty* (Tropiculture, 2017). Cependant, ce rendement de l'aubergine dépasse largement la valeur (7 200 kg/ha) obtenu au niveau national avec la MD (IFDC, 2021). Le rendement du gombo (17 660 kg/ha) avec la MD est supérieur à la gamme de 8000 à 10 000 kg/ha indiquée toujours par Tropicasem pour la variété utilisée *climson* (Tropiculture, 2017). De même, ce rendement du gombo est de loin supérieur à la valeur de 7 800 kg/ha obtenu au niveau national avec la MD (IFDC, 2021).

Par ailleurs, le coût de la production plus élevé avec la MD s'explique par les charges importantes de la main d'œuvre et particulièrement de l'application manuelle de l'engrais avec cette technologie. Ainsi, il convient d'améliorer le mode d'application de l'engrais avec la technologie MD à travers la mécanisation (applicateurs), ce qui pourrait réduire la charge de travail.

CONCLUSION

Cette étude qui rentre dans le cadre du programme de promotion de la technologie de la microdose au Sénégal et particulièrement dans le Bassin Arachidier a permis de renforcer la capacité des producteurs sur l'application de la technologie sur le maraîchage et les bonnes pratiques agricoles. La technologie MD s'est bien comportée sur les cultures maraîchères que nous avons utilisée dans le cadre de cette étude (piment, tomate, gombo, aubergine)

avec des rendements avantageux par rapport à la pratique paysanne. Elle permet de faire une économie d'engrais et une marge brute positive.

Toutefois, des contraintes doivent être levées pour une meilleure performance de la technologie MD dans la zone d'étude. Il s'agit entre autres de l'accès à l'eau et un bon système d'irrigation, l'accès à la fumure organique de qualité et en quantité suffisante, de la mécanisation de l'application localisée de l'engrais.

En guise de perspective, il est nécessaire de reconduire le dispositif expérimental pour une deuxième année afin d'apprécier les résultats obtenus lors de cette première année et formuler des recommandations.

RÉFÉRENCES

- Chia E., Dugué P., Sakho-Jimbira S. (2006). Les exploitations agricoles familiales sont-elles des institutions ? *Cahiers Agricultures*, 15: 498-505.
- FAOSATAT (2022). <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>. Consulté le 19/05/2022
- Faye N. F., Sall M., Affholder F., Gerard F. (2019). Inégalités de revenu en milieu rural dans le bassin arachidier du Sénégal. *Papiers de Recherche AFD*, 115: 54p.
- IFDC (2021). Feed The Future Senegal Dundël Suuf Project. 2021 Annual report. 33 p.
- Ndiaye A. (2013). L'agriculture sénégalaise de 1958 à 2012. Analyse systémique et prospective. 224 p.
- Ngom Y., Touré K., Fall O., Faye A. (2015). Études de la commercialisation des produits horticoles dans les régions de Thiès, Diourbel et Fatick: offre, demande, configuration des marchés et analyse économique et financière de la production et de la commercialisation. Rapport Papsen, 88 p.
- Ricome A., Affholder F., Gérard F., Muller B., Poeydebat C., Quirion P., Sall M. (2017). Are subsidies to weather-index insurance the best use of public funds? A bio-economic farm model applied to the Senegalese groundnut basin. *Agric. Syst.*, 156: 149-176.
- Robbiati G., Faye A., Ngom Y., Ngom M., Valori F. (2013). Exploitations horticoles avec irrigation goutte-à-goutte dans le Bassin Arachidier. Rapport Papsen, 5: 27p.
- Tropiculture (2017). Nouvelles et nouveautés: la variété d'aubergine européenne F1 African Black Beauty. *Mensuel Technique-Edition Tropicasem*, 253: 8p.
- Zucchini E., Faye A., Ngom Y., Diémé R. (2016). Analyse de la durabilité des exploitations maraîchères dans le Bassin Arachidier à travers la méthode IDEA. Rapport Papsen, 26: 38p.

Performances de la fertilisation par microdose sur les céréales sèches dans le Bassin Arachidier au Sénégal

A. TOUNKARA¹, M. D. FAYE², C. A. B. NGOM², S. SARR², N. NDIAYE², A. M. SECK²

(Reçu le 25/01/2023 Accepté le 27/02/2023)

Résumé

Dans un contexte de changement climatique et de dégradation des sols, plusieurs initiatives sont entreprises à travers l'utilisation de technologies de fertilisation, telle que la microdose (MD), pour améliorer la fertilité des sols et booster les rendements des cultures dans les agrosystèmes du Bassin Arachidier (BA) au Sénégal. L'objectif de cette étude est d'analyser les performances agronomiques et économiques de la MD sur les céréales sèches (mil, sorgho) dans le BA. L'étude a été menée en 2020 et 2021 pendant la saison des pluies sur un total de 1 324 parcelles de démonstration de la technologie MD. Dans chaque parcelle de démonstration, deux traitements ont été comparés à savoir la MD et la pratique paysanne (PP). Le rendement, le coût et la valeur de la production ont été évalués sur chacun des deux traitements. Pour les deux années de l'étude, les résultats ont montré des hausses de rendements de la MD par rapport à la PP, jusqu'à 37% sur le mil et 41% sur le sorgho. La marge brute de la MD a connu une hausse d'au moins 134% par rapport à la PP sur le mil et au moins 18% sur le sorgho. Ainsi, pour une adoption à large échelle de la MD, des contraintes doivent être levées, notamment l'accès difficile à la fumure organique et minérale de qualité et en quantité et l'absence de mécanisation de l'application localisée de l'engrais.

Mots-clés: Bassin Arachidier, microdose, céréales, performance

Performance of fertilizer microdosing on dry cereals in the Groundnut Basin of Senegal

Abstract

In a context of climate change and soil degradation, several initiatives are being undertaken through the use of fertilization technologies, such as microdose (MD), to improve soil fertility and boost crop yields in the agrosystems of the Groundnut Basin (GB) in Senegal. The objective of this study is to analyze the agronomic and economic performance of MD on dry grains (millet, sorghum) in the GB. The study was conducted in 2020 and 2021 during the rainy season on a total of 1,324 demonstration plots of the MD technology. In each demonstration plot, two treatments were compared, MD and farmer's practice (FP). Yield, cost, and value of production were evaluated on each of the two treatments. For both years of the study, results showed yield increases of up to 37% for millet and 41% for sorghum with MD compared to FP. The gross margin of the MD increased by at least 134% over FP on millet and at least 18% on sorghum. Thus, for large-scale adoption of MD, constraints must be overcome, notably the difficult access to quality and quantity of organic and mineral fertilizer and the lack of mechanization of localized fertilizer application.

Keywords: Groundnut Basin, microdose, cereals, performance

INTRODUCTION

À l'image de la plupart des zones agro-écologiques du Sénégal, l'agriculture dans le Bassin Arachidier (BA) est essentiellement pluviale et saisonnière. Elle est de type familial où la plupart des petites exploitations associent cultures de rente (arachide, coton) et cultures vivrières de subsistance (mil, sorgho, maïs), tout en pratiquant un élevage extensif (Sall, 2015; Faye *et al.*, 2019). Dans un contexte de fortes mutations et de crises des sociétés rurales, marquées en particulier par les politiques de libéralisation de l'économie et de privatisation axées sur le désengagement de l'État de la filière agricole dans les années 80, l'arachide, principale culture de rente, connaît des fluctuations continues. Cela a entraîné des conséquences sur les conditions de production des exploitations familiales et le fonctionnement de la filière arachide (Ndiaye, 2013; Gning, 2010). La logique de production connaît ainsi une mutation importante avec la baisse des superficies cultivées en arachide au profit des céréales (mil, sorgho, maïs) et en particulier dans le nord du BA (Gning, 2010). Cette mutation s'est traduite par une plus grande diversification vers des produits vivriers comme les céréales (mil, sorgho, maïs), le sésame, le manioc et dans une moindre mesure le niébé et le bissap (Oseille de Guinée) afin de mieux répondre à la demande des marchés (Gning, 2010). Ces céréales (mil, sorgho,

maïs) constituent l'aliment de base des populations du monde rural. Cependant, les rendements restent faibles par rapport au potentiel des variétés actuellement recommandées par la recherche (CEDEAO *et al.*, 2016).

La baisse constante du niveau de fertilité des sols, décriée par les producteurs et particulièrement la disponibilité des nutriments, est suggérée comme étant le facteur limitant majeur de la production agricole dans le BA, malgré les contraintes hydriques (Affholder *et al.*, 2013; Toukara *et al.*, 2020). Face à cette situation, la capacitation des producteurs sur les bonnes pratiques agricoles, et particulièrement les techniques de fertilisation des sols, pourrait être une voie importante pour l'amélioration de la fertilité des sols et par ricochet l'augmentation de la productivité agricole. En effet, plusieurs initiatives sont entreprises dans ce sens à travers les projets et programmes de recherche-développement.

Entre autres initiatives, nous avons la technologie de la microdose qui est utilisée sur les céréales sèches et le maraîchage pour optimiser l'utilisation des engrais et booster les rendements des cultures (IFDC, 2020; 2021). Cette étude vise à analyser les performances agronomiques et financières de la technologie microdose (MD) sur les céréales sèches (mil, sorgho) par comparaison à la pratique habituelle des agriculteurs communément appelée pratique paysanne (PP) dans le Bassin Arachidier du Sénégal.

¹ SOCODEVI-Projet Résilience, Kolda, Sénégal

² IFDC Sénégal, Ngor-Dakar, Sénégal

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cadre de l'étude

Cette étude rentre dans le cadre du projet Feed The Future Dundël Suuf (DS). Un projet initié par le Centre international de développement des engrais (IFDC) et ses partenaires sénégalais du ministère de l'agriculture, les services techniques en charge de la Recherche et du Développement, de la vulgarisation, le secteur privé des engrais, les organisations paysannes et les partenaires au développement. Ce projet est proposé comme un moyen pour améliorer la fertilisation des sols et augmenter durablement la productivité et la production agricole au Sénégal. C'est ainsi, que le programme de promotion de technologies de fertilisation est mis en œuvre dans différentes zones agro-écologiques du pays. Il s'agit des technologies de la microdose (MD) et du placement profond de l'urée (PPU). La technologie MD est appliquée sur les céréales sèches (mil, sorgho, maïs) et les cultures légumières, quant au PPU, il est pratiqué sur le riz.

Zone d'étude et caractéristiques pédoclimatiques

L'étude a été menée en 2020 et 2021 pendant la saison des pluies dans 14 départements (Louga, Kébémér, Thiès, Tivaouane, Mbour, Diourbel, Bambey, Mbacké, Fatick, Foundiougne, Kaolack, Nioro du Rip, Kaffrine, Koungheul) (figure 1) dans 06 régions administratives (Thiès, Louga, Diourbel, Fatick, Kaolack et Kaffrine) situées la zone agroécologique du Bassin Arachidier (BA).

La zone d'étude se caractérise par une pluviométrie de juin à octobre qui varie entre 400 et 600 mm dans le nord et 600 à 800 mm dans le sud (Sall, 2015). Selon le micro-relief, deux types de sols peuvent être distingués: 1) les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, appelés par les agriculteurs sols dior, plus répandus, contiennent plus de 95% de sable et une faible teneur en argile et en matière organique; 2) les sols ferrugineux tropicaux lessivés appelés sols dek, avec 85-90% de sable et une teneur en matière organique supérieure à celle des sols dior mais inférieure à 1%. Ces derniers,

situés dans les dépressions, contiennent plus d'argile (3 à 8%) (Badiane-Ndour *et al.*, 2020; Badiane *et al.*, 2000).

Choix des producteurs porteurs des sites de démonstration

Tout d'abord, une campagne de sensibilisation a été organisée dans les zones d'intervention avec comme objectif imprégner les agriculteurs et acteurs locaux sur les activités du projet afin qu'ils puissent adhérer à sa mise en œuvre. Il s'en est suivi l'identification de producteurs leaders porteurs du programme dans leurs zones. A leur tour, ces derniers ont choisi des producteurs bénéficiaires sur la base de critères que sont: le volontariat, la mise à disposition de parcelles pour les démonstrations des technologies MD, l'engagement à respecter les itinéraires techniques, etc. Les bénéficiaires ont par la suite été formés sur l'application de la technologie MD sur les céréales sèches et aussi sur les bonnes pratiques agricoles. Des visites guidées ont été organisées dans les parcelles de démonstration pendant le cycle de développement des cultures, pour partage d'expérience entre agriculteurs.

Dispositif expérimental et conduite des démonstrations de la technologie MD

En 2020, 772 parcelles de démonstration de la technologie microdose (MD) sur les céréales (mil, sorgho) ont été mises en place dans 36 sites ou villages dans 11 départements (Louga, Kébémér, Tivaouane, Thiès, Mbour, Foundiougne, Diourbel, Bambey, Mbacké, Nioro du Rip, Kaffrine). Au total, 551 ha ont été emblavés dont 710 parcelles de mil de 524 ha et 62 parcelles de sorgho de 27 ha.

En 2021, 552 parcelles de démonstration de la technologie MD sur les céréales (mil, sorgho) ont été installées dans 22 sites ou villages dans 10 départements (Kébémér, Thiès, Tivaouane, Mbour, Diourbel, Bambey, Fatick, Foundiougne, Kaolack, Koungheul). Ces démonstrations ont été effectuées sur un total de 514 ha dont 90 parcelles de mil de 513 ha et 05 parcelles de sorgho de 1,2 ha.

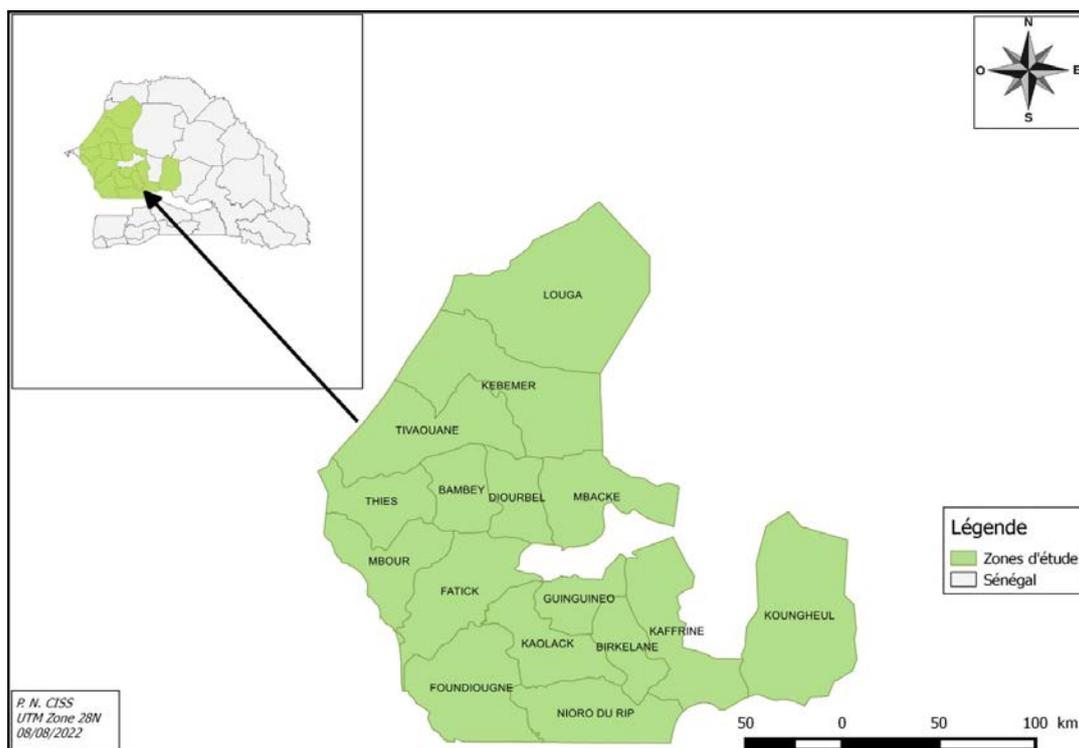


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Matériel végétal

Les variétés utilisées sur toutes les parcelles pour le mil (*Pennisetum glaucum*) et le sorgho (*Sorghum bicolor*) sont:

- Mil: Thialack 2 (durée du cycle: 95 jours)
- Sorgho: Faourou (durée du cycle: 70 jours)

Les semences de ces variétés, mises à la disposition des agriculteurs par le projet Dundël Suuf, et ont été utilisées sur toutes les parcelles.

Traitements comparés et entretien de la culture

Chaque parcelle est divisée en deux parties d'égales superficies, une sur laquelle le producteur applique sa pratique habituelle (PP) et une sur laquelle on applique la microdose (MD). Chaque parcelle constitue ainsi une répétition.

- **Pratique paysanne (PP):** l'agriculteur gère la parcelle en appliquant ses pratiques habituelles en termes de fertilisation.
- **Microdose (MD):**

Sur le mil: application de 3 g NPK (formule 15-10-10) par poquet à 10 jours après la levée et 2 g d'urée (46-0-0) à 30 jours après la levée. Avec un écartement de 90 cm x 90 cm, cela correspond à une densité de 12 346 poquets/ha, soit une quantité d'engrais NPK de 38 kg/ha et de 24 kg/ha d'urée.

Sur le sorgho: application de 2 g NPK (formule 15-10-10) par poquet à 10 jours après la levée et 2 g d'urée (46-0-0) à 30 jours après la levée. Avec un écartement de 80 cm x 40 cm, cela correspond à une densité de 31 250 poquets/ha, soit une quantité d'engrais NPK de 62,5 kg/ha et de 62,5 kg/ha d'urée.

En plus de l'engrais minéral, de la fumure organique a été recommandée sur microdose à la dose de 5 t/ha au moins. Cependant, avec la production limitée, chaque agriculteur a apporté ce qui était à sa disposition.

Un démariage à 3 plants/poquet est effectué entre 7-10 jours après la levée sur le mil et le sorgho. 2 à 3 sarclages ont été effectués durant le cycle de développement des cultures.

Observation et mesures

Sur chaque parcelle, pour chacun des traitements comparés, les dates des différentes opérations culturales ont été répertoriées ainsi que les quantités et coûts des intrants utilisés (semence, engrais, fumure organique). Les coûts de la main d'œuvre pour les opérations culturales (préparation sol, semis, sarclage, épandage engrais, récolte) ont été évalués à partir des enquêtes auprès des agriculteurs concernés. Lors de la première année en 2020, les rendements grains des cultures ont été évalués sur chaque traitement à la récolte et sur l'ensemble des parcelles. En 2021 (deuxième année), l'évaluation du rendement grains a été effectuée sur la base d'un échantillonnage. Le rendement grains a été évalué sur un échantillon de 138 parcelles (choisies au hasard dans les différents sites), soit 25% de l'ensemble des parcelles de démonstration. Le prix de vente du kilogramme du produit à la récolte a aussi été répertorié.

Tableau 1: Participants aux démonstrations de la MD sur céréales sèches dans le Bassin Arachidier en 2020 et 2021 Démo = Démonstration

Participants	2020				2021			
	Sensibilisation	Formation	Visites d'échange	Démo	Sensibilisation	Formation	Visites d'échange	Démo
Hommes	694	635	429	602	1314	1308	425	1208
Femmes	357	326	131	310	1153	1041	340	832
Jeunes	63	55	46	54	161	131	77	61
Total	1051	961	560	912	2467	2349	765	2040

La marge brute (MB) a été calculée afin d'apprécier la rentabilité financière de la technologie MD, selon la formule suivante:

$$MB = VP - D$$

MB: marge brute en FCFA. **VP:** valeur de la production, c'est la valeur monétaire des produits récoltés (en FCFA). **D:** dépenses totales liées à l'achat d'intrants, les coûts de la main d'œuvre liés à la préparation du sol et aux différentes opérations culturales.

Analyses statistiques

Les analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées avec le logiciel STATISTICA (Stat Soft. Inc. (2007)) pour évaluer l'effet des traitements sur le rendement. Quand un effet significatif d'un facteur a été déterminé, la comparaison des moyennes est effectuée en utilisant le test de Student Newman Keuls avec un seuil de significativité de 5 %.

RÉSULTATS

Participants au programme de promotion de la technologie MD

Le tableau 1 présente le nombre de personnes ayant participé aux différentes activités de promotion de la technologie microdose (MD) pendant la campagne hivernage de 2020 et de 2021. Au total, 8153 personnes, dont 59% d'hommes, 41% de femmes et seulement 6% de jeunes, ont participé aux différentes activités du programme (sensibilisation, formation et visites guidées sur les parcelles) dans la zone d'étude. Sur les 2 952 personnes ayant participé à la démonstration de la technologie sur les parcelles de mil et sorgho, nous avons 61% d'hommes, 39% de femmes et seulement 4% de jeunes.

Performances agronomiques de la technologie microdose

Les rendements grains moyens des différentes spéculations (mil, sorgho) en fonction des traitements (PP et MD) pour les années 2020 et 2021 sont présentés dans les figures 2 et 3.

En 2020, les analyses statistiques montrent une différence significative des rendements du mil et du sorgho entre les traitements microdose (MD) et pratique paysanne (PP). Le rendement du mil est de 820 kg/ha avec la MD contre 598 kg/ha avec la PP, soit un gain de rendement de 37% avec la MD. Le rendement du sorgho de 1 593 kg/ha sous MD contre 1 126 kg/ha sous PP, soit un surplus de rendement de 41% pour la MD (Figure 2).

En 2021, avec la démonstration, nous avons une variation des rendements grains du mil et du sorgho en fonction des traitements MD et PP. Cependant, les différences de rendements sont significatives seulement dans le cas du mil. Le rendement grains du mil est de 1 308 kg/ha sous MD contre 950 kg/ha sous PP, soit un surplus de rendement de 38% pour la MD. Pour le sorgho, le rendement grains sous MD est de 1 432 kg/ha contre 1 252 kg/ha sous PP, soit un gain de rendement de 14% seulement avec la MD (Figure 3).

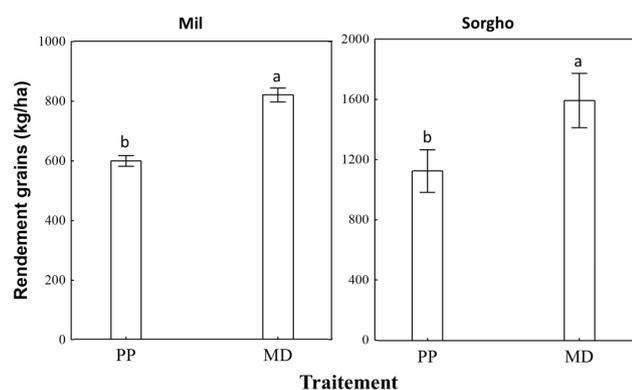


Figure 2: Rendements mil et sorgho des parcelles de démonstration de la microdose en 2020.

MD: microdose; PP: pratique paysanne

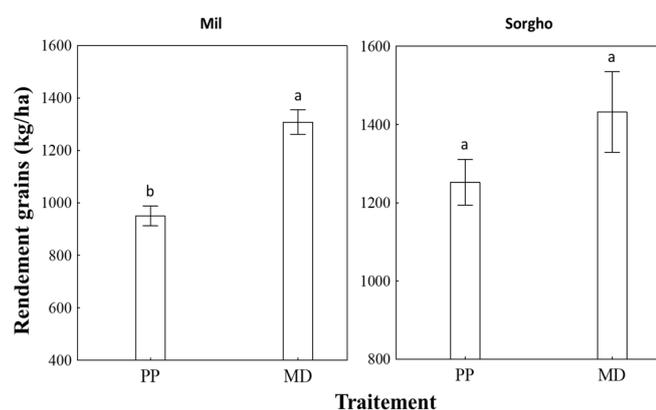


Figure 3: Rendements mil et sorgho des parcelles de démonstration de la microdose en 2021.

MD: microdose; PP: pratique paysanne

Performances financières de la technologie microdose

Les performances financières de la technologie microdose sur le mil et le sorgho sont présentées dans les tableaux 2 et 3 respectivement pour l'année 2020 et les tableaux 4 et 5 pour l'année 2021.

En 2020, la quantité d'engrais apportés sur le mil avec la MD est de 38 kg/ha de NPK + 24 kg/ha d'urée contre 105 kg/ha NPK + 66 kg/ha d'urée avec la pratique paysanne, soit une économie d'engrais de 64% de NPK et d'urée avec la MD. Le coût de la production du mil à l'hectare sous MD avoisine celui de la PP, avec une différence de 2 662 FCFA de plus pour la PP. Toutefois, la MD a permis de réaliser un gain économique de 134% par rapport à la PP sur le mil (Tableau 2).

Pour le sorgho, en 2020, la quantité d'engrais utilisée avec la MD est de 62,5 kg/ha de NPK + 62,5 kg/ha d'urée contre 115 kg/ha NPK + 130 kg/ha d'urée avec la pratique paysanne, soit une économie d'engrais de 46% de NPK et 52% d'urée avec la MD. Le coût de la production du sorgho ne varie pas beaucoup entre les deux pratiques (MD et le PP), avec une différence seulement de 2 500 FCFA. La MD a réalisé un gain financier de 93% par rapport à la PP avec la production de sorgho (Tableau 3).

En 2021, les quantités d'engrais NPK et d'urée apportées sur le mil avec la technique de la MD sont de l'ordre de 38 et 24 kg/ha respectivement contre 123 et 80 kg/ha avec la PP, soit une économie d'engrais de 69% de NPK et de 70% d'urée avec la MD. Malgré le coût de la main d'œuvre plus élevé lié à l'application manuelle, la technologie MD a permis de réaliser sur le mil un gain financier de 157% par rapport à la PP (Tableau 4). Sur le sorgho, la MD réalise un gain financier de 18% (Tableau 5).

Tableau 2: Performance financière de la microdose sur le mil (sur 1 hectare) en 2020

Rubriques	PP	MD	(MD – PP)
Coût préparation du sol avant semis (FCFA)	18 825	18 825	0
Quantité semence (kg)	4	4	0
Coût semence (FCFA)	2 000	2 000	0
Quantité Urée (kg)	66	24	-42
Quantité NPK (kg)	105	38	-67
Coût total engrais (FCFA)	51 300	18 600	-31 416
Coût matière organique (FCFA)	20 000	20 000	0
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.) (FCFA)	100 533	130 895	50 362
Coût de la production (a)	192 658	190 320	-2 338
Production (kg)	598	820	222
Valeur de la production (FCFA) (b)	149 497	204 922	55 425
Marge brute (FCFA) (= b – a)	-43 160	14 602	57 763

Tableau 3: Performance financière de la microdose sur le sorgho (sur 1 hectare) en 2020

Rubriques	PP	MD	(MD – PP)
Coût préparation du sol avant semis (FCFA)	16 600	16 600	0
Quantité semence (kg)	8	8	0
Coût semence (FCFA)	4 800	4 800	0
Quantité Urée (kg)	130	62	-67
Quantité NPK (kg)	115	62	-52
Coût total engrais (FCFA)	73 500	36 000	-37 500
Coût matière organique (FCFA)	15 000	15 000	0
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.)	80 500	120 500	40 000
Coût de la production (a)	190 400	192 900	2 500
Production (kg)	1 126	1 593	467
Valeur de la production (FCFA) (b)	337 737	477 822	140 085
Marge brute (FCFA) (= b – a)	147 337	284 922	137 585

DISCUSSION

Au total 2 952 agriculteurs dont 39% de femmes ont participé au programme de démonstration de la technologie MD sur le mil et le sorgho dans le Bassin Arachidier.

Les résultats montrent qu'avec la MD les producteurs de la zone d'étude peuvent faire des économies d'engrais jusqu'à 64% des quantités jadis utilisées à l'hectare. Autrement dit, ils utilisent seulement 36% des doses qu'ils ont l'habitude d'appliquer. En plus d'une utilisation moindre d'engrais, la MD a enregistré des gains de rendements de 14 à 41% et des marges brutes de 18 à 157% par rapport à la PP, en fonction de la spéculation (mil, sorgho) et de l'année (2020, 2021). Cela pourrait être lié à l'apport localisé de l'engrais avec la technologie MD en plus de la combinaison avec la fumure organique, ce qui réduit les risques de pertes de nutriments permettant une meilleure efficacité de l'engrais et une amélioration des rendements comme rapporté par la FAO (2012). Cependant, les rendements obtenus dans le cadre de cette étude sont supérieurs à ceux obtenus au niveau national avec la MD de l'ordre de 900 kg/ha sur le mil et 1 750 kg/ha sur le sorgho (IFDC, 2021). Par ailleurs, nos rendements en mil et sorgho sous MD sont supérieurs aux rendements moyens des producteurs au niveau national pour les mêmes années, sauf pour le mil en 2020. Ces rendements des producteurs sont de l'ordre de 1 119 et 1 074 kg/ha pour le mil en 2020

et 2021; 1 357 et 1 327 kg/ha pour le sorgho respectivement (FAOSTAT, 2023).

Le coût de la production plus élevé pour la MD s'explique par les charges liées à la main d'œuvre et particulièrement l'application manuelle de l'engrais avec cette technologie. Il convient ainsi d'améliorer le mode d'apport de l'engrais à travers des applicateurs mécanique, ce qui va réduire la pénibilité de cette opération culturale.

CONCLUSION

Cette étude qui rentre dans le cadre du programme de promotion de la technologie de la microdose au Sénégal et particulièrement dans le Bassin Arachidier a permis de renforcer la capacité des producteurs sur les bonnes pratiques agricoles et sur l'application de la technologie microdose sur les céréales sèches (mil, sorgho). La technologie MD s'est bien comportée sur ces céréales avec des rendements avantageux par rapport à la pratique paysanne. Elle a aussi permis de faire une économie d'engrais et de dégager une marge brute largement positive.

Toutefois, des contraintes doivent être levées pour une meilleure performance de la technologie et son adoption par les agriculteurs de la zone d'étude. Il s'agit entre autres de l'accès à la fumure organique et minérale de qualité et en quantité et de la mécanisation de l'application localisée de l'engrais.

Tableau 4: Performance financière de la microdose sur le mil (sur 1 hectare) en 2021

Rubriques	PP	MD	(MD-PP)
Coût préparation du sol avant semis (FCFA)	10 594	10 594	0
Quantité semence (kg)	4	4	0
Coût semence (FCFA)	2 000	2 000	0
Quantité NPK (kg)	123	38	-85
Quantité Urée (kg)	80	24	-56
Coût total engrais (FCFA)	59 880	14 885	-44 995
Coût matière organique (FCFA)	50 000	50 000	0
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.) (FCFA)	65 635	120 812	55 177
Coût de la production (FCFA) (a)	188 109	198 291	10 182
Production (kg)	950	1 308	358
Valeur production (FCFA) (b)	237 487	325 117	89 630
Marge brute (FCFA) (= b - a)	49 378	126 826	77 448

Tableau 5: Performance financière de la microdose sur le sorgho (sur 1 hectare) en 2021

Rubriques	PP	MD	(MD-PP)
Coût préparation du sol avant semis (FCFA)	10 100	10100	0
Quantité semence (kg)	8	8	0
Coût semence (FCFA)	5 600	5 600	0
Quantité NPK (kg)	50	62,5	12,5
Quantité Urée (kg)	50	62,5	12,5
Coût total engrais (FCFA)	22 500	27 000	4500
Coût matière organique (FCFA)	35 000	35 000	0
Coût total main d'œuvre (semis, désherbage, épandage engrais, etc.) (FCFA)	80 000	90 000	10 000
Coût de la production (FCFA) (a)	153 200	167 700	14 500
Production (kg)	1 252	1 432	180
Valeur de la production (FCFA) (b)	375 600	429 600	54 000
Marge brute (FCFA) (= b - a)	222 400	261 900	39 500

RÉFÉRENCES

- Affholder F., Poeydebat C., Corbeels M., Scopel E., Tifton P. (2013). The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. *Field Crops Res.* 143: 106–118.
- Badiane A.N., Kouma M., Séne M. (2000a). Région de Diourbel: Gestion des sols. Drylands Research Working Paper 15. 25p.
- Badiane-Ndour Y.B., Loum M., Diouf A., Wélé A., Ndiaye O., Masse D., Lardy C.L. (2020). Dynamique de stockage du carbone dans les sols du Sénégal. Acquis de la recherche et perspectives. In Chevallier, T., Razafimbelo, T.M., Lardy, L.C., Brossard, M.(eds). Carbone des sols en Afrique: Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. Nouvelle édition. Rome, Marseille: IRD Éditions, 2020. p. 157-171.
- CEDEAO-UEMOA-CILSS. (2016). Catalogue Régional des Espèces et Variétés Végétales. 109p.
- FAO (2012). La fertilisation localisée au semis des cultures ou microdose. Fiche d'information, Niamey, Niger, juillet 2012. 4p.
- FAOSTAT (2023). <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>, consulté le 10/01/2023.
- Faye N. F., Sall M., Affholder F., Gerard F. (2019). Inégalités de revenu en milieu rural dans le bassin arachidier du Sénégal. Papiers de Recherche AFD, n° 115, Octobre. 54p.
- Gning K. (2010). Dynamiques et stratégies territoriales dans le Bassin arachidier sénégalais: colonisation, urbanisation, développement et redéploiements. Thèse de doctorat de l'Université Michel de Montaigne-Bordeaux III.
- IFDC (2020). Feed The Future Senegal Dundël Suuf Project. 2020 Annual report. 39p.
- IFDC (2021). Feed The Future Senegal Dundël Suuf Project. 2021 Annual report. 33p.
- Ndiaye A. (2013). L'agriculture sénégalaise de 1958 à 2012. Analyse systémique et prospective. 224p.
- Sall, M. (2015). Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques: stratégies développées et assurances agricoles. Thèse de doctorat de l'Université Toulouse le Mirail – Toulouse II. 277p.
- Toukara A., Clermont-Dauphin C., Affholder F., Ndiaye S., Masse D., Cournac L. (2020). Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 294:106878.

Quelques Poaceae adventices de cultures dans les zones agro-écologiques du Sénégal

D. DIOP^{1*}, S. L. KA¹, J. DIOUF¹, M. S. MBAYE¹, K. NOBA¹

(Reçu le 29/10/2022 Accepté le 26/01/2023)

Résumé

Ce travail constitue la synthèse d'une analyse de la flore adventice des Poaceae du Sénégal. Il fait le point sur l'inventaire des Poaceae de la flore adventice dans les différentes zones agro-écologiques et des différentes spéculations. A partir des données de l'inventaire, une analyse a été effectuée et les résultats donnent des indications sur le spectre taxonomique et chorologique. Les résultats ont permis de répertorier 121 espèces réparties en 51 genres de Poaceae, considérées comme adventices des cultures avec onze genres dominants cette flore. Les thérophytes et les hémicryptophytes sont les plus nombreux, suivis des chaméphytes, phanérophytes, géophytes, hydrophytes, halophytes et héliophytes. Les espèces pantropicales, africaines et afro-asiatiques sont majoritaires sur le plan mondial. Sur le plan africain, les espèces à affinités soudano-zambéziennes et à affinités guinéo-congolaises - soudano-zambéziennes sont les mieux représentées, montrant ainsi le caractère tropical de cette flore des graminées.

Mots clés: adventice, Poaceae, Sénégal, zone agroécologique, cultures, flore

Some Poaceae crop weeds in the agro-ecological zones of Senegal

Abstract

This work constitutes the synthesis of an analysis of the Poaceae weed flora of Senegal. It reviews the inventory of Poaceae of the weed flora of different agro-ecological zones and of different crops. An analysis of the inventory data was carried out and the results gave indications on the taxonomic and chorological spectrum. The results identified 121 species in 51 genera of Poaceae considered as crop weeds. Eleven genera represent the dominant genera in this flora. Therophytes and hemicryptophytes are the more numerous, followed by champhytes, phanerophytes, geophytes, hydrophytes, halophytes and helophytes. Pantropical, African and Afro-Asian species represent the majority of Poaceae worldwide. In Africa, species with Sudan-Zambeian and Guinean-Congolese-Sudan-Zambeian affinities are the most represented, showing the tropical character of this grass flora.

Keywords: weed, Poaceae, Senegal, agro-ecological zone, crops, flora

INTRODUCTION

Poaceae, très homogènes et cosmopolite, comprend environ 900 genres et 11000 espèces, distribués sur l'ensemble de la planète, sous tous les climats et une variété d'habitats considérable (Poilcot, 1995) avec des plantes herbacées rarement ligneuses (sauf Bambou). Ces espèces sont remarquables du point de vue botanique et tiennent une place importante dans la vie des hommes sous les tropiques. Elles sont présentes dans l'alimentation, la construction, fabrication de boissons alcoolisées, de teintures, lutte antiérosive, pharmacopée traditionnelle (Poilcot, 1995) et principalement dans l'agriculture avec à la fois spéculations et adventices.

Au Sénégal, comme dans la plupart des pays sahéliens, l'agriculture constitue l'une des principales activités de production et occupe près de 70% de la population (Mbaye, 2013; ANSD, 2014; Kane, 2014; Guèye, 2016). La concurrence des adventices est l'une des contraintes majeure de l'agriculture en zone tropicale où chaleur et humidité favorisent un développement plus rapide des adventices plus que dans n'importe quelle autre partie du monde (Merlier et Montégut, 1982; Orkwor, 1983; Le Bourgeois, 1993; Le Bourgeois Marnotte, 2002; Kâ, 2019). Les adventices entraînent des pertes importantes de rendements (Diallo, 1981; Noba, 2002; Mbaye, 2013; Bassène, 2014) et peuvent absorber entre 40 et 80 heures par hectare (Le Bourgeois et Merlier, 1995). Hormis Fabaceae, Malvaceae et Commelinaceae, les Poaceae représentent une famille très diversifiée de cette flore des adventices. Elles sont réparties dans toutes les zones agro-écologiques du pays.

Ce travail constitue la synthèse d'une analyse de la flore adventice des Poaceae du Sénégal. Plus spécifiquement, cette étude cherche à établir la liste des espèces de Poaceae et de cartographier les espèces en fonction des différentes zones agro-écologiques.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le Sénégal est un pays sahélien avec une superficie de 200 000 km² environ et une altitude moyenne de 40 m donc assez plat, même si on peut noter un point culminant à plus 490 m dans le Sénégal Oriental. Les principaux types de climats rencontrés au Sénégal sont du Nord au Sud (Ministère de l'Agriculture, 1996): le climat sahélien presque désertique, le climat sahélo-soudanien, le climat soudano-sahélien, le climat soudanien et le climat soudano-guinéen.

Dans le réseau hydrographique, il existe deux fleuves qui prennent leur source au Fouta Djallon (Barry *et al.*, 2005; Rodale International et GREEN Sénégal, 2000). Du point de vue pédologique, plusieurs types de sols existent au Sénégal. Selon la classification française, les types suivants sont notés (Khouma, 2000; Khouma *et al.*, 2005): les sols minéraux bruts sur dune littorale, les sols gravillonnaires, les sols bruns rouge subarides; les sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur sable, les sols Dek hydromorphes. Le climat, l'hydrologie et la nature des sols déterminent plusieurs types de végétation au Sénégal (Ministère de l'Agriculture, 1996). Ainsi, il existe plusieurs domaines éco-géographiques caractérisés chacun par une physionomie particulière. Le Sénégal présente six

¹ Laboratoire de Botanique Biodiversité, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal

(6) zones agro-écologiques ou éco-géographiques (Figure 1, Tableau 1) qui ont été identifiées sur la base de critères physiques (pluviométrie, climat, type de sol), de critères socioculturels et démographiques (ethnies et densité) et de critères agricoles (type de cultures et d'équipements). Il s'agit de la zone agro-sylvo-pastorale; de la Basse et Moyenne Casamance, du Bassin Arachidier; du Fleuve Sénégal; des Niayes; du Sénégal Oriental et de la Haute Casamance (Ka, 2019). Cette répartition géographique lui confère une grande richesse spécifique très importante qui est fait l'objet de grandes mesures de conservation.

Liste de la flore

Ce travail est une synthèse des travaux scientifiques sur les flores adventices dans les différentes zones agro-écologiques du Sénégal et de différentes spéculations. Ces inventaires floristique utilisent la technique du «tour de champ» consistant à parcourir la parcelle dans différentes directions (Maillet, 1981; Chicouène, 2000). Les flores (Hutchinson *et al.*, 1958; Berhaut, 1967, 1971-1991; Merlier et Montégut, 1982; Le Bourgeois et Merlier, 1995) et les travaux du Laboratoire de Botanique - Biodiversité (LBB) du Département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD): (Noba et Bâ, 1992; Noba *et al.*, 1994, 2004; Noba, 2002; Sambou, 2000; Mbaye *et al.*, 2001; Sarr *et al.*, 2007; Bassène, 2008) ont permis d'effectuer l'identification des espèces. La nomenclature employée est celle de Lebrun et Stork (1991).

Chorologie des espèces

La répartition géographique à travers le monde, en Afrique et au Sénégal, des espèces du genre Poaceae, a été établie sur la base de consultation de flores (Cronquist, 1954; Hutchinson et Dalziel, 1954; 1958; Berhaut, 1967 et 1976; Ghazanfar, 1989; César et Chatelain, 2019), des flores sur les Poaceae du Niger (Poilecot, 1999) et de la Cote d'ivoire (Poilecot, 1995), de monographies et de catalogues (Mabberley, 1990; Lebrun, 1973; Lejoly *et al.*, 2010; Thiombiano *et al.*, 2012), de manuels de Botanique et d'Agronomie (Merlier et Montégut, 1982; Le Bourgeois et Merlier, 1995), de différents rapports de travaux de recherche (Raynal, 1961; Adjanohoun *et al.*, 1989; Noba *et al.*, 2004; Mbaye, 2013; Bassène, 2014; Mballo, 2018; Ka, 2019; Diouf, 2019; Sidybé, 2019) et de données des bases de données. Ces différentes sources de données ont permis d'établir pour chaque espèce du genre Poaceae, la distribution géographique cartographiée au Sénégal.

Écologie des espèces

Les conditions écologiques des espèces du genre Poaceae, ont été établies également sur la base de la classification de Raunkiaer (1934) pour la flore tempérée a été adaptée aux régions tropicales et où la saison défavorable correspond à la saison sèche (Trochain, 1966; Lebrun, 1966). Cette classification distingue 6 formes biologiques: les phanérophytes (P); les hémicryptophytes (Hém); les géophytes (G); les chaméphytes (C); les thérophytes (T); les Hydrophytes (Hyd), les Halophytes (Hal) et Hélophytes (Hél).



Figure 1: Zones agro-écologiques du Sénégal (Atlas de l'Afrique, Sénégal 2000)

Tableau 1: Répartition des terres arables par zone éco-géographique (CSE, 2000)

Zones éco-géographiques	Basse et Moyenne Casamance	Sénégal Oriental et Haute Casamance	Bassin Arachidier	Zone Sylvopastorale	Vallée du Fleuve Sénégal	Zone des Niayes	National
Superficies (1000 ha)	750	400	2619	150	300	36	3805
Pourcentages (%)	20	10	57	4	8	1	100

RÉSULTATS

Composition spécifique

Le tableau 2 représente la liste globale des espèces et genres de Poaceae d'adventices rencontrés dans différentes sites du Sénégal. Chaque espèce est affectée de son type biologique et de son affinité phyto-géographique. Ainsi au total 121 espèces ont été recensées réparties en 51 genres.

Spectre taxonomique

L'analyse de ce tableau 3 montre sur l'importance relative des différents genres répertoriés de Poaceae adventices de cultures. Cette étude a montré que sur les cinquante et un (51) genres rencontrés, onze (11) genres apparaissent nettement dominante et représente 57% de l'effectif total. Il s'agit d'*Eragrostis* (11,6%), *Brachiaria* et *Panicum* (7,4%), *Echinochloa* et *Digitaria* (5%), *Cenchrus* (4,1%) et 5 genres à 3,3% (*Chloris*,

Tableau 2: Liste des espèces recensées, leur genre, leur type biologique (T.B) et leur répartition biogéographique (R.G.)

Espèces	T.B.	R.G.	
		Monde	Afrique
<i>Acroceras amplexans</i> Stapf.	T (Hél)	Af	SZ
<i>Acroceras zizonoides</i> (Kunth) H. Dandy	C/Hém (Hél)	Am/ Af/Pt	SZ; GC SZ
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth.	Hém	Af	SZ
<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf	T/ Hém	Am/As	SZ
<i>Antephora cristata</i> Hach..et Durand	T	Cosm / Af/Am	SZ; GC
<i>Aristida adscensionis</i> L.	T/ Hém	Pt	SZ
<i>Aristida mutabilis</i> Trin. etRupr.	T	Af/ As	SZ
<i>Aristida sieberiana</i> Trin.	T/ Hém	Pt/ Af	SZ
<i>Bothriochloa bladhii</i> (Retz.) S.T. Blake	T /Hém	Af	SZ
<i>Brachiaria comata</i> (A. Rich.) Stapf	T	Af	SZ
<i>Brachiaria deflexa</i> (Schum.) Robyns	T	Mas	GC SZ
<i>Brachiaria distichophylla</i> (Trin.)Stapf.	T	Af	SZ
<i>Brachiaria jubata</i> (Fig. etDe Notaris) Stapf	T/ Hém	Af	SZ
<i>Brachiaria lata</i> (Schum.) Hubb.	T	Pt/Af	GC SZ
<i>Brachiaria ramosa</i> (L.) Stapf	T	Pal/ Masu/ As	SZ
<i>Brachiaria stigmatisata</i> (Mez) Stapf	T	Af/Asu	SZ
<i>Brachiaria villosa</i> (Lam.) A.Camus	T	Pt/Af/As	SZ
<i>Brachiaria xantholeuca</i> (Sch.) Stapf	T	Pt/Af	SZ
<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	T	As/Pt/Masu	SZ- Sah-Sind
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	T	Cosm	SZ*-Sah-Sind- Méd
<i>Cenchrus pedicellatus</i> Trin.	T	Pt	
<i>Cenchrus setigerus</i> Vahl.	Hém	Af/As	SZ*
<i>Cenchrus violaceus</i> (Lam.) Morrone	T	Asu	
<i>Centropodia forskalii</i> (Vahl) Cope.	T / Hém	As/ Af	SZ Sah-Sind
<i>Chloris barbata</i> Sw.	T	As/Pt	SZ
<i>Chloris pilosa</i> Schum.	T	Af/As	GC SZ
<i>Chloris pilosa</i> Schumach. var. <i>pilosa</i>	T	Af	SZ
<i>Chloris prieurii</i> Kunth	T	As /As	
<i>Chrysopogon nigritanus</i> (Benth.)Veldkamp	T/Hém	Pal/Af	SZ*-Sah-Sind
<i>Ctenium elegans</i> Kunth	T	Af	SZ
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Hém/C/T/G	Cosm/Pt	GC SZ
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	T/G/Hém	Pt/Masu	GC SZ
<i>Dichanthium annulatum</i> (Forssk.) Stapf	T/Hém	Pal/Af/Cosm	SZ; SZ*- Sah-Sind-Méd
<i>Digitaria argillacea</i> (Hitche. et Chase).	T	Pt	SZ
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	T	Pt	GC SZ
<i>Digitaria debilis</i> (Desf.) Willd.	T	M	SZ
<i>Digitaria exilis</i> (Kippist) Stapf	T	Af	SZ
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	T	Pt/Af/Mam	GC SZ
<i>Digitaria longiflora</i> (Retz.) Pers.	T	Pt	GC SZ
<i>Dinebra retroflexa</i> (Vahl) Panz.	T	Af/As	SZ
<i>Diplachne fusca</i> (L.) Stapf	T	Pal/Pt	
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	T/Hém	Pt/Cosm	SZ
<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	T (Hél)	Pt/Cosm	GC
<i>Echinochloa crus-pavoni</i> (Kunth) Schult.	T (Hyd)	Af/Am	GC SZ
<i>Echinochloa obtusiflora</i> Stapf	T /Hém	Af	ZS
<i>Echinochloa pyramidalis</i> (Lam.) Hitch. & Chas.	H/G (Hyd)	Af	SZ
<i>Echinochloa stagnina</i> (Retz.) P. Beauv.	T /G(Hyd)	Pt/Mas	SZ

Tableau 2 (Suite) : Liste des espèces recensées

Espèces	T.B.	R.G.	
		Monde	Afrique
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	T	Pt	GC SZ
<i>Eleusine verticillata</i> Roxb.	T	Pt	
<i>Elytrophorus spicatus</i> A. Cam.	T (Hél)	Pt/As	SZ
<i>Enteropogon prieurii</i> (Kunth) Clayton	T	As/Af	SZ*
<i>Eragrostis atrovirens</i> (Desf.) Trin ex Steud.	Hém (Hél)	Af/As	SZ*
<i>Eragrostis aspera</i> (Jacqu.) Ness	T	Mas	SZ
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) F. T. Hubb.	T	Pt/Masu/Cosm	SZ*-Sah-Sind-Méd
<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.	T	Pt	GC SZ
<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br. var. <i>laxa</i> J. Berh.	T	Pt	
<i>Eragrostis ciliaris</i> var. <i>ciliaris</i> (L.) R. Br.	T	Pt	
<i>Eragrostis gangetica</i> (Roxb) Steud.	T	As/Mas	SZ
<i>Eragrostis japonica</i> (Thunb.) Trinius.	T	As	SZ
<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) P. Beauv.	T	Cosm	GC SZ-Sah sind-Méd
<i>Eragrostis squamata</i> (Lam.) Steud.	Hém	Af	GC SZ
<i>Eragrostis tenella</i> (L.) Roem. et Sch.	T	Af/Pt	GC SZ
<i>Eragrostis tremula</i> Hochst. ex Steud.	T	Pt/As/Masu	SZ
<i>Eragrostis tremula</i> var. <i>tremula</i> Hochst. Ex Steud.	T	Pt/As	
<i>Eragrostis turgida</i> De Wild.	T	Pt	SZ
<i>Euclasta condylotricha</i> (Hochst. ex Steud.) Stapf	T	Af/Am	SZ
<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze	T	As/Mas/Pt	SZ
<i>Hyparrhenia hirta</i> (L.) Stapf	T	Af/As	Sah sind-Méd
<i>Imperata cylindrica</i> Beauv.	G	Cosm/ Mas	GC SZ
<i>Isachne kiyalaensis</i> (Vanderyst) Robyns	T (Hél)	Af	GC
<i>Ischaemum rugosum</i> Salisb.	T (Hél)	Pt	SZ
<i>Leersia hexandra</i> Sw.	G (Hyd)	Pt	SZ
<i>Leptothrium senegalense</i> (Kunt.) Clay.	C/T/Hém	As	SZ*
<i>Loudetia annua</i> (Stapf) Hubb.	T/Hém	Af	SZ
<i>Loudetiopsis pobeguini</i> (Jacq.-Fél.) Clayton	T	Pt	
<i>Mnesithea granularis</i> (L.) De Koen. Et Sos.	T	Af	
<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz.) P. Beauv.	T	Mas/Pt	GC
<i>Oryza barthii</i> A. Chev.	T (Hyd)/ Hém	Af	SZ
<i>Oryza glaberima</i> Stend.	T	Af	GC SZ
<i>Oryza longistaminata</i> A. Chev. et Roehr.	Hém/ G (Hyd; Hél)	Af/Am	GC SZ; SZ
<i>Oryza sativa</i> L.	T (Hyd)	Pt	GC SZ
<i>Panicum anabaptistum</i> Steud.	C	Af	SZ
<i>Panicum fluviicola</i> Steud.	T /Hém	Af	SZ
<i>Panicum laetum</i> Kunth	T	Af	SZ*
<i>Panicum laxum</i> Sw.	T	Am	GC
<i>Panicum pansum</i> Rendle.	T	Af	SZ
<i>Panicum parvifolium</i> Lam.	Hém	Mam	GC
<i>Panicum repens</i> L.	T/G	Pt/ Cosm	GC SZ
<i>Panicum subalbidum</i> Kunth	H (Hyd) /T	Af	SZ
<i>Panicum walense</i> Mez	T	As	SZ
<i>Paspalidium geminatum</i> (Forssk) Stapf.	Hém/ G (Hyd)	Af/Pt	SZ
<i>Paspalum geminatum</i> Stapf	T	Am	
<i>Paspalum orbiculare</i> G. Forst.	T	Pt	
<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	T/Hém	Am/Mas/Pt	GC SZ
<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.	T/ Hém (Hal)	Pt	GC

Pennisetum, *Paspalum*, *Oryza* et *Sporobolus*). Les quarante (40) restants sont faiblement représentés et les trente (30) ne dépassent guère une espèce au maximum.

Spectre biologique: L'analyse du tableau 4 montre que le peuplement est nettement dominé par les Thérophytes et les Hémicryptophytes. Les autres types biologiques sont faiblement représentés. Il s'agit des Chaméphytes, des Phanérophytes et des Géophytes de même que les Hydrophytes, les Halophytes et Hélophytes.

Spectre chorologique: Le tableau 5 représente la répartition des espèces de Poaceae adventices en fonction de leurs affinités biogéographiques. Le spectre chorologique montre aussi une diversité importante dans le milieu avec des espèces d'aire de répartitions géographiques diverses.

Tableau 2 (Suite): Liste des espèces recensées

Espèces	T.B.	R.G.	
		Monde	Afrique
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.	Hém/T	Pt/MAsAm	SZ
<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	T	AsAm/Asu	SZ
<i>Pennisetum polystachion</i> (L.)Schult.	T/Hém	Pt/Asu	GC SZ
<i>Pennisetum violaceum</i> (Lam.) L. Rich.	T	Asu/Pt/Af	SZ*
<i>Perotis patens</i> Gand.	T	Ma	SZ
<i>Perotis scabra</i> Will.ex Trin.	T	Pt	
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	G (Hyd)	Cosm**	Sah sind-Méd
<i>Phragmites vulgaris</i> Lam.	T	Cosm	Sah sind-Méd
<i>Rhynchachne rottboellioides</i> Desv.	T/Hém	Am/MAsAm	GC SZ
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	T	Pt/As	SZ
<i>Schizachyrium exile</i> Stapf	T	As/Pt	SZ
<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	T/Hém	Mas/Pt	SZ
<i>Schoenefeldia gracilis</i> Kunth	Hém	Pt/As/Mas	SZ
<i>Setaria barbata</i> Kunth.	T	Pt/Asu	GC SZ
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. Et Schult.	T	Pt/Asu/Cosm	GC SZ
<i>Setaria verticillata</i> (L.) P. Beauv.	T	Pt/Cosm	GC SZ
<i>Sorghum arundinaceum</i> (Desv.) Stapf	T	Pant/AmAu	SZ
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.	T	Pt	SZ
<i>Sporobolus helvolus</i> (Trin.) T. Durand et Schinz	P/Hém	Mas/As	SZ*
<i>Sporobolus indica</i> var. <i>pyramidalis</i>	T	Pt	
<i>Sporobolus pyramidalis</i> P. Beauv.	Hém	Ma/Am/Mam	GC SZ
<i>Sporobolus robustus</i> Kunth	T /C	Af	SZ
<i>Tragus berteronianus</i> Schult. Auct.	T	Mas	SZ* Sah sind
<i>Tragus racemosus</i> (L.) All.	T	As	SZ* Sah sind
<i>Tripogon minimus</i> (A.Rich.) Steud	T	Af	SZ
<i>Vossia cuspidata</i> (Roxb.) Griff.	Hém/ G (Hyd, Hél)	As	GC, GC SZ

* Espèces sahéliennes, ** Espèces cosmopolites ou sub-cosmopolites

Types biologiques: mph: microphanérophytes, Ch: chaméphytes; Hém: hémicryptophytes; G: géophytes; Th: thérophytes, Hél: hélophytes; Hyd: hydrophytes; Hal: Halophytes

Affinités géographiques: GC: élément Guinéo-Congolais; SZ: élément Soudano-Zambézien; GC SZ: élément Guinéo-Congolais - Soudano-Zambézien; Sah-sind: élément Saharo-sindien; SZ- Sah sind: élément Soudano-Zambézien- Saharo-sindien; SZ-Sah sind- Méd: élément Soudano-Zambézien- Saharo-sindien - Méditerranéen; GC SZ- Sah-sin-Méd: élément Guinéo-Congolais - Soudano-Zambézien - Saharo-sindien - Méditerranéen; Sah-sin-Méd: élément Saharo-sindien - Méditerranéen

Af: Espèces Africaines; Ma (M): Espèces afro-malgaches, As: Espèces afro-asiatiques; Am: Espèces afro-américaines; Mas: Espèces afro-malgaches et asiatiques; Mam: Espèces afro-malgaches et américaines; MAsAm: Espèces afro-malgaches asiatiques et américaines; MAmAu: Espèces afro-malgaches, américaines et australiennes; AsAm: Espèces afro-asiatiques et américaines; AsAu: Espèces afro-asiatiques et australiennes (Asu); AsAmAu: Espèces afro-asiatiques, américaines et australiennes; AmAu: Espèces afro-américaines et australiennes; AfAm: Espèces africaines et américaines; Pt: Espèces pan-tropicales (Pan); Cosm: Espèces cosmopolites; Pal: Espèces paléo-tropicales

Au monde

Groupe 1: représenté par un grand nombre d'espèces. Il s'agit des espèces Pantropicales, Africaines et Afro-asiatiques

Groupe 2: avec un nombre d'espèces moyenne: Espèces Afro-malgaches et asiatiques, Espèces Afro-asiatiques et australiennes, Espèces Américaines et Espèces Cosmopolites.

Groupe 3: avec un nombre faible représenté par les Espèces Afro-Asiatiques et Américaines, Espèces Afro-malgaches, Asiatiques et Américaines, Espèces Afro-américaines et Australiennes, Espèces Afro-asiatiques, américaines, australiennes et européennes, Espèces Afro-malgaches et américaines; Espèces Afro-asiatiques et américaines, Es-

Tableau 3: Répartition des espèces en fonction des genres

Genres	Nombre d'espèces	Proportion
<i>Eragrostis</i>	14	11,6
<i>Brachiaria</i>	9	7,4
<i>Panicum</i>	9	7,4
<i>Echinochloa</i>	6	5,0
<i>Digitaria</i>	6	5,0
<i>Cenchrus</i>	5	4,1
<i>Chloris</i>	4	3,3
<i>Paspalum</i>	4	3,3
<i>Pennisetum</i>	4	3,3
<i>Oryza</i>	4	3,3
<i>Sporobolus</i>	4	3,3
<i>Aristida</i>	3	2,5
<i>Setaria</i>	3	2,5
<i>Acroceras</i>	2	1,7
<i>Andropogon</i>	2	1,7
<i>Perotis</i>	2	1,7
<i>Schizachyrium</i>	2	1,7
<i>Sorghum</i>	2	1,7
<i>Eleusine</i>	2	1,7
<i>Tragus</i>	2	1,7
<i>Phragmites</i>	2	1,7
<i>Bothriochloa</i>	1	0,8
<i>Chrysopogon</i>	1	0,8
<i>Ctenium</i>	1	0,8
<i>Cynodon</i>	1	0,8
<i>Dactyloctenium</i>	1	0,8
<i>Dichanthium</i>	1	0,8
<i>Dinebra</i>	1	0,8
<i>Diplachne</i>	1	0,8
<i>Enteropogon</i>	1	0,8
<i>Euclasta</i>	1	0,8
<i>Hackelochloa</i>	1	0,8
<i>Hyparrhenia</i>	1	0,8
<i>Isachne</i>	1	0,8
<i>Ischaemum</i>	1	0,8
<i>Leersia</i>	1	0,8
<i>Loudetia</i>	1	0,8
<i>Loudetiopsis</i>	1	0,8
<i>Mnesithea</i>	1	0,8
<i>Oplismenus</i>	1	0,8
<i>Rhytachne</i>	1	0,8
<i>Rottboellia</i>	1	0,8
<i>Schoenefeldia</i>	1	0,8
<i>Tripogon</i>	1	0,8
<i>Vossia</i>	1	0,8
<i>Elytrophorus</i>	1	0,8
<i>Centropodia</i>	1	0,8
<i>Imperata</i>	1	0,8
<i>Paspalidium</i>	1	0,8
<i>Antephora</i>	1	0,8
<i>Leptothrium</i>	1	0,8
Total	121	100,0

pèces Afro-malgaches et Espèces Paléo-tropicales. C'est le groupe des espèces intercontinentales à forte valence écologique (large distribution géographique).

La plupart de ces espèces sont localisées en Asie tropicale (Proche orient, Asie du Sud-Est) dans des conditions climatiques assez proches de celles du Sénégal.

Au Sénégal, les taxons des Poaceae sont mieux représentés sur les flores adventices dans les différentes zones agro-écologiques du Sénégal. Le plus faible taux est observé dans la zone sylvopastorale du Ferlo (17 espèces). Les zones de Casamance (63 espèces), du Fleuve Sénégal (54 espèces), Sénégal Oriental et haute Casamance (41 espèces) et la zone des Niayes (37 espèces) et le Bassin Arachidier (34 espèces) sont relativement très diversifiées et polarisées un grand nombre d'espèces.

Tableau 4: Représentation du spectre biologique des espèces rencontrées

T. B.	T	Hém	P	C	G	Hél	Hyd	Hal
Nombre d'espèces	103	36	1	5	9	9	11	1

Tableau 5: Répartitions des espèces par affinités phyto-géographiques à travers le monde

Affinités chorologiques	Nombre d'espèces
Espèces Africaines (A)	51
Espèces Afro-asiatiques (As)	31
Espèces Afro-asiatiques et australiennes (AsAu)	9
Espèces Cosmopolites (Cosm)	13
Espèces Afro-malgaches et asiatiques (MAS)	11
Espèces Afro-malgaches, asiatiques et américaines (MASAm)	1
Espèces Afro-américaines et Australiennes (AmAu)	1
Espèces Afro-asiatiques, américaines, australiennes et européennes (Masue)	5
Espèces Afro-malgaches et américaines (MAM)	3
Espèces Afro-américaines (Am)	11
Espèces Afro-asiatiques et américaines (AsAm)	3
Espèces Afro-malgaches (Ma)	3
Espèces Paléo-tropicales (Pal)	4
Espèces Pantropicales (Pan)	57

Tableau 6: Répartitions des espèces par affinités phyto-géographiques à travers l'Afrique

Affinités chorologiques	Nombre d'espèces
SZ	57
GC SZ	27
GC	9
SZ- Sah sind	5
SZ- Sah sind - Méd	3
Sah sind - Méd	2
GC- SZ- Sah sind - Méd	1

Tableau 7: Répartition des espèces en fonction des zones éco-géographiques du Sénégal

Zones éco-géographiques	Basse et Moyenne Casamance	Sénégal Oriental et Haute Casamance	Bassin Arachidier	Zone Sylvopastorale	Vallée du Fleuve Sénégal	Zone des Niayes
Nombre d'espèces	63	41	34	17	54	37

En Afrique

Le tableau 6 montre la répartition des espèces par affinités bio-géographiques en Afrique. Sept groupes d'espèces sont représentés dans ce tableau. Deux groupes d'espèces dominent cette flore et représentent près de 84 espèces au total. Il s'agit d'espèces soudano-zambéziennes et d'espèces guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes. Les autres groupes sont faiblement représentés. Il s'agit d'espèces guinéo-congolaises; d'espèces saharo-sindiennes; espèces soudano-zambéziennes-saharo-sindiennes; espèces soudano-zambéziennes-saharo-sindiennes-méditerranéennes; espèces guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes-saharo-sindiennes-méditerranéennes; espèces saharo-sindiennes-méditerranéennes.

DISCUSSION

Poaceae (Graminées) est la famille la plus représentée en termes de genres et d'espèces dans la flore du Sénégal avec respectivement 93 et 285 (Ba et Noba, 2001). Dans les différentes zones des cultures au Sénégal, ce même constat est fait. Les Fabaceae, Cyperaceae, Poaceae, Convolvulaceae et Rubiaceae dominent cette flore. Elles font partie également des familles dominantes de la flore adventice du sud du bassin arachidier (Noba et al., 2004; Mbaye, 2013; Sidybé, 2019), des cultures d'oignon des Niayes (Sarr et al., 2007), de tomate (Ka, 2015), du mil (Diouf, 2015), des cultures rizicoles (Diagne, 1991; 1993; Halidou, 2002; Boraud et al., 2015 et Mballo, 2018), des cultures cotonnières dans le Sénégal Oriental et en haute Casamance (Diouf, 2019) ou céréalières (Ka, 2019), dans les systèmes agropastoraux et des rizières de la basse et Moyenne Casamance (Diallo et Jonhson, 1997; Bassène, 2014; Diédhiou, 2018) et plus généralement de la flore vasculaire du Sénégal (Ba et Noba, 2001; Noba et al., 2004). Cette répartition est notée également dans d'autres régions d'Afrique (Bouhache et Boulet, 1984; Bouhache et al., 1994; Taleb et Maïllet, 1994; Taleb et al., 1998; Kazi Tani et al., 2010; Zidane et al., 2010), le coton en Côte d'Ivoire (Déat, 1976; 1981), de Café (Miderho et al., 2017) et d'Europe (Lonchamp et Barralis, 1988; Guillermin et Maïllet, 1989; Chauvel et al., 1995; Dessaint et al., 2001). La forte proportion de Poaceae pouvait s'expliquer par le fait que ces taxons bouclent leur cycle rapidement, possèdent une très grande possibilité de tallage (Akossoua et al., 2010) et offrent un potentiel fourrager très important, ce qui favoriserait l'exploitation de la zone à des fins pastorales (Yoka et al., 2013). L'importance des Poaceae est surtout due à leur forte capacité de production de graines même en conditions défavorables (Baskin, 1998; Costa et Mesquita, 2015) et par leur aire de répartition sahélienne et par leur aptitude à s'adapter aux biotopes perturbés par les activités agricoles (Taleb et al., 1998; Noba, 2002; Bassène, 2012).

En effet, Poaceae sont constituées essentiellement de thérophytes qui représentent le stade ultime de l'adaptation aux perturbations de l'agrosystème (Fenni, 2003) et témoignant de la xéricité de la zone d'étude (Koulibaly et al., 2006) confirmant la faible représentativité des chaméphytes et des géophytes (Melom et al., 2015). Les Thérophytes sont relativement moins bien représentés dans la flore des Niayes (Trochain, 1940; Villiers, 1957; Raynal, 1961; UICN/RENZO, 2002), dans la flore adventice du

riz irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal de Mballo et al. (2018), dans la flore adventice du maïs dans le sud du bassin arachidier de Bassène et al. (2012), dans la flore adventice du mil et de l'arachide de Diouf (2015) dans la zone de Diobass et Noba et al., (2002, 2003) des cultures vivrières dans le Sud du Bassin arachidier, des cultures céréalières annuelles du Burkina Faso (Traoré et Maïllet, 1992) et flore vasculaire du Burkina Faso (Guinko, 1984).

La dominance des thérophytes s'explique par leur adaptation aux écosystèmes agraires (Loudya et al., 1995). Elles ont un cycle de vie très court, parfois de quelques semaines comme chez les espèces du genre *Corchorus* (Mbaye et al., 2001) et *Eragrostis* (Sambou, 2000). Ce cycle de vie est synchrone avec celui des cultures pluviales annuelles de la zone avec lesquelles elles forment la même cohorte (Traoré, 1991; Noba et al., 2004). Ces thérophytes sont plus adaptées aux pratiques culturales (Grime, 1974; Noba et al., 2004; Bassène, 2014) dont le désherbage favorise le développement des thérophytes au détriment des géophytes (Maïllet, 1981; Traoré, 1991; Bassène, 2012).

Selon Mbayngone (2008), la prédominance des thérophytes traduit aussi une prévalence des formations savanicoles. Ceci est confirmé par les données des températures très élevées et une pluviométrie faible accélérant l'évapotranspiration qui impacte négativement les herbacées (Fall, 2014). L'évaporation entraîne un important déficit hydrique qui expliquerait le caractère très ouvert des formations végétales. Ces résultats confirment l'assertion de Schmidt et al. (2005) selon laquelle les types biologiques reflètent non seulement les paramètres structuraux dans une végétation mais également les conditions environnementales variées (Bassène et al., 2020).

Sur le plan des affinités biogéographiques mondiales, les espèces d'affinités africaines et pantropicales dominent cette flore suivie des espèces Afro-asiatiques. Ces résultats sont comparables à ceux réalisés dans le bassin arachidier sur le mil et l'arachide (Noba et al., 2004), sur le maïs (Bassène, 2012), dans le Sénégal Oriental et haute Casamance (Ka, 2019; Diouf, 2019), la flore adventice de l'oignon dans les Niayes (Sarr et al., 2007) et dans la vallée du Fleuve Sénégal (Mballo, 2018). Ceci s'expliquerait par le fait que ces adventices sont adaptés aux perturbations culturales et aux conditions climatiques de la zone (Noba, 2004). Cette dominance serait aussi due par l'adaptation de ces espèces d'origine africaines aux conditions bioclimatiques du continent (Bassène et al., 2012; Diédhiou, 2018) et à la continentalité du milieu qui est tropical et semi-aride donc favorable au développement des espèces strictement africaines (Diouf, 2019).

L'importance accrue des espèces pantropicales semble liée à la position géographique du Sénégal qui est plus occidentale et océanique (Traoré et Maïllet, 1992; Noba, 2002; Bassène, 2012) et à l'introduction croissante de culture comme l'arachide, le coton, le sésame, jadis absente (Diouf, 2019). Les faibles proportions des autres affinités bio-géographiques peuvent s'expliquer d'une part leur élimination progressive due aux techniques culturales et aux désherbages et d'autre part par leur inadaptation aux conditions de la zone (Noba, 2004; Bassène et al., 2012) mais aussi l'uniformisation de l'espace cultural avec les échanges de matériels entre continents (Traoré, 1991).

La répartition de cette diversité à travers le Sénégal suit un gradient décroissant du Nord au Sud (Ba et Noba, 2001) c'est-à-dire les moins arrosées vers les plus arrosées. La richesse spécifique des zones des Niayes et de la vallée du fleuve sont dues à l'influence favorable de la mer (Zone des Niayes) ou de fa Fleuve du Sénégal (Vallée). Les précipitations moyennes varient de 700 à 1300 mm avec un climat est de type soudano guinéen dans le Sénégal Oriental (Ka, 2019) et la Casamance (Anonyme, 2009; ANSD, 2015). La diversité peu élevée noté dans la zone sylvo-pastorale serait dû cette dernière est une zone de transition climatique avec un climat tropical sec, de type soudano-sahélien, (soudanien au Sud et sahélien au Nord) avec une vocation pastorale. Quant au bassin arachidier, il a subi et continue de subir encore une forte pression démographique et l'effet des pratiques culturales (Ba et Noba, 2001).

Une grande proportion des espèces sont soudano-zambéziennes (soudano-angolanes) suivies des graminées à affinités guinéo-congolaises- soudano-zambéziennes. Ces espèces appartiennent aux régions guinéenne, soudanienne et sahélienne occupant un vaste domaine des savanes et des forêts claires. Avec les espèces à affinités guinéo-congolaises, les trois groupes montrent le caractère tropical de cette fore de graminées (Poilocot, 1999). Un petit groupe d'espèces se retrouvent également dans les régions tempérées chaudes, méditerranéennes. Ces espèces généralement des thermo-cosmopolites, constituent l'élément de liaison saharo-méditerranéen et saharo-tropico-méditerranéen. La plus part de ces espèces sont anthropiques ou liées à la présence de l'eau (hydrophytes) (Poilocot, 1999): *Eragrostis cilianensis*, *Phragmites australis*, *Panicum repens*, *Setaria verticillata*, *Echinochloa colona*.

CONCLUSION

La flore des Poaceae considérées comme d'adventice de cultures au Sénégal est constituée de 121 espèces ont été recensées réparties en 51 genres. *Eragrostis*, *Brachiaria*, *Panicum*, *Echinochloa*, *Digitaria*, *Cenchrus*, *Chloris*, *Pennisetum*, *Paspalum*, *Oryza* et *Sporobolus* représentent les genres dominants dans cette flore. L'étude du spectre biologique a permis de noter que les thérophytes et les Hémicryptophytes sont les plus nombreux cependant, les plantes vivaces sont bien représentées. Les Chaméphytes, les Phanérophytes, les Géophytes, les Hydrophytes, les Halophytes et Hélophytes sont faiblement représentés. Par ailleurs, il ressort de l'analyse du spectre chorologique mondial que les espèces Pantropicales, Africaines et Afro-asiatiques sont majoritaires. Sur le plan africain, les espèces à affinités soudano-zambéziennes et d'espèces à affinités guinéo-congolaises-soudano-zambéziennes sont les mieux représentées montrant le caractère tropical de cette flore des graminées. Sur le plan agronomique, les Poaceae font partie à travers le monde comme des mauvaises herbes majeures mondiales. Certaines de ces espèces sont citées comme étant les adventices les plus nuisibles dans les différentes zones agro-écologiques du Sénégal: *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria ciliaris*, *Digitaria horizontalis*, *Eragrostis tremula*, *Oryza longistaminata*, *Echinochloa colona*, *Eleusine indica*, *Brachiaria ramosa*, *Eragrostis tenella*, *Chrysopogon nigritanus*, *Pennisetum pedicellatum*.

RÉFÉRENCES

- Adjanohoun É.J., Adjakidje A., Aké Assi L., Akoègniou A., Dalmeida A., Chadare B., Cusset D., Eyme G., Gbaguidi E., Hougnon Z. (1989). Contribution aux études ethno-botaniques et floristiques en République Populaire du Bénin. Agence de coopération culturelle et technique. 895p.
- Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). (2014). Rapport définitif du recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPHAE) 2013. MEFP/ Sénégal-UNFPA-USAID, 416 pages.
- Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). (2015). *Bulletin mensuel des statistiques économiques*, 1467: 107p.
- Akossoua F.-K., Adou Y.-C.-Y., Ipou J.-I., Kamanzi K. (2010). Diversité floristique des zones côtières paturées de la Côte d'Ivoire: Cas du cordon littoral Port - Bouet-Grand-Bassam (Abidjan). *Sci. Nat.*, 7: 69-86,
- Anonyme (2009). Étude diagnostique dans les cinq régions d'implantation des projets du Millenium Challenge Account (MCA): Rapport final Cabinet conseil Prestige, Dakar, Sénégal. 53p.
- Ba A.T., Noba K. (2001). Flore et biodiversité végétale au Sénégal. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 12, 149-55.
- Bassène C. (2008). *Hyptis suaveolens* L. Poit. (Lamiaceae) dans les systèmes agropastoraux de la communauté rurale de Mlomp: Étude de quelques aspects de la biologie, de l'écologie et proposition de méthodes de contrôle. Mémoire de DEA. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal, 108 p.
- Bassène C. (2014). La flore adventice dans les cultures de maïs (*Zea mays* L.) au sud du Bassin Arachidier: structure, nuisibilité et mise au point d'une méthode de désherbage. Thèse Unique de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar. 189 p.
- Bassène C., Diallo M.D., Diaité B., Diop A., Guissé A. (2020). Caractéristiques de la végétation herbacée d'une parcelle mise en défens dans le Ferlo Nord au Sénégal. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 73: 207-212.
- Bassene C., Mbaye M.S., Camara A.A., Kane A., Gueye M., Sylla S.N., Sambou B., Noba K. (2014). La flore des systèmes agropastoraux de la Basse Casamance (Sénégal): cas de la communauté rurale de Mlomp. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8: 2258-2273.
- Bassène C., Mansaly N., Mballo R., Camara A.A., Mbaye M. S., Noba K. (2018). Structure et caractéristiques de la flore adventice de la ferme agricole de l'Université Gaston Berger de Saint-Louis (Sénégal). *European Scientific Journal*, 14: 229.
- Bassene C., Mbaye M.S., Kane A., Diangar S., Noba K. (2012). Flore adventice du maïs (*Zea mays* L.) dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal): structure et nuisibilité des espèces. *Journal of Applied Bioscience*, 59: 4307-4320.
- Baskin C.C., Baskin J.M. (1998). Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press, 666p.
- Barry M., Boussou T., Deme M., Diouf T., Fontana A., Samb B., Thiam D. (2005). Les ressources halieutiques. In Guiro A.T., Diouf T., Ndoye A., Dubernard J., Girardot B., Pichot J-P. Coly E. V. Ba A., Ndiaye J-P., Sene E., Gueye M., Ndiaye A., Ndiaye M., Toure O.T., Diallo A. Bilan de la recherche agricole et agro-alimentaire au Sénégal. Ed. ISRA, ITA, CIRAD. 530p.
- Berhaut J. (1967). Flore du Sénégal. Clairafrique, Dakar, 485 p.
- Berhaut J. (1971-1979). Flore illustrée du Sénégal. Dakar, Sénégal, Ministère du développement rural et de l'hydraulique, Direction des eaux et forêts.
- Bouhache M., Boulet C. (1984). Étude floristique des adventices de la tomate dans le Souss. *Hommes Terre Eaux*, 14: 37-49
- Bouhache M., Boulet C., Chougrani A. (1994). Aspect floristico-agronomique des mauvaises herbes de la région du Loukkos (Maroc). *Weed Res.*, 34: 119-126
- Boraud N.K.M., Kouame K.F., Kla D. (2015). Impact des pratiques de gestion des adventices sur le rendement du riz au centre de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9: 1220-1228.
- César J., Chatelain C. (2019). Flore Illustrée du Tchad. Conservatoire et jardin botaniques de la Ville de Genève, Université de N'Djamena et la coopération suisse. 387 p.

- Chauvel B., Barralis G., Chadoeuf R., Dessaint F. (1995). Développement de populations adventices en situation de jachère annuelle. In 16^e Conférence du COLUMA. Reims, France. 725–732.
- Chicouène D. (2014). Généralités en nuisibilité des mauvaises herbes des cultures. <http://dc.plantouz.chez-alice.fr/>
- Costa J.P., Mesquita M.L.R. (2015). Floristic and phytosociology of weeds in pastures in Maranhão State, Northeast Brazil. *Rev. Ciênc. Agron.*, 47: 414-420.
- Cronquist A. (1954). Description du genre *Indigofera* dans Flora du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. 5:117-173.
- Centre de Suivi Ecologique (2000). Annuaire sur l'Environnement. Sénégal.
- Déat M. (1976). Les adventices en cultures cotonnières en Côte d'Ivoire. *Cot. Fib. Trop.*, 31: 419- 427.
- Déat M. (1981). Principales adventices du cotonnier en Afrique de l'Ouest. Description et techniques de lutte. IRCT (éd.), Montpellier, 95 p.
- Dessaint F., Chadoeuf R., Barralis G. (2001). Diversité des communautés de mauvaises herbes des cultures annuelles de Côte-d'Or (France). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5: 91–98.
- Diagne M. (1991). L'enherbement des rizières irriguées de la moyenne vallée du fleuve Sénégal: situation actuelle et perspectives de recherche, pp. 189-204.
- Diagne M. (1993). Situation de la lutte contre les mauvaises herbes dans les rizières irriguées de la Région du Fleuve Sénégal. Mémoire de confirmation ISRA (Saint-Louis).
- Diallo S. (1981). Les mauvaises herbes des cultures pluviales dans le secteur Centre-Nord du Sénégal: aspects taxonomique, agronomique et écologique. Mémoire CNEARC-ESAT. 95p.
- Diallo S., Johnson D.E. (1997). Les adventices du riz irrigué au Sahel et leur contrôle, in: Miézan, K.M., Wopereis, M.C.S., Dingkuhn, M., Deckers, J., Randolph, T.F. (Eds.), *Irrigated rice in the Sahel: prospects for sustainable development*. WARDA, Dakar, pp. 311-323
- Diédhiou P. (2019). Flore adventice du riz pluviale des plateaux et des bas-fonds en Basse Casamance dans la commune de Diembering: caractérisation et nuisibilité des espèces. Mémoire de Master 57p.
- Diouf N. (2015). Flore adventice du mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R.Br) et de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la zone de Diobass (Thiès, Sénégal): structure, degré d'infestation et nuisibilité Mémoire de Master 47p.
- Diouf N. (2015). Flore adventice des cultures cotonnières dans le Sénégal Oriental et en Haute Casamance (Sénégal) : Structure, Nuisibilité et Impacts sur la production cotonnière. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 133p.
- Diouf N., Mbaye M.S., Gueye M., Dieng B., Bassène C., Noba K. (2019). Flore adventice des cultures cotonnières dans le Sénégal Oriental et en Haute Casamance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 1720-1736.
- Fall B. (2014). Le Ferlo sénégalais: Approche géographique de la vulnérabilité des anthropo-systèmes sahéliens. Thèse Doct., Université Paris 13 Sorbonne Paris Cité, Paris, France, 379 p.
- Fenni M. (2003). Étude des mauvaises herbes des céréales d'hiver des hautes plaines constantinoises. Ecologie, Dynamique, phénologie et biologie des bromes. Thèse Doc. En Sciences. Univ. Ferhat Abbas, Sétif, 165p
- Ghazanfar S.A. (1989). Savanna plants of Africa. An illustrated guide. Macmillan Publishers, 222 p.
- Guillerm J.L., Maillat J. (1984). Influence de l'environnement sur la flore des vignes désherbées chimiquement. Proc. EWRS 3rd Symp. on weed problems in Mediterranean area. 49-56.
- Guèye, M. (2016). Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf; Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal). Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 164p.
- Guinko S. (1984). La végétation de la Haute Volta. Thèse d'État, Sciences Naturelles, Université de Bordeaux III (France), TOME I, 318p.
- Grime J.P. (1973). Competition and diversity in herbaceous vegetation. *Nature*, 244: 3: 311.
- Halidou A. (2003). Étude de la nuisibilité des mauvaises herbes sur le riz irrigué au Niger in ADRAO Compte rendu de la seconde revue régionale de la recherche rizicole (4Rs 2002). Bouaké, Côte d'Ivoire. 161 p.
- Hutchinson J., Dalziel J.M. (1954). Flora of West Africa. Crown Agent for Overseas Government and Administration, Millbank, London, SW1, 1, 428–429.
- Hutchinson J., Dalziel J.M. (1958). Flora of west tropical Africa. Vol. 1, Part 2. Whitfriars Press, London, 828 p.
- Hutchinson J., Dalziel J.M. (1954-1972) - Flora of west tropical Africa, The British West African Colonies, British Cameroons, the French and Portuguese Colonies south of the Tropic of Cancer to Lake Chad, and Fernando Po.
- Hutchinson P., Dalziel J. M., Keay R.W.J., Hepper F.N. (1958). Flora of West Tropical Africa. Vol 1 Part 2. 2nd Ed. Whitefriars Press Ltd, London, Tonbridge, England, 828p.
- Kâ S.L. (2015). Les adventices de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) dans la zone périurbaine de Dakar: caractérisation de la flore et nuisibilité des espèces Mémoire de Master 42p.
- Kâ S.L. (2019). La flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en Haute Casamance (Sénégal): structure, dynamique, nuisibilité et calendrier de désherbage Doctorat unique. Cheikh Anta Diop, Dakar. 168p.
- Kâ S.L., Mbaye M.S., Gueye M., Bamba B., Ly M.O., Diouf N., Noba K. (2017). Systematic composition, life forms and chorology of fallow lands in Eastern Senegal and Casamance, Senegal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11: 2573-2586.
- Kâ S.L., Mbaye M.S., Gueye M., Camara A.A., Dieng B., Noba K. (2019). Flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance, zone soudanienne du Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13: 411-425.
- Kane A. (2014). Les champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) dans le sud du bassin Arachidier du Sénégal: diversité et impact des pratiques culturales sur la mycorrhization et le Développement de trois cultures et de leurs adventices. Thèse de Doctorat d'état es Sciences Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
- Kazi Tani, C., Le Bourgeois T., Munoz, F. (2010). Aspects floristiques des adventices du domaine phyto-géographique oranais (Nord-Ouest algérien) et persistance d'espèces rares et endémiques. *Fl. Medit.*, 20: 29-46.
- Koulibly A., Goetze D., Traore D., Porembski S. (2006). Protected versus exploited savannas: characteristics of the Sudanian vegetation in Ivory Coast. *Candollea*, 61: 425-452.
- Le Bourgeois T. (1993). Les mauvaises herbes dans la rotation cotonnière au Nord-Cameroun (Afrique) - Amplitude d'habitat et degré d'infestation - Cycle de développement. Thèse de Doctorat, USTL, Montpellier, France, 241p.
- Le Bourgeois T., Marnotte P. (2002). Modifier les itinéraires techniques: la lutte contre les mauvaises herbes. In: Mémento de l'agronome. Montpellier, France, CIRAD. Pp. 663-684.
- Le Bourgeois T., Merlier H. (1995). Adventrop. Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne. Montpellier, France, CIRAD-CA éd., 640 p.
- Lebrun J. (1966). Les formes biologiques dans les végétations tropicales. *Bull. Sco. Bot. France*, 164- 175.
- Lebrun J.-P. (1973). Énumération des plantes vasculaires du Sénégal. Étude botanique n° 2, 52 p.
- Lebrun J.P., Stork A. (1991). Énumération des Plantes à Fleurs d'Afrique Tropicale (vol I, II, III, IV). Édition des conservatoires et jardin botaniques de la ville de Genève.
- Lejoly J., Ndjele M. B., Geerinck D. (2010). Catalogue-Flore des plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo (RD Congo). *Taxomania*, 30: 308 p.
- Lonchamp J.P., Barralis G. (1988). Caractéristiques et dynamique des mauvaises herbes en région de grande culture: le Noyonnais (Oise). *Agronomie*, 8:757-766.
- Loudyia M. C., Godron M., Khyari D.E. (1995). Influence des variables écologiques sur la distribution des mauvaises herbes des cultures du Sais (Maroc central). *Weed Research*, 35: 225-240.
- Maillat J. (1981). Évolution de la flore adventice dans le Montpelliérain sous la pression des techniques culturales. Thèse de Docteur - Ingénieur, Biologie et Écologie Végétales, USTL, Montpellier (France), 200 p.
- Mabberley D.J. (1997). The plant-book: a portable dictionary of the vascular plants. Cambridge University Press, 858 p.

- Mballo R., Bassène C., Mbaye M.S., Diallo S., Camara A.A., Noba K. (2018). Caractérisation de la flore adventice du riz irrigué dans quatre sites d'expérimentation dans la vallée du fleuve Sénégal. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 38: 6257-6271.
- Mballo R. (2019). Les communautés adventices du riz irrigué dans la vallée du fleuve Sénégal: structure de la flore, amplitude d'habitat et degrés d'infestation des espèces et amélioration de la gestion de l'enherbement. Thèse Unique de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop. 174 p.
- Mbaye M.S., Noba K., Sarr R.S., Kane A., Sambou J.M., Ba A.T. (2001). Caractères spécifiques d'identification au stade jeune plant d'adventices sénégalaises du genre *Corchorus* L. (Tiliaceae). *Ann. Bot. Afr.*, 1: 35-42.
- Mbaye M.S. (2002). Contribution à l'étude Biosystématique Du Genre *Corchorus* L. (Tiliaceae) Au Sénégal. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop De Dakar. 82 p.
- Mbaye M.S. (2013). Association mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] et niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: arrangement spatio-temporel des cultures, structures, dynamique et concurrence de la flore adventice et proposition d'un itinéraire technique. Thèse de Doctorat d'état, UCAD. 236 p.
- Mbayngone E. (2008). Flore et végétation de la réserve partielle de la faune de Pama Sud-est du Burkina-Faso. Thèse Unique, Université Ouagadougou, 138 p.
- Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (2015). Stratégie nationale et plan d'actions pour la biodiversité, 66 p.
- Melom S., Mbayngone E., Bechir A.-B., Ratnan N., Mapongmetsem P.-M. (2015). Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad (Afrique centrale). *J. Anim Plant Sci.*, 25: 3799-3813
- Merlier H., Montégut J. (1982). Adventices tropicales. Flore aux stades plantule et adulte de 123 espèces africaines ou pantropicales. Ministère des relations extérieures. 490 p.
- Miderho C.C., Birimwiragi F., Kadorho A., Bisimwa B., Shamamba D., Safar I., Nkumba B., Masamba W.J. (2017). Inventaire floristique des mauvaises herbes dans une caféiculture en pure dans le territoire de Kabare, DR Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 119: 11904- 11916.
- Ministère de l'agriculture (1996). Sénégal: rapport de pays pour la conférence technique internationale de la FAO sur les ressources phytogénétiques. Leipzig- FAO. 30 p.
- Noba K., Ba A.T., Caussanel J.-P., Mbaye M.S., Barralis G. (2004). Flore adventice des cultures vivrières dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal). *Webbia*, 59: 293-308.
- Noba K. (2002). La flore adventice dans le sud du bassin arachidier (Sénégal): structure, dynamique et impact sur la production du mil et de l'arachide. Thèse de Références bibliographiques Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 137 p.
- Noba K., Ba A.T. (1992). Réexamen de la systématique de 3 espèces du genre *Boerhavia* L. (Nyctaginaceae). *Webbia*, 46: 327-339.
- Noba K., Ba A.T. (1998). La végétation adventice du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf. Et Hubbard) dans le Centre Ouest du Sénégal: étude floristique et phyto-sociologique. *AAU Rapports*, 39: 113-125.
- Noba K., Samb P.I., Ba A.T. (1994). Sur quelques caractères macro et micromorphologiques du jeune plant dans la systématique de trois espèces du genre *Boerhavia* L. (Nyctaginaceae). *Bull IFAN Sér ACA Diop*, 47: 51-62.
- Orkwor B.N. (1983). Problems of weed control in mixed cropping systems in the least developed countries. Compte rendu de la deuxième conférence bisannuelle SOAM/WAWSS, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 95-113.
- Pelissier P. (1983). Atlas du Sénégal. Jeune Afrique: Paris.
- Poilecot P. (1995). Les Poaceae du Côte-d'Ivoire. Boissiera. 50, 766 p.
- Poilecot P. (1999). Les Poaceae du Niger. Édition des conservatoires et jardin botaniques de la ville de Genève: Boissiera. 56, 766p.
- Raunkiaer C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon, Press Oxford. 623p.
- Raynal A. (1963). Flore et végétation des environs de Kayar (Sénégal) de la cote au lac Tama. *Annales Faculté des Sciences Dakar*, 9: 121-231.
- Raynal A. (1961). Flore et végétation des environs de Kayar (Sénégal): de la côte au lac Tamna. *Ann. Fac. Sciences 9, Série Sciences Végétales*, 2: 121-231.
- Rodale Institute et Green Sénégal (2000). Pour le Développement d'une Agriculture Régénératrice au Sénégal. Rapport National du projet de recherche: Les politiques qui marchent pour l'agriculture durable et la régénération des économies rurales. 155 p.
- Sambou J.M. (2000). Contribution à l'étude biosystématique de quatre espèces du genre *Eragrostis* Wolf au Sénégal. Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, 75 p.
- Sarr R.S., Mbaye M.S., Ba A.T. (2007). La flore adventice des cultures d'oignon dans la zone péri-urbaine de Dakar (Niayes) Sénégal. *Webbia*, 62: 205-216.
- Sidybé M. (2019). Étude des propriétés herbicides des extraits de feuilles de *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., sur les principales adventices de Mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) dans le Sud du bassin arachidier du Sénégal (Nioro du Rip). Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 200p.
- Taleb A., Maillat J. (1984). Mauvaises herbes des céréales de la Chaouia (Maroc). I. Aspect floristique. *Weed research*, 34: 345- 352.
- Taleb A., Bouhache M., Rzozi S.B. (1998). Flore adventice des céréales d'automne au Maroc. *Actes Inst. Agron. Vet. Hassan II*, 18: 121-130.
- Thiombiano A., Schmidt M., Dressler S., Ouédraogo A., Hahn K., Zizka G. (2012). Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. Mémoires de botanique systématique, volume 65. Conservatoire et jardin botaniques de la Ville de Genève. 391 p.
- Traoré H. (1991). Influence des facteurs agro-écologiques sur la constitution des communautés adventices des principales cultures céréalières (sorgho, mil, maïs) du Burkina Faso. Thèse de doctorat en Agronomie, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, France, 180 p.
- Traoré H., Maillat J. (1992). Flore adventice des cultures céréalières annuelles du Burkina Faso. *Weeds Research*, 32: 279-293.
- Trochain J. (1940). Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Librairie Larousse Paris V.
- Trochain J.-L. (1966). Types biologiques chez les végétaux intertropicaux (Angiospermes). *Bulletin de la Société Botanique de France*, 113: 187-196.
- UINCEN/RENZO (2002). La grande Niaye de Dakar: Problématique urbaine et enjeux environnementaux. 22 p.
- Villiers A. (1957). Aperçu sommaire sur le peuplement des Niayes de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Bulletin de l'IFANT. 19, sér. A*, 1: 333-345.
- Vanden Berghen C. (1988). Flore Illustrée du Sénégal IX. Gouvernement du Sénégal, Dakar. 522 p.
- Vanden Berghen C. (1991). Monocotylédones et Ptéridophytes. In Flore illustrée du Sénégal. Dakar, Sénégal. Ministère du Développement rural et de l'Hydraulique, Direction des Eaux et Forêts. 490 p.
- Raunkiaer C. (1934). The Life Forms of Plants and Statistical Plants Geography. Clarendon Press: Oxford.
- Sarr R.S., Mbaye M.S., Bâ A.T. (2007). La flore adventice des cultures d'oignon dans la zone péri-urbaine de Dakar (Niayes) Sénégal. *Webbia*, 62: 205-216.
- Yoka J., Loumeto J.-J., Djego J., Vouidibio J., Epron D. (2013). Évaluation de la diversité floristique en herbacées des savanes de la cuvette congolaise (République du Congo). *Afr. Sci.*, 9: 110 – 123.
- Zidane L., Salhi S., Fadli M., Antri E.M., Taleb A., Douira A. (2010). Étude des groupes d'adventices dans le Maroc occidental. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14:153-166.

Diversité des méthodes d'effarouchement des oiseaux dans les agro-écosystèmes du Bénin

H. AGOSSOU¹; G. S. NAGO², T. O. LOUGBEGNON³, S. H. BIAOU¹

(Reçu le 16/11/2022 Accepté le 24/02/2023)

Résumé

Les conflits entre l'Homme et la faune sont accentués le plus souvent par les dommages causés aux cultures. C'est bien le cas de l'avifaune qui en groupe de prédateur arrive à réduire considérablement les récoltes. Cette étude vise à connaître les moyens utilisés par les agriculteurs pour protéger les cultures des activités déprédatrices des oiseaux granivores et frugivores dans les agro-écosystèmes du Bénin. La collecte des données a été réalisée auprès de 713 agriculteurs dans sept communes représentant chacune une zone agro-écologique. Les résultats ont montré une diversité de méthodes utilisées dans les différentes zones sous diverses formes. De plus, il existe une forte corrélation entre les cultures et les techniques d'effarouchement des oiseaux. Cette étude a également révélé que les populations de certaines zones utilisent plusieurs techniques d'effarouchement de la faune ornithologique déprédatrice des cultures dont bon nombre ne sont pas connues. C'est le cas de la coupe des épis à Boukoubé et quelques techniques traditionnelles plus pratiquées dans la région de Bantè.

Mots clés: Diversité, Méthodes d'effarouchement, oiseaux, Agro-écosystème, Bénin

Diversity of bird scaring methods in agro-ecosystems of Benin

Abstract

Conflicts between humans and wildlife are most often accentuated by the damage caused to crops. It is the case of the avifauna which as a group of predators considerably reduce harvests. This study aims to find out the means used by farmers to protect crops from the predatory activities of granivorous and frugivorous birds in Benin's agro-ecosystems. Data were collected from 713 farmers in seven communes, each representing an agro-ecological zone. Results showed a diversity of methods and forms used in the different zones. In addition, there was a strong correlation between crops and bird scaring techniques. This study also revealed that people in some areas use several techniques to scare crop-destroying birdlife, many of which are not widely known. This is the case of cutting corn ears in Boukoubé and some traditional techniques used in the region of Bantè.

Keywords: Diversity, Scaring methods, birds, Agro-ecosystem, Benin

INTRODUCTION

La lutte contre les oiseaux prédateurs des cultures est l'une des préoccupations auxquelles font face les agriculteurs en général et ceux des pays en développement en particulier. Cette lutte contre les oiseaux prédateurs a toujours été le grand défi de tous les temps (Botha et al., 2018) puisque les grandes pertes de cultures sont occasionnées par les ravageurs (rongeurs, les oiseaux, les nématodes). Ainsi, plusieurs producteurs pour pallier aux attaques des ravageurs installent des techniques traditionnelles de lutte telles que le gardiennage des cultures, le lancer des projectiles, l'usage des répulsifs auditifs et visuels, les pièges mécaniques (Sikirou et al., 2018), la coupe des perchoirs à proximité des cultures, la destruction des nids de quelea (Buba et al., 2013) sont des techniques traditionnelles utilisées par les producteurs. La gestion de *Quelea quelea* en tant qu'oiseau nuisible dans l'État de Borno a posé problème, prenant en compte les aspects liés à la santé humaine et d'autres pertes économiques (Buba et al., 2013). Selon ces mêmes auteurs, l'utilisation des répulsifs auditifs, visuels et le piégeage restent les techniques les plus efficaces de contrôle des oiseaux des champs. Or, l'usage des pièges mécaniques et des avicides détruit la faune ornithologique tout en le débarrassant des espèces du sol indispensable à l'élimination des insectes nuisibles ou non peuplant la flore édaphique. Buba et al., (2013) et Ezealor (1994) ont signalé que l'utilisation d'avicides pour lutter contre le Quelea à bec rouge affecte d'autres espèces d'oiseaux et d'autres biotes de la région. C'est à juste titre que Bouet et al., (2017) proposent l'usage des répulsifs à

base d'anthranilate de méthyl permettant de réduire de 45 à 80 % les pertes causées par les oiseaux tout en les préservant. Les travaux effectués par Elliott et Bright (2007) ont révélé que les techniques d'effarouchement telles que l'utilisation des cris humains, l'emploi de toutes formes de bruits, des projectiles lancés aux oiseaux et des cordes avec des canettes et bouteilles en rotation dans les champs sont traditionnellement utilisées partout en Afrique, ce qui permet d'éloigner les oiseaux des cultures sans leur créer de dommages. Pour Ruelle et Bruggers (1982), deux approches générales sont utilisées dans les pays africains pour réduire les pertes de céréales occasionnées par les oiseaux. Ainsi, les techniques de suppression de la population, notamment les applications avicides aériennes et terrestres, les explosifs, la destruction manuelle des nids et des techniques de protection des cultures en l'occurrence les effaroucheurs, les répulsifs chimiques, les filets d'exclusion et les modifications des pratiques agricoles. Au-delà de ces techniques, les agriculteurs Philippins s'adonnent à des rituels traditionnels visant l'effarouchement de la faune aviaire et qui contribueraient indirectement à la protection des cultures (Savary et al., 2000). Elliott et Bright (2007) notent l'usage de fétiches par les producteurs nigériens. La délicatesse de ces deux dernières méthodes est telle que les producteurs exigent un certain nombre de conditions afin que ces différentes techniques soient actives; pas de femme urinant dans le champ ni celle traversant le domaine, pas de coupe de bois ni de cris dans le domaine (Elliott et Bright., 2007). Les travaux menés par Villeneuve (2013) sur les techniques d'effarouchement ont permis de reconnaître

¹ Laboratoire d'Écologie, de Botanique et de Biologie végétale, Université de Parakou, Bénin

² Université Nationale d'Agriculture de Porto-Novo, Bénin

l'efficacité de 57 % des effaroucheurs sonores utilisant les cris de détresse contre 68 % des utilisateurs des canons.

Caractériser les techniques de lutte anti-aviaire tout en relevant leur efficacité dans les agro-écosystèmes permettra de préserver la faune ornithologique des agro-écosystèmes par ricochet les pertes enregistrées au niveau des cultures. Pour y parvenir, cette étude se fixe comme objectif de répertorier les différentes techniques de lutte anti-aviaire puis d'analyser la relation entre la diversité des méthodes de lutte anti-aviaire et les caractéristiques socio-démographiques. Elle vise donc à élucider l'influence des caractéristiques socio-démographiques sur la diversité des méthodes de lutte anti-aviaire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'aire d'étude

La République du Bénin couvre 114 763 km² et est située entre 6°30' et 12°30' de latitude Nord et 1° et 3°40' de longitude Est (Adam et Boko, 1993; Yabi et al, 2018). Elle est bordée au nord par les républiques du Niger et du Burkina Faso, au sud par l'océan Atlantique, à l'ouest par la République du Togo et à l'est par la République du Nigeria. Au cours des 25 dernières années, une méthode de zones agro-écologiques (ZAE) a été développée, qui fournit un cadre standardisé pour caractériser les conditions climatiques, pédologiques et foncières pertinentes pour la production agricole. Ainsi, la République du Bénin est subdivisée en huit zones agro-écologiques en fonction de l'importance de la production agricole dans chaque zone. La majorité de ces communes produisent une spéculiation abondante qui attire les oiseaux. En conséquence, les agriculteurs ont développé plusieurs méthodes pour effaroucher les oiseaux prédateurs. La figure 1 montre la position géographique des communes échantillonnées pour cette étude.

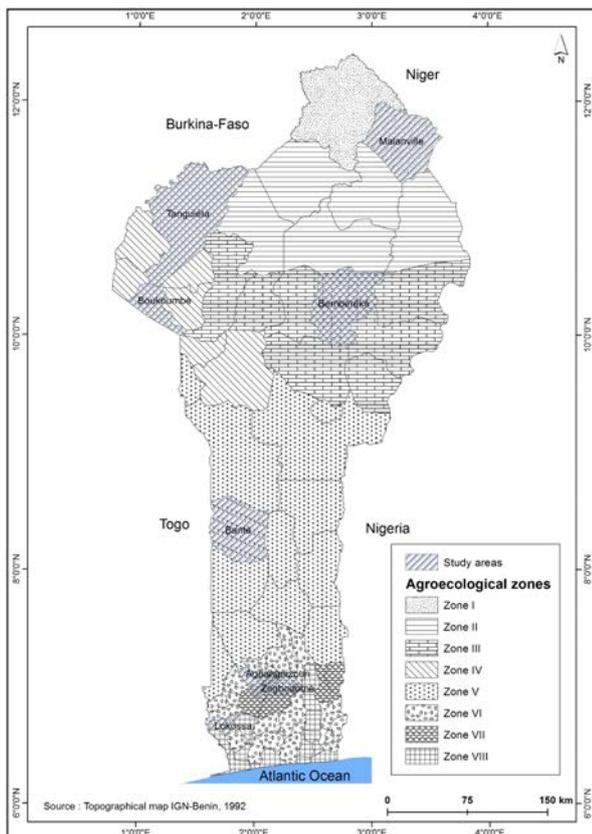


Figure 1: Carte du Bénin montrant les huit zones agro-écologiques et les communes échantillonnées pour l'étude

Collecte et analyse des données

Les données ont été collectées dans sept communes dont chacune représente une zone agro-écologique. Il s'agit de Agbangnizoun, Bantè, Boukoubé, Gogounou, Lokossa, Malanville, Zogbodomey. Dans chacune des communes cibles, de grandes zones agricoles ont été identifiées. Ensuite, des portions représentatives de ces zones ont été délimitées de façons stratifiées. Ainsi, les différentes formes d'agro-écosystèmes ont été prises en compte dans les mesures de délimitation afin de pouvoir inventorier toutes les méthodes d'effarouchement utilisées d'un type d'agro-écosystème à un autre (Mais, Riz et soja). Ces spéculations ont été choisies compte tenu de leur représentativité et leur disponibilité dans les communes ciblées car toutes les zones agro-écologiques en produisent et de façon abondante avec à la clé l'usage de méthodes d'effarouchement pour réduire l'impact de la visite des oiseaux sur leur production. Pour mesure de vérification et de confirmation, les unités d'observations sont présentées aux agriculteurs. Auprès de ces agriculteurs, des données ont été collectées dans les communes citées. Les ménages ont été sélectionnés de manière aléatoire. Un total de 714 agriculteurs ont été interrogés dans les localités des communes cibles (Tableau 1).

Tableau 1: Répartition des enquêtes selon les communes

Communes	Nombre d'enquêtes
Agbangnizoun	102
Bantè	95
Boukoubé	102
Gogounou	102
Lokossa	112
Malanville	102
Zogbodomey	98
Total	714

L'application KoBoCollect et la plateforme koboToolbox (www.kobotoolbox.org) ont été utilisés comme des instruments de collecte de données (Nampa et al, 2020). En effet, l'application KoBoCollect et la plateforme koboToolbox permettent d'insérer le questionnaire sous forme de formulaires qui peut être remplis rapidement dans un smartphone ou une tablette. Chronologiquement, il se fait en quelques étapes à savoir: l'élaboration du questionnaire de recherche sous forme numérique, son insertion sur le serveur KoBoToolbox, le déploiement du formulaires/questionnaires et son téléchargement à partir du smartphone sur kobocollect. Les données collectées grâce à des agents enquêteurs d'appui disposant d'un smartphone sur lequel figure l'application Kobocollect.

Inventaire des méthodes d'effarouchement

La méthode utilisée est une combinaison d'inventaire par ligne ou parfois de point d'observation fixe pour dénombrer les méthodes de lutte rencontrées ou observées sur les sites d'étude. Ceci en raison des types d'agro-écosystèmes et l'applicabilité sur le terrain de l'un des techniques d'inventaire choisi. Le principe consiste à parcourir une ligne L minutieusement choisie, en scrutant de part et d'autre de l'axe pour détecter d'éventuels méthodes d'effarouchements installées (Niandou et al, 2016) ou leurs traces. Pen-

dant la prospection, des arrêts sont effectués chaque fois qu'il le fallait pour les prises de vues et pour s'assurer des méthodes en place ou voir de plus près certaines méthodes d'effarouchement qui ne sont pas forcément visible à des distances données. Les méthodes d'effarouchement dont les noms ne sont pas connus sont identifiées par la suite avec l'appui des agriculteurs grâce aux images prises sur le terrain. Le recensement est fait à tous les stades de production (Stade végétatifs). Tous les contacts auditifs (Pour certaines catégories de méthode d'effarouchement) ou visuels sont notés sans limitation de distance. Les points d'écoutes sont tous sur les transects installés. Au contact d'une méthode d'effarouchement, les notes sont prises dans une tablette à travers l'application KoboCollect et une photo est systématiquement prise.

Enquête auprès des agriculteurs

Dans le but d'avoir une catégorisation des différents espèces d'oiseaux selon leur mode d'action en milieu agricole, leur nom locaux et la description des méthodes d'effarouchement inventoriées, un complément d'information par enquête est réalisé. Ceci à travers l'administration d'un questionnaire à 714 agriculteurs par le biais de l'application «Kobocollect». Les données recueillies comprenaient les méthodes d'effarouchement utilisées, leur description et mode de fonctionnement puis leur relation avec les spéculations (Si une méthode est plus adaptée pour une spéculation donnée).

Analyse des données

Les données collectées ont été ensuite générées automatiquement par le biais de la plateforme kobotoolbox (www.kobotoolbox.org). C'est ce fichier en format XLS qui est utilisé pour les analyses. Dans le but de caractériser les techniques de contrôle de l'avifaune dans les champs, la valeur d'usage des techniques de lutte anti-aviaire a été déterminée grâce au package ethnobotayR. Quant à la valeur de la diversité des techniques, elle a été déterminée grâce au package vegan.

Par ailleurs, nous avons évalué l'effet du sexe et de l'ethnie sur la diversité des techniques de lutte anti-aviaire à travers une régression de la distribution de la famille poisson. Cette régression est réalisée grâce au package MASS du logiciel R 4.0.1. Le choix des variables du modèle a été effectué par une analyse du tableau des déviations par la fonction Anova.

RÉSULTATS

Catégorisation des oiseaux selon les enquêtés

Les communautés enquêtées ont un point de vue très large des oiseaux qui visitent le milieu agricole. À chaque espèce, une appréciation selon leurs observations. Ainsi, la figure 2 met en exergue une série de catégorisation des oiseaux qui visitent le milieu agricole selon les enquêtés. Sept catégories d'oiseaux sont répertoriées. Dans cette logique, on retrouve les oiseaux déprédateurs des champs avec une proportion de 83,3% contre 0,14% pour les oiseaux visiteurs et importants. Ceci pourrait être dû à la disponibilité des ressources qui attireraient plus de déprédateurs à tous les stades végétatifs.

Les techniques de contrôle des oiseaux déprédateurs des cultures

Au total, seize techniques de contrôle des oiseaux champêtres sont utilisées par les producteurs dans les agro-écosystèmes des zones prospectées. La figure 3 présente les différentes techniques de protection des cultures recensées dans les agro-écosystèmes et leur proportion d'usage. La majorité des enquêtés pratique la surveillance (42,2%) quel que soit le type de culture considérée. Ceci s'explique par le fait que la surveillance est l'une des techniques qui pourrait prendre en compte les différentes actions d'effarouchement possible (Élimination, dissuasion) par rapport aux autres techniques. De plus, la présence humaine limite les mouvements des espèces dans les agro-écosystèmes car les espèces se sentent menacées. Cette technique est suivie de l'épouvantail et de l'avicide. Les autres techniques sont moins pratiquées (hameçon, sachet, piège...) avec des taux d'usage allant de 0,14% à 0,70% car nécessitant plus d'énergie et comportent des risques même pour le propriétaire du champ (Exemple: Piège, avicide...).

Au-delà des combinaisons qu'indique la figure 3, d'autres types de combinaison ont été pratiqués par les agriculteurs pour une meilleure réussite de leur campagne agricole. Selon les enquêtés, il arrive que les agriculteurs utilisent les pièges mécaniques, les sons de cloche, les fils de cassette, les filets et les avicides. D'autre part, les agriculteurs utilisent le mélange des résidus de pile ronde et les triturés de feuilles de neem (*Azadirachta indica*) pour effaroucher et/ou pour éloigner les déprédateurs des cultures. L'ensemble de ces techniques permettent de parler de méthodes de lutte anti-aviaire.

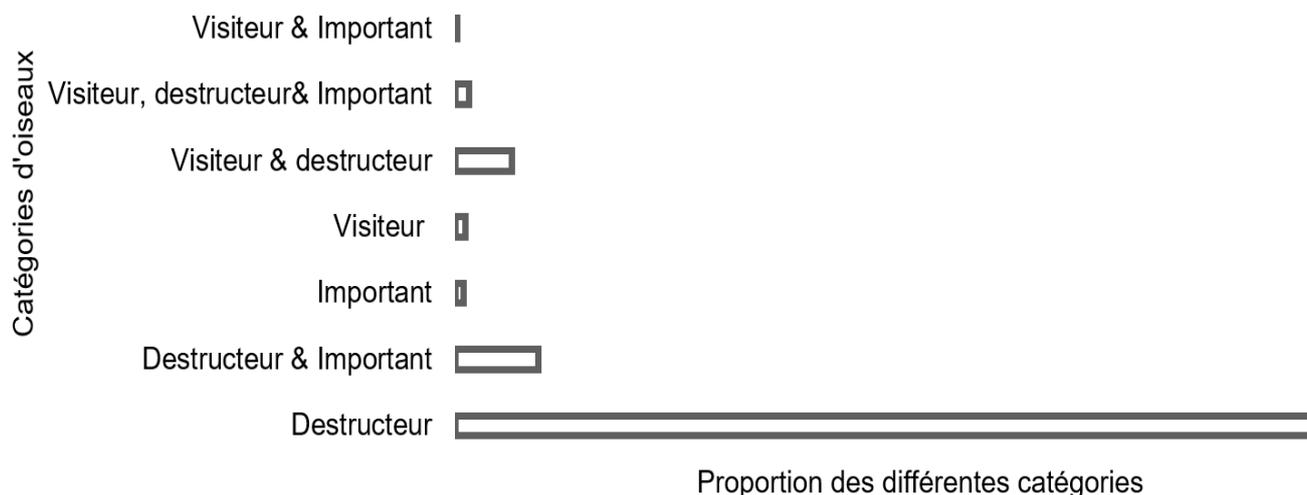


Figure 2: Proportion d'oiseaux selon les catégories énumérées par les agriculteurs

Caractérisation des techniques de contrôle de l’avi-faune des champs

L’ensemble des techniques répertoriées constituent les formes de lutte utilisées couramment par les populations pour faire face aux pertes dues aux oiseaux. Il existe une multitude de technique utilisées qui ont été réparties en quatre catégories à savoir: les répulsifs visuels (épouvantail, la patrouille, ...), les répulsifs auditifs (les sons de cloche, les armes à feu, les cris, ...), les répulsifs d’exclusion (constitué de répulsifs mécaniques et chimiques) et les répulsifs traditionnels. Au-delà de ces quatre catégories, les agriculteurs travaillent a combiner plusieurs de ces répulsifs à la recherche d’efficacité.

Les répulsifs visuels sont largement répandus et très pratiqués dans la zone d’étude avec un pourcentage de pratiquant de 29,2 % à Agbangnizoun, 29,0 à Bantè, 17,4 % à Boukoumbé, 24,0 % à Gogounou, 18,0 % à Lokossa, 19,0 % Malanville et 26,7% à Zogbodomey (Tableau 2). Ces répulsifs visuels sont pour la plupart inoffensifs pour la faune aviaire. Il s’agit entre autres des épouvantails fabriqués traditionnellement avec des vêtements usés accrochés partout dans les champs permettent de dissuader les oiseaux. Ils sont souvent installés au moment des semis et y restent jusqu’à la récolte s’ils ne sont pas emportés par les intempéries.

Tableau 2: Proportion des méthodes de luttes anti-aviaires selon les communes

	Visuelles	Audi-tives	Exclu-sion	Traditio-nelles
Agbangnizoun	30	22	43	6,8
Bantè	29	12	49	10
Boukoumbé	27	18	51	4,0
Gogounou	28	20	49	2,5
Lokossa	25	124	57	5,8
Malanville	19	24	49	8,0
Zogbodomey	30	29	39	2,0

Les répulsifs auditifs sont constitués essentiellement des armes à feu de fabrication artisanale avec des poudres à effets acoustiques lointains. Ils permettent non seulement d’effaroucher les oiseaux mais parfois de les éliminer. Les sons de cloche composés d’un complexe de bouteille et de fer ou de feuilletts de tôle suspendu qui résonnent au gré du vent sont classés dans la même catégorie. C’est une technique qui est pratiquée à hauteur de 21,8% à Agbangnizoun, 13,0% à Bantè, 12,6% à Boukoumbé, 19,0 % à Gogounou, 12,2 % à Lokossa, 24,0 % Malanville et 23,0% à Zogbodomey. On retrouve également dans cette catégorie, les bande de cassette qui résonnent au gré du vent et très réfléchissants à la lumière du soleil, ce qui effraie les oiseaux sans les éliminer.

Les répulsifs d’exclusions sont ceux utilisés à des fin d’élimination. Ils sont sous plusieurs formes (Mécanique ou chimique). Les répulsifs d’exclusion chimiques sont parfois mélangés aux semences pour être efficaces. On retrouve dans cette catégorie les herbicides, les avicides et les produits toxiques nuisibles aux déprédateurs ou à tout être vivant susceptible de le consommer. De plus, la patrouille humaine encore appelé surveillance qui consiste à surveiller les cultures du réveil tôt le matin avec une arme blanche comme une lance pierre ou des cailloux est un type de répulsif mécanique très utilisés sur toutes l’étendue du territoire. Les techniques d’exclusion se pratiquent le plus souvent au semis et au début de la maturation. Pour être efficace, la patrouille se déroule en deux étapes à savoir très tôt le matin (moment d’intense activité des oiseaux) jusqu’à l’apparition du soleil et l’après-midi correspondant à la deuxième période d’activité intense des oiseaux avant la tombée de la nuit. Elle est pratiquée dans toutes les communes.

Il existe d’autres types de techniques pratiqués par une minorité et non connus de la majorité. Il s’agit de l’usage des composés inoffensifs constitués des extraits des plantes et des déchets obtenus des piles ou de la cendre. Ainsi, le liquide extrait des feuilles de nem par macération aqueuse est généralement mélangé avec les grains de maïs ou de haricot ou d’arachide ce qui lui confère une coloration jaune

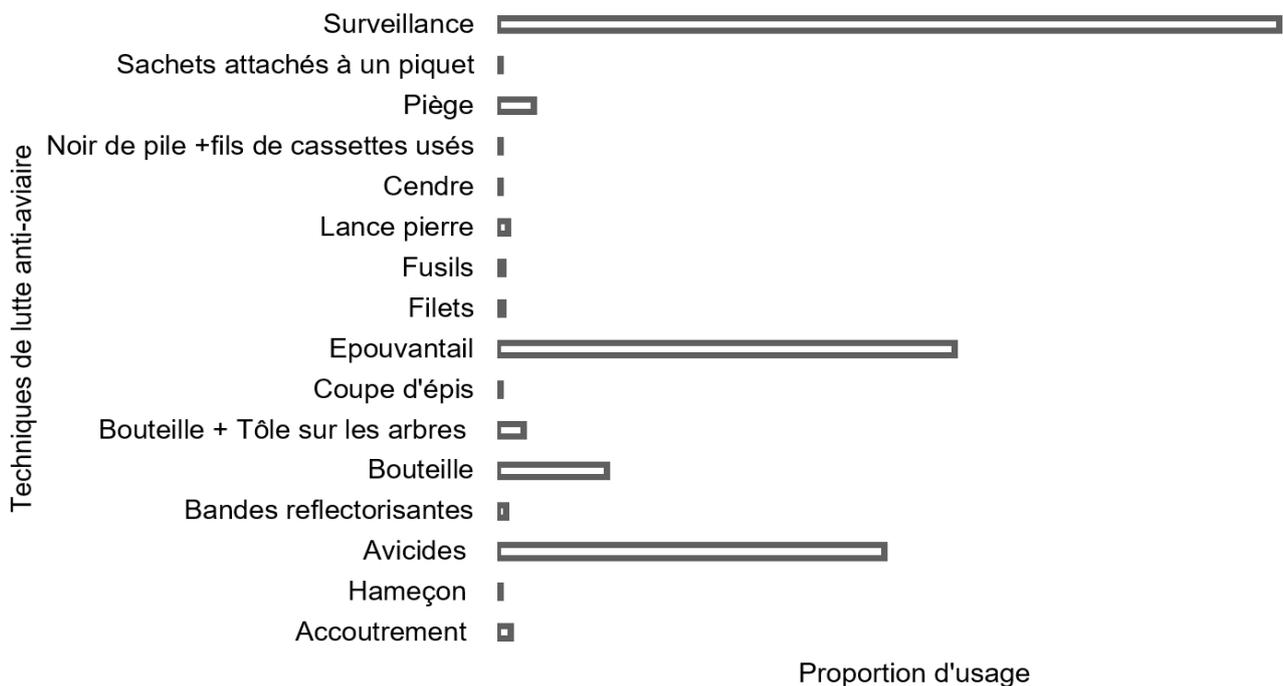


Figure 3: Moyens d’effarouchement des oiseaux champêtres recensés dans la zone d’étude

très répugnante que la majorité des prédateurs, surtout le francolin à double éperon et la poulette des rochers ne supporte pas. Nous l'avons positionnés dans la catégorie chimique des répulsifs d'exclusion à cause de ses effets. 8 % des agriculteurs de Malanville la pratique, les agriculteurs d'Agbangnizoun s'y intéressent à hauteur de 9,8 %, Bantè 11,0 %, Boukoubé 19,0 %, Gogounou, 9,5 %, Lokossa 13 % puis Zogbodomey 11,0 %. Selon quelques enquêtés, la couleur jaune serait l'ennemi des oiseaux en milieu Kotafon et N'tcha et le goût amer ne donne pas l'appétit aux oiseaux. Par ailleurs, certains enquêtés utilisent la cendre qu'ils mélangent aux semences pour leur changer de couleur afin d'amener les oiseaux à ne pas reconnaître facilement les semences mises en terre. Enfin, dans la commune de Malanville, quelques agriculteurs utilisent le miellat (produit collant extrait des plantes), qu'ils étalent sur des branches qui servent de perchoirs aux oiseaux. Ce dispositif leur permet de réduire l'effectif des oiseaux en s'approvisionnant en protéines animales. Il faut noter que tous les producteurs combinent les différentes techniques de contrôle de la faune ornithologique dans les agro-écosystèmes.

Pour une meilleure réussite de contrôle des ravageurs des cultures, les producteurs combinent plusieurs méthodes passant des acoustiques aux visuelles et même chimiques. Ainsi, pour éloigner les tisserins ravageurs des cultures de maïs de la région de Tiko, les populations agricoles utilisent des jets de pierre, des battements de mains, des tambours et des pesticides (Maurice *et al.*, 2019).

Valeurs d'usage des méthodes de luttés

Le tableau 3 présente les valeurs d'usage des techniques de lutte anti-aviaire en fonction des cultures. Il ressort de ce tableau que les techniques d'usages sont plus utilisées dans la combinaison de culture (VU= 254,3). Tandis que, dans les cultures de Riz et Maïs ayant la plus grande diversité en termes de technique à une faible valeur d'usage (VU=65,8).

Tableau 3: Valeurs d'usage et indice de diversité des techniques de luttés anti-aviaire

Culture	Valeur d'usage (VU)	Diversité (H)	Équitabilité de piélou
Soja-Maïs-Riz	254,3	2,25	0,591
Maïs-Soja	134,7	2,24	0,5891
Maïs- Riz	65,8	2,26	0,593

Les valeurs de l'équitabilité de piélou permet de dire que les différentes techniques de luttés témoignent d'une certaine homogénéité dans les cultures utilisées (Tableau 3).

Effet des facteurs socio-démographique sur la diversité des techniques de lutte anti-aviaire

La diversité des techniques de luttés anti-aviaire est significativement influencée par le sexe et l'ethnie (Tableau 4). La diversité est significativement élevée chez producteur de sexe masculin ($\beta=0,60\pm0,29$; $z=2,095$; $p=0,036$). Aussi, cette diversité est significativement faible chez les ethnies Holi comparativement aux Bariba ($\beta=-1,27\pm0,57$; $z=-2,23$; $p=0,026$).

DISCUSSION

L'étude explore les différentes méthodes de lutte anti-aviaires et l'effet des caractéristiques socio-démographique sur leur diversité. Elle a permis de révéler qu'une grande diversité de méthodes de luttés anti-aviaire est utilisée au Bénin sous plusieurs formes. Ainsi, plusieurs moyens contribuent à la protection des cultures parmi lesquels les lances pierres, les bandes des cassettes dont la vibration effarouche les oiseaux, les épouvantails comme en remplacement du producteur permettant aussi d'effaroucher les oiseaux. Ces techniques listées sont comparables à la liste des techniques publiées par Adékola *et al.*, (2019).

Ces méthodes répertoriées ont été classées en quatre grandes catégories à savoir: les méthodes auditives, les méthodes visuelles, les méthodes d'exclusions et les méthodes mixtes. Ces différentes méthodes ont été classées en trois catégories par bien d'auteur comme Carrier (2002). Mais dans notre cas, la méthode mixte est la quatrième catégorie. Cette méthode est capable de prendre en compte les trois autres méthodes. Cela est due au fait que les populations ayant déjà essayé pendant longtemps les trois autres méthodes ont voulu innover ou sont à la recherche de méthode plus efficaces pour faire face aux oiseaux prédateurs.

Dans l'ensemble, les interventions de l'homme dans ce processus de lutte anti-aviaire se résument en deux stratégies, la première consiste à la protection des sites avec des méthodes variées dont le but est d'éloigner les oiseaux (usage d'épouvantail, usage du bruit sous toutes ces formes, usage de répulsif chimique, usage du filet) et la deuxième consiste à l'élimination des oiseaux. Cette observation est conforme à celle de Clergeau (2000).

Contrairement à toutes ces méthodes utilisées dans certaines localités du Bénin, Mallamaire (2018) a identifié des techniques comme l'épouvantail éclairé par des lampes à pétrole, les détonateurs à carbure utilisés par les agriculteurs en Mauritanie, au Sénégal et au Soudan, ce qui demande assez de moyen financier. Ces techniques sont adaptées aux milieux d'études qui sont à moitié désertiques où les oiseaux ne disposent pas assez de ressources alimentaires comme les fruits sauvages ou insectes et sont obligés de s'attaquer aux cultures. Au-delà de ces techniques Bernard TRECA (1985) a déterminé en Afrique de l'ouest d'autres méthodes comme les cadavres d'oiseaux disposés aux lieux stratégiques des

Tableau 4: Relation caractéristiques socio-démographiques et diversité des techniques

Variable	Estimation	Erreur standard	z value	Pr(> z)
(Constante)	0,286	0,337	0,849	0,3959
Sexe [T,Feminin]	Réf.			
Sexe [T,Masculin]	0,598	0,285	2,095	0,0361*
Ethnie [T,Bariba]	Réf.			
Ethnie [T,Dendi]	-0,644	0,422	-1,525	0,1272
Ethnie [T,Ditamari]	-0,318	0,430	-0,740	0,4593
Ethnie [T,Fon]	-0,153	0,367	-0,416	0,6771
Ethnie [T,Holi]	-1,267	0,570	-2,225	0,0261*
Ethnie [T,Idaasha]	-1,944	1,234	-1,576	0,1151
Ethnie [T,Ifè]	-0,948	0,612	-1,549	0,1215
Ethnie [T,Kotafon]	-0,023	0,384	-0,061	0,9514
Ethnie [T,Nagot]	-18,19	2452,1	-0,007	0,9941
Ethnie [T,Ntcha]	0,065	0,396	0,163	0,8703
Ethnie [T,Peulh]	-1,944	1,234	-1,576	0,1151

Code de significativité: *'0,05

parcelles, les oiseaux de proie comme les rapaces, la cendre rependue au sol, des gri-gri pour éloigner les déprédateurs et aussi la méthode de girophares. Cela dépend des moyens financiers et de la main d'œuvre dont dispose l'agriculteur car il n'est pas facile d'adopter par exemple les rapaces. Les travaux de Bishop *et al.*, (2003) ont permis de déterminer des techniques complémentaires aux techniques répertoriées au Bénin dont les canons à gaz, les chiens dressés, les miroirs et réflecteurs, les fils électriques aériens excluant les oiseaux des parcelles. Après évaluation de ces techniques de dissuadations, on remarque qu'elles sont très coûteuses et seuls les agriculteurs nantis ayant les moyens nécessaires peuvent les adopter. Au Bénin par contre, les techniques utilisées sont plus ou moins adaptées à l'écologie car les oiseaux sont malgré tout des espèces à conserver.

La diversité des techniques de luttes anti-aviaire est significativement influencée par le sexe ($p=0,036$) et l'ethnie ($p=0,026$). Ces résultats diffèrent de ceux trouvés par Bouet *et al.* (2017) où l'effet des répulsifs anti-aviaire est significativement lié aux taux de levé de la plante et au rendement en paddy. De même, une différence des résultats est observé chez Luzia (1983) qui souligne une haute significativité entre les dommages créés par les corbeaux et la date de germination ($r = 0,99$; $P = 0,001$).

CONCLUSION

Cette étude a permis de révéler l'existence de plusieurs techniques de contrôle des oiseaux des champs utilisés par les agriculteurs qui demeurent encore partiellement archaïques. De plus, il est donc évident de souligner que la diversité observé dépend des variables socio-démographiques comme l'ethnie et le sexe. Quant à l'efficacité, elle représente la préoccupation quotidienne des agriculteurs, ce qui les amène à opérer de multiples combinaisons dans l'unique but de réduire les actions des oiseaux déprédateurs. Par ailleurs, l'efficacité des méthodes de contrôle des oiseaux déprédateurs dépend largement de l'effort ou de la persistance du paysan.

Les moyens modernes de contrôle des déprédateurs et la législation sur la protection de la faune sont méconnus des producteurs dans les différentes zone agro-écologiques du Bénin. L'utilisation des méthodes létales telles que les produits chimiques (avicide) et les fusils de chasse ne renvoient pas totalement les oiseaux tant que les cultures restent dans les champs. Vu les pertes énormes enregistrées malgré l'application des techniques de contrôle, un vaste programme d'effarouchement des oiseaux est souhaitable avec des restrictions qui témoignent du respect des textes en vigueur dans le processus. L'efficacité d'une telle mesure pourrait faciliter la lutte contre les oiseaux champêtres afin de contribuer à une autosuffisance alimentaire pour la population productrice.

RÉFÉRENCES

Adekola O.E., Odewumi O.S and Agbelusi E.A. (2019). Avian pest of cereal crops in rainforests and savanna agro-ecological zones, Ondo State, Nigeria. *J. of Res. in For., Wildlife & Environment*, 11: 2141 – 1778.

Botha C.J., Du Plessis E.C., Coetser H., Rosemann M. (2018). Analytical confirmation of imidacloprid poisoning in granivorous Cape spurfowl (*Pternistis capensis*). *Journal of the South African Veterinary Association*, 89: a1637.

Bishop J., McKay H., Parrott D., Allan J. (2003). Review of international research literature regarding the effectiveness of auditory bird scaring techniques and potential alternatives. Food and rural affairs, London, 1-53.

Ruelle P., Bruggers R.L.(1982). Traditional approaches for Protecting cereal crops from birds in Africa. Proceedings of the Tenth Vertebrate Pest Conference.

Bouet A., Boka A., N'Da G.N.E., Lemounou B.F.M., Coulibaly C.K.E., Zagbahi J.K. (2017). Efficacité d'un produit répulsif à base de l'Anthranilate de Methyl sur la pression des oiseaux en riziculture pluviale stricte. *Int. J. of Biol. and Chem. Sci.*, 11: 2856-2866.

Buba Z.M., Ezealor A.U., Balarabe M.L., David D.L., Midau A., (2013). Evaluation of Wild Diet for Red-Billed Quelea (*Quelea quelea*) in Sambisa Game Reserve and its Environs, Borno State, Nigeria. *European Journal of Biological Sciences*, 5: 117-122.

Elliott C., Ephraim B. (2007). Review of the bird pest problem and bird scaring in south west Nigeria.

Treca B. (1985). les possibilités de lutte contre les oiseaux d'eau pour protéger les rizières en Afrique de l'ouest. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 32: 191-213.

Bouet A, Boka A, N' da G N E, Lemounou B F M, Bi C K, Coulibaly Emmanuel et Zagbahi J K, (2017). Efficacité d'un produit répulsif à base d'Anthranilate de Methyl sur la pression des oiseaux en riziculture pluviale stricte. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11: 2856-2866.

Mallamaire L., (2018). la lutte contre les oiseaux granivores en Afrique occidentale. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 8: 141-179.

Schiffers B., Moreira C. (2011). Fondements de la protection des cultures, COLEACP/PIP Press: Brussels, Belgium, 294.

Villeneuve, C. (2013). La problématique des oiseaux en horticulture. Agri-réseaux, Canada.

Elliott C., Bright E., (2007). Review of the bird pest problem and bird scaring in south west Africa.

Bekele E., Azerefegne F., Abate T. (2006). Facilitating the implementation and adoption of integrated pest management (IPM) in Ethiopia: planning workshop 13-15 October 2003 Melkassa Agricultural Research Center, EARO. DCG proceedings.

Niandou F. O., A. A. Oumani, B. Morou, S. Lawali, Y.a Issiaka, L. Saidou, A. Mahamane (2016). Inventaire de l'avifaune dans les champs sous RNA dans le village de Dan Saga au Niger. *Int. Jour. of Innov. and Sci. Res.*, 26: 421-428.

Linz G. M., H. J Homan, S J. Werner, H M. Hagy, W J. Bleier (2011). Assessment of Bird-management Strategies to Protect Sunflowers. *BioScience*, 61: 960-970.

Landry G-A., J. Beaulieu (2015). Stratégies pour diminuer les impacts des oiseaux et des animaux déprédateurs sur les cultures. Mapaq, Canada.

Naef-Daenzer L. (1983). Scaring of carrion crows (*corvus corone corone*) by species-specific distress calls and suspended bodies of dead crows. P 7. <http://digitalcommons.unl.edu>

Maurice ME, Fuashi NA, Mengwi NH, Ebong EL, Awa PD, Dazy NF (2019). The Control Methods used by the Local Farmers to reduce Weaver-Bird Raids in Tiko Farming Area, Southwest Region, Cameroon. *Madridge J. Agric. Environ. Sci.*, 1: 31-39.

Savary S., Willocquet L., Francisco A. E., Castilla N. P., Teng P. S., (2000). Rice Pest Constraints in Tropical Asia: Quantification of Yield Losses Due to Rice Pests in a Range of Production Situations. *Plant Disease*, 84: 357-369.

Sikirou R., Nakouzi S., Adanguidi J., Bahama J. (2018). Reconnaissance des ravageurs du maïs en culture au Bénin et méthodes de lutte. *Fiche technique*. Cotonou, FAO. 28 pp.

Werner Scott J., Linz George M., Carlson James C., Pettit Susan E., Tupper Shelagh K., Santer Michele M. (2011). Anthraquinone-based bird repellent for sunflower crops. USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications. 1379.

Caractérisation des risques agro-climatiques liés à la culture du maïs au nord du Togo sous la variabilité climatique

S. DIYANI¹, I. LONA²

(Reçu le 27/01/2023 Accepté le 01/02/2023)

Résumé

La présente étude porte sur l'analyse des risques climatiques pouvant compromettre la culture du maïs (*Zea mays*) au Nord Togo dans ce contexte de variabilité climatique afin de réduire la vulnérabilité des producteurs de maïs dans la région des Savanes et de la Kara au nord du Togo. La caractérisation des risques agro-climatiques dans l'optique de stratégies d'adaptation sont faites sur la base des données climatique de 1981 à 2017. L'analyse est basée sur le caractère déterministe des risques à travers la détection des tendances et de la variabilité de la pluviosité puis des variations thermiques locales. Les résultats révèlent des risques de démarrage précoces et fin tardive de la saison pluvieuse. L'avènement des fortes pluies et des jours secs en début de saison (Avril-Mai-Juin) ont montré un risque d'inondation, de baisse de la qualité pluviométrique et des risques de sécheresses en début de saison. Globalement, les hausses des températures et des extrêmes thermiques révèlent des risques de stress hydrique dans les deux régions, accentuant ainsi le stress thermique, l'échec de la fécondation, l'augmentation des besoins en eau et le raccourcissement du cycle du maïs entraînant ainsi la baisse des rendements dans la majeure partie de la zone d'étude.

Mots clés: Risque climatique, variabilité, stress, vulnérabilité, Savanes, Kara, Togo

Agro-climatic risks associated with maize production under climate variability in northern Togo

Abstract

The present study focuses on the analysis of climate risks that can compromise maize (*Zea mays*) cultivation in northern Togo in this context of climate variability and change. In order to reduce the vulnerability of maize producers in the Savanah and Kara regions of northern Togo, characterization of agro-climatic risks for to planning adaptation measures is based on climate data from 1981-2017. The methodology used is based on the deterministic nature of the risks through the detection of trends and variability in rainfall and local thermal variations. The results reveal risks of early start and late end of the rainy season. The advent of heavy rains and dry days at the beginning of the season (April-May-June) showed an increase in the risk of flooding, a decrease in rainfall quality and potential risks of droughts in the early season (vegetative phase). Overall, increases in temperature and thermal extremes highlighted risks of high climatic water demand in both regions, leading to increased heat stress, fertilization failure, increased water requirements and shortened crop season, resulting in lower yields in most of the study area.

Keywords: climatic risks, variability, stress, vulnerability, Savanah and Kara, Togo

INTRODUCTION

En Afrique de l'ouest (AO), l'occurrence des extrêmes climatologiques provoquent des désastres et catastrophes sur les ressources (eau, terre, environnement, faunes) et sur les activités (agriculture, élevage, pêche, transport, commerce). Les populations rurales de cette zone de l'Afrique sont les plus sensibles et vulnérables aux événements climatiques extrêmes. La majorité des pays de l'AO ont une économie basée sur l'agriculture à l'instar du Togo, ce qui fait de ce secteur primaire un atout majeur de la réduction de la pauvreté, de l'amélioration de la sécurité alimentaire, et du développement économique.

Les péjorations pluviométriques rendent l'agriculture togolaise très vulnérable. Les irrégularités saisonnières et interannuelles sont dominées par l'augmentation de la température et une forte variabilité de la pluviométrie. La population rurale est majoritairement pauvre et vit spécifiquement de l'exploitation des ressources naturelles et de l'agriculture pluviale fortement exacerbée par les phénomènes climatiques. La production céréalière ne cesse de connaître un essor grandissant dans le secteur agricole. Du fait de l'importance socio-économique que connaissent les céréales au Togo, ils occupent chaque année encore plus de terre à vocation agricole qui sont non proportionnelle au rendement subséquent de nature très variable. La principale céréale cultivée et consommée par les populations

est le maïs. Cependant, la culture du maïs est confrontée, depuis quelques années, aux différents chocs climatiques qui affectent sa productivité. À titre d'exemple, la sécheresse qui a frappé la région de la Kara au cours de la campagne 2013- 2014 a entraîné une baisse de 29 785 tonnes de céréales dont 12 804 tonnes de maïs. Cette situation a affecté 35 777 ménages, soit un total de 249 440 habitants affectés par une situation d'insécurité alimentaire aigüe (DSID, 2013d). Plusieurs efforts sont faits pour le développement agricole à l'instar du Programme National d'Investissement Agricole, de la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNIASAN) et du Mécanisme Incitatif et de Financement de l'Agriculture (MIFA) qui regroupe des projets d'intérêt rural qui sont axés sur le partage de risques. Cependant, ces efforts présentent quelques insuffisances car ils n'intègrent pas de manière significative dans leurs planifications, l'information climatique sur les risques potentiel des cultures. En effet, le rôle et l'importance des services climatiques restent toujours sous-estimés quant à leur application dans une gamme variée du secteur agricole. Ces services peuvent faciliter la prévention et la réduction des risques de catastrophes en milieu agricole à travers une meilleure planification des activités agricole adaptée au paysage climatique. Dans ce contexte, si rien n'est fait, les risques climatiques de plus en plus récurrents et conjugués à la pauvreté rurale auront des effets néfastes sur la production céréalière, surtout celle du maïs.

¹ Centre AGRHYMET, Togo

² Centre Climatique Régional Afrique de l'Ouest et du Sahel, Niamey, Niger

Le nord du Togo est dominé par une population agricole dont la taille des parcelles n'est pas stable car, celle-ci varie en fonction des conditions agro-climatiques. Cette zone est marquée par des occurrences des pauses pluviométriques qui constituent également un facteur d'exposition au risque d'insécurité alimentaire et nutritionnelle (Lamboni, 2017). Même si a priori, selon Egbare (2007), le nord Togo dispose des conditions pluviométriques annuelles pour garantir la culture du maïs, peu d'études relatent le comportement spécifique du climat sur cette culture à l'échelle locale. Le caractère monomodal du régime pluviométrique des régions nord du Togo renforce en partie le seuil de pauvreté de ces régions qui est le plus élevé au Togo. Dans l'optique d'accroître les moyens d'existence des acteurs du paysannat, spécifiquement les producteurs de maïs, il est impérieux de trouver ou de proposer des alternatives à travers un diagnostic des risques climatiques de la zone afin d'améliorer la sécurité alimentaire et de réduire la pauvreté rurale. Ce diagnostic, permettra de mieux cerner la variabilité et les risques climatiques potentiels de la culture au nord du Togo. A cet effet, cette étude a pour objectifs spécifiques (i) d'analyser les grandes tendances de la variabilité climatique au nord Togo et (ii) de caractériser les risques climatiques majeurs de la culture pouvant affecter le maïs au nord du Togo.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude (Figure 1) couvre une superficie d'environ 20 232 km² et est limitrophe au nord par le Burkina Faso, au sud par la région Centrale du Togo, à l'est par le Bénin et à l'ouest par le Ghana. Le climat de la zone d'étude est de type tropical soudanien avec en moyenne un cumul pluviométrique saisonnier de 1100 mm (MERF, 2015). Certes, suffisants pour couvrir les besoins en eau du maïs de 90 jours mais avec d'énormes variabilités interannuelles et intra-annuelles (Adjoussi, 2000).

Données de l'étude

Les données climatiques de la zone d'étude ont été collectées sur la période 1981-2017 sur quatre (04) stations synoptiques et un poste climatologique (Tableau 1). La répartition spatiale des stations choisies, ainsi que leurs caractéristiques, sont illustrées dans la Figure 1 et le Tableau 1.

Matériel végétal

L'Institut Togolais de la Recherche Agronomique (ITRA) au Togo, a développé des variétés précoces adaptés aux conditions agro-écologiques dynamiques des zones de production agricoles. A cet effet, la variété de maïs IKENNE 9449-SR qui a un cycle variétal de 90 jours (Tableau 2) et un rendement potentiel de 5 t/ha (MAEP, 2012) a été utilisée.

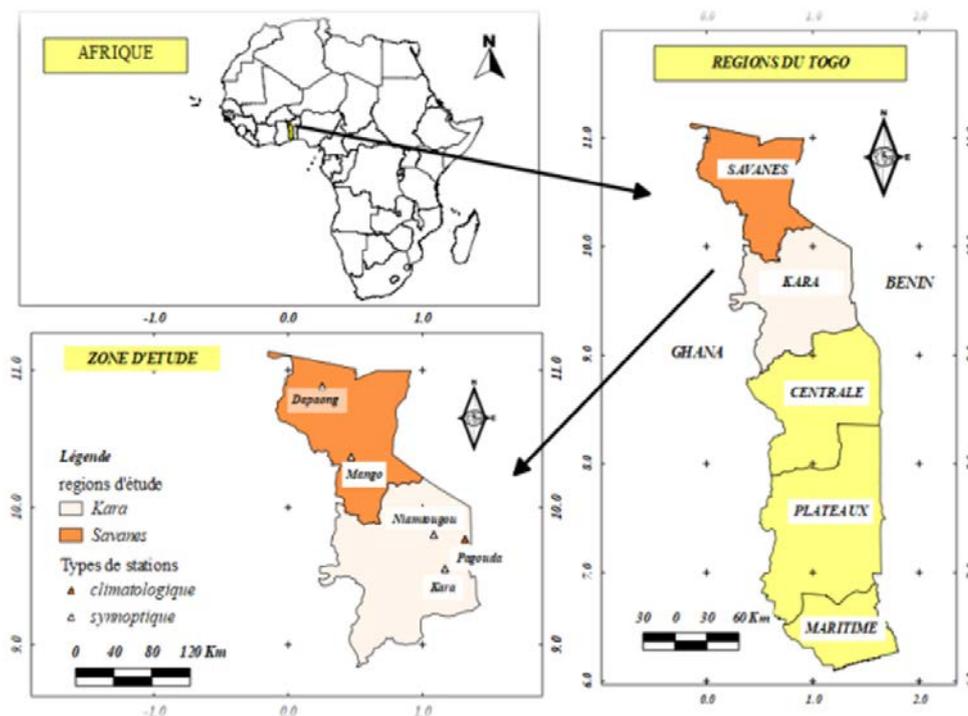


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude et emplacement des stations météorologiques

Tableau 1: Caractéristiques des stations étudiées

Stations	Type de station	Long.	Lat.	Type de données
Dapaong	Synoptique	0,25	10,9	Pluie (RR), Température maximale (Tx) et minimale (Tn)
Mango	Synoptique	0,46	10,4	Pluie (RR), Température maximale (Tx) et minimale (Tn)
Kara	Synoptique	1,17	9,55	Pluie (RR), Température maximale (Tx) et minimale (Tn)
Niamtougou	Synoptique	1,08	9,80	Pluie (RR), Température maximale (Tx) et minimale (Tn)
Pagouda	Climatologique	1,31	9,76	Pluie (RR)

Source: Direction Générale de la Météorologie Nationale du Togo (DGMN)

Tableau 2: Durée de chaque phase phénologique de IKENNE 9449-SR

Phases	Phase végétative	Phase reproductive	Phase maturation
Durée(jrs)	40	30	20

Méthodologie de traitement des données

Critique des données climatiques

Avant toute analyse de données et quelle que soit l'échelle considérée, une étape préalable nécessaire est la critique des données, c'est-à-dire l'évaluation de la qualité et de l'homogénéité temporelle de la série d'étude. Puisque selon l'OMM (2011), les variations et les tendances gagnent en fiabilité quand les jeux de données utilisés sont homogènes.

Contrôle de qualité de la série chronologique

Un contrôle systématique des données des différentes stations a été effectué afin de déceler les valeurs aberrantes dans la série chronologique de chaque paramètre d'étude. Elles ont été détectées à l'aide de l'application *Rclimdex* pour apprécier la qualité des données, puis ont subies des corrections afin d'accroître la fiabilité du traitement des données.

Détection des ruptures d'homogénéité dans la série chronologique

De nombreux tests statistiques de détection de rupture ont été proposés dans la littérature pour des changements multiples et simples dans une série chronologique (Achariki *et al.*, 2019). Dans cette étude, la démarche consiste à tester la pertinence et l'identification objective d'éventuelles occurrences de ruptures grâce au logiciel *Khronostat*. Pour cela, le test statistique non paramétrique appliqué aux données qui garantit ainsi la robustesse des résultats issus de l'analyse est le test non paramétrique de Pettitt au seuil de 5%. L'homogénéité des données ou d'absence de rupture dans les séries chronologiques de précipitations et de températures a été testée à un degré de signification fixé à 5%. Lorsque le test de Pettitt donne une ou deux valeurs significatives ($\alpha \leq 0,05$), la série globale est découpée en deux ou trois sous séries correspondant aux valeurs significatives obtenues. Ces sous séries sont à nouveau soumises aux tests de Pettitt jusqu'à ce qu'ils ne donnent plus de valeurs significatives (Lona, 2014).

Caractère déterministe des risques: tendances et variabilité

Le caractère de la tendance a été effectué par le test de Mann-Kendall, proposé par Mann (1945) et Kendall (1975). Ce test non paramétrique, qui permet *a priori* de détecter des tendances non nécessairement linéaires dans une série de données climatiques, a permis d'effectuer la corrélation entre les rangs d'une série chronologique et leurs ordres. Dans cette étude, le caractère de la tendance est testé au seuil de 5% pour identifier la significativité des tendances. Pour une probabilité inférieure au seuil ($p < 0,05$), il existe une tendance qui est significative si τ est positive; et si le seuil de probabilité est supérieur au seuil ($p > 0,05$), il n'existe pas de tendance.

La variation interannuelle des paramètres suivant le procédé de l'indice de Lamb (I) permet d'analyser la distribution des anomalies des années excédentaires et des années déficitaires par rapport à la normale climatique (1981-2010) d'une variable climatique.

$$I = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}) / \sigma \quad (1)$$

\mathbf{x}_i = observation pour l'année i ,

$\bar{\mathbf{x}}$ = moyenne de la série 1981-2010 (normale climatique)

σ = écart type de la série 1981-2010 (normale climatique)

NB: I > normale climatique = année humide ou démarrage précoce selon le paramètre analysé;

I < normale climatique = année sèche ou démarrage tardive selon le paramètre analysé.

La variabilité des paramètres climatiques sur la série chronologique est appréciée autour de la moyenne grâce au coefficient de variation (CV). Il est déterminé suivant cette formule couramment utilisée en climatologie:

$$CV (\%) = (\sigma / \bar{\mathbf{x}}) * 100 \quad (2)$$

Méthodologies d'analyse des risques climatiques

Plusieurs travaux (Benoit *et al.*, 2011; Allahassane *et al.*, 2013) font ressortir l'usage d'indicateurs agro-climatiques pour l'analyse des risques climatiques potentiels des cultures en Afrique de l'ouest.

Cette étude de diagnostic de risque part de ces derniers et associe l'analyse de la variabilité thermique à ceux des précipitations saisonnières.

Dates de démarrage, de fin et de la longueur de la saison agricole: les critères de la Prévision Saisonnière en Afrique de l'Ouest (PRESAO) en zone soudanienne

Dans cette étude, la saison des pluies démarre en AO et spécifiquement pour le nord des pays du Golf de Guinée à partir du 15 Mars, lorsqu'on enregistre au moins 20 mm de pluie entre 01 à 03 jours consécutifs et ceci sans épisodes secs de plus de 10 jours dans les 30 jours qui suivent.

La date de fin de la saison des pluies est déterminée à partir de la méthode du bilan hydrique en considérant toutes dates à partir du 1^{er} Octobre, lorsqu'un sol capable de contenir 60 mm d'eau disponible est complètement épuisé par une perte d'évapotranspiration quotidienne de 4 mm.

La durée ou la longueur de la saison est exprimée par la différence entre la date de fin et la date de début de la saison des pluies.

Séquences sèches (SS) durant la saison

Le démarrage de la saison est souvent précédé de jours sans événement pluvieux (<1 mm) qui constituent des séquences sèches souvent qualifiées de pauses pluviométriques (Sallack, 2013). Elles sont d'une durée de deux à trois semaines. Parfois, elles sont observables de manière intermittente et assez intenses. Elles ont été déterminées pour cette étude sur la période de la saison pluvieuse Avril-Mai-Juin (AMJ) et Juillet-Août-Septembre (JAS) pour déterminer les risques de séquences sèches de plus de 5, 7 et 10 jours.

Le cumul pluviométrique saisonnier

Une analyse des cumuls pluviométriques saisonniers a été faite pour déterminer le risque de satisfaction des besoins totaux en eau du maïs sur la durée du cycle cultural. Ainsi, sur la longueur de la saison, l'analyse de l'indice du cumul pluviométrique saisonnier à travers l'indice de Lamb a été faite sur la série 1981-2017 par rapport à la normale 1981-2010.

Les pluies maximales cumulées en 3 jours

Durant la saison, l'existence de pluies dommageables sur trois jours sont considérées comme des cas d'extrêmes pluviométriques sur le très court terme. Les risques potentiels liés à l'inconfort hydrique (excès) ont été déterminés tout en observant le rythme interannuel des pluies max sur trois jours supérieurs au 90^{ème} centile suivant la distribution de Gumbel par rapport à la normale climatique de ce paramètre. Cette analyse a permis d'identifier les périodes de retour de ces événements préjudiciables à la culture du maïs.

Traitement des données de températures

Elle consiste à analyser la variabilité saisonnière des températures (Tx et Tn) puis des extrêmes thermiques dans la zone d'étude. Les indicateurs des extrêmes ou indices thermiques des extrêmes climatiques (Tramblay, 2005; Lona, 2014; Ringard *et al.*, 2014) représentent les queues de distribution (Tableau 3), c'est-à-dire les anomalies météorologiques dont les probabilités d'occurrence sont faibles (par exemple, moins de 10 % d'occurrence) (Abdelnour *et al.*, 2005; Karimou Barké *et al.*, 2015).

Tableau 3: Indices des extrêmes des températures utilisées

Indices	Définition	Description
Tx90p	90 ^{ème} percentile de la Tmax	Nombre de jours où Tx > 90 ^{ème} percentile, Il indique le nombre de jours chauds
Tn90p	90 ^{ème} percentile de la Tmin	Nombre de jours où Tn > 90 ^{ème} percentile, Il indique le nombre de nuits chaudes
Tn10p	10 ^{ème} percentile de la Tmin	Nombre de jours où Tn < 10 ^{ème} percentile, Il indique le nombre de nuits froides

Analyses de données agro-météorologiques

Le logiciel Instat a permis de faire des statistiques descriptives (cumul, moyenne interannuelle, écart type, coefficient de variation) appliquées aux variables agro-climatiques. L'analyse agro-climatiques (occurrence de séquences sèches, date de démarrage de saison tardive, fin de saison précoce, hivernage court, pluies maximales cumulées) a permis d'identifier les risques climatiques de la culture du maïs. Par ailleurs, la loi de Gumbel a permis de traiter le comportement stochastique de la queue supérieure ou inférieure de la distribution initiale des températures qui peuvent être une contrainte environnementale (Anis, 2010; Sauquet *et al.*, 2006, cités par Karimou *et al.*, 2015).

La variabilité interannuelle des paramètres agro-climatiques de la saison a été déterminée grâce à la qualité de la tendance à la hausse ou à la baisse. Pour cela, et pour restituer plus facilement les différents graphiques de la variabilité temporelles des indices de précipitations et des températures, le langage R a été utilisé.

RÉSULTATS

Pré-traitements des données climatiques

L'application du test de Pettitt sur toutes les stations révèle que seules les stations de Dapaong et Pagouda présentent une rupture d'homogénéité respectivement en 1993 et 1997 pour les cumuls pluviométriques. Quant aux températures (min et max), seules les stations de Mango et Kara présentent des ruptures pour les températures maximales en 1997 et Niamtougou en 1995. Aussi, une rupture d'homogénéité pour les températures minimales a été observée à Kara et à Mango en 2001. Ces observations sont analogues à celles de Badameli et Dubreuil (2015) qui ont démontré l'existence d'un réchauffement continu dans ces localités entre 1991-2010 sur une étude menée sur la série 1961-2010.

De manière générale la considération des lois de distribution des variables testées par Pettitt au seuil de 5 %, dénote que ces données sont utilisables pour la poursuite de cette étude.

Identification et analyse des risques climatiques liés à la pluviosité

Variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies

L'application de l'indice de Lamb sur les séries chronologiques des dates de démarrage montre globalement une variabilité interannuelle au nord Togo. Dans la région des Savanes, le test de significativité de Man Kendall montre une tendance à la baisse (démarrage précoce), non significative ($p > 5\%$) des dates de début de saison à Dapaong (Figure 2a), tandis qu'à Mango (Figure 2b) une tendance légèrement à la hausse, non significative (démarrage tardif). La variabilité de ces dates est peu accentuée ($CV=15\%$) sur l'ensemble des deux stations. En moyenne le démarrage de la saison à Dapaong se situe au 2 Mai soit le 123^{ème} jours julien (jj) avec un écart type de 19 jours, et à Mango, elle est au 31 Avril avec un écart type de 18 jours.

Par ailleurs dans la région de la Kara (Figure 3), la variabilité des dates de démarrage est plus marquée que dans la région des Savanes. Le test de Man Kendall révèle une tendance légèrement à la baisse (démarrage précoce), non significative ($p > 5\%$) dans la région. Par rapport à chaque station

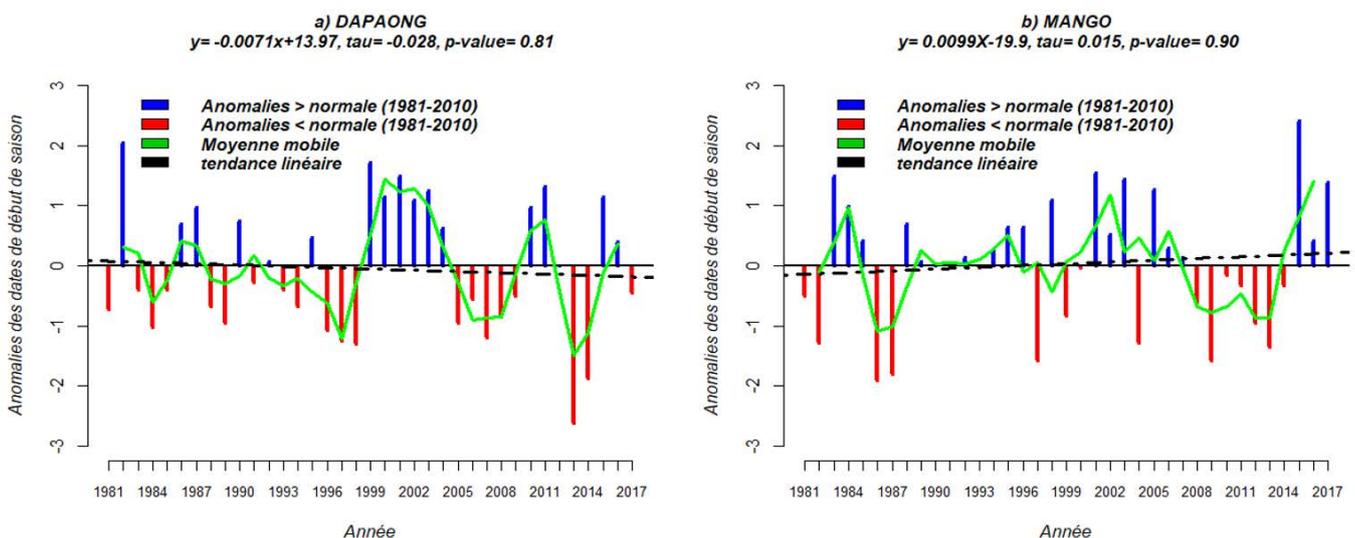


Figure 2: Variabilité des dates de début de saison dans la région des Savanes

dans cette région, les dates moyennes de démarrage de saison se situent respectivement au 18, 15 et 21 Avril; avec des écarts types de près de 21 jours pour les deux premières stations (Figure 3a et 3b) et de 25 jours pour la dernière.

Une particularité est soulignée dans le comportement de ce paramètre agro-climatique à Pagouda: il s'agit d'une tendance à la baisse qui est marquée par une dominance des dates de démarrage précoces à partir de 2007 (Figure 3c).

Variabilité des dates de fin de la saison des pluies

Les dates de fin de saison varient peu dans la région des Savanes. En effet, la date moyenne de fin de saison se situe au

19 Octobre (293^{ème} jj) à Dapaong et au 22 Octobre (296^{ème} jj) à Mango; avec des écarts types respectifs de 11 et 9 jours. Ce paramètre agro-climatique connaît une tendance à la hausse (fin tardive) non significative sur ces deux stations situées dans l'extrême nord du Togo (Figure 4).

Dans le sud de la zone d'étude, la figure 5 indiquent respectivement pour chaque station de la région des tendances à la hausse non significatives relevant une tardivité de la fin de la saison. En moyenne les dates de fin de saison se situent au 2 Novembre (306^{ème} jj) à Kara, au 7 Novembre (311^{ème} jj) à Niamtougou et au 29 Octobre (303^{ème} jj) à Pagouda.

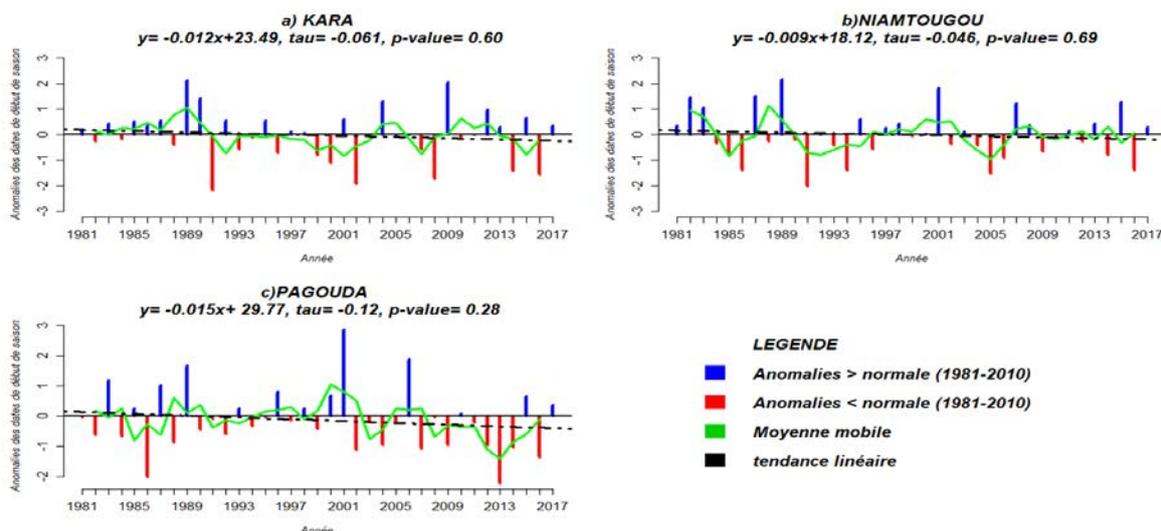


Figure 3: Variabilité des dates de début de saison dans la région de la Kara

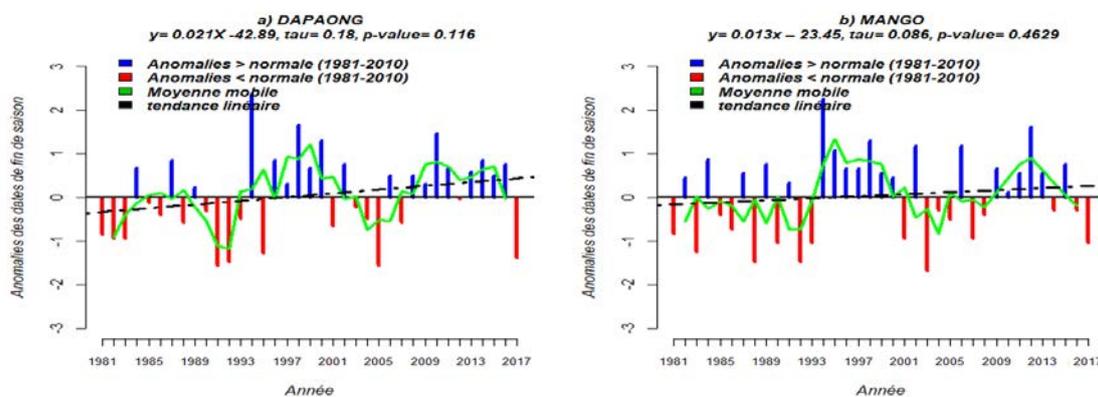


Figure 4: Variabilité des dates de fin de saison dans la région des Savan

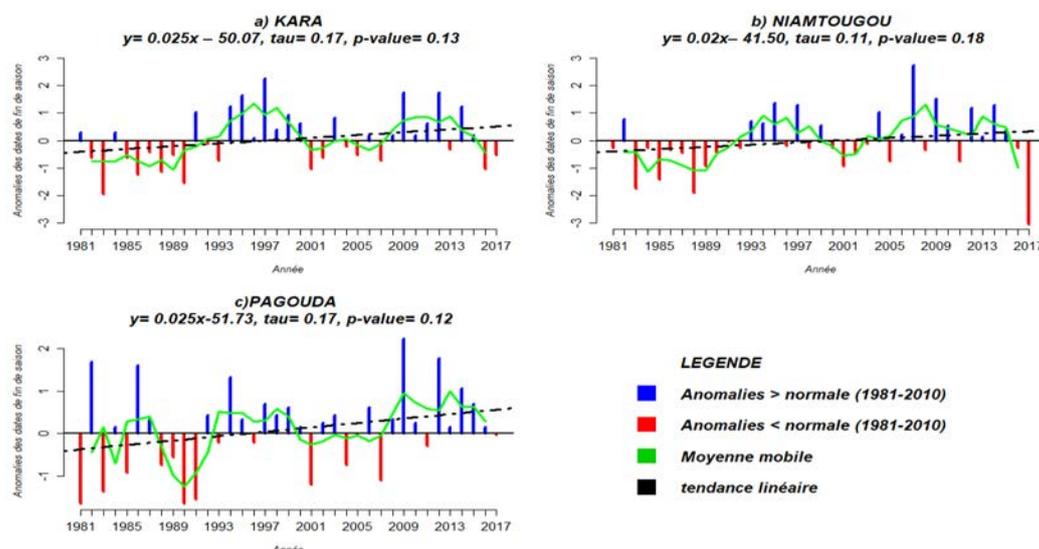


Figure 5: Variabilité des dates de fin de saison dans la région de la Kara

Variabilité de la durée de la saison agricole (DSA)

La variabilité interannuelle de la durée de la saison agricole au nord Togo est perçue avec une tendance à la hausse (allongement de la saison), non significative à Dapaong (Figure 6a); et une très légère tendance à la baisse (raccourcissement) non significative de la durée de la saison agricole à Mango (Figure 6b) dans la région des Savanes. Ces deux stations présentent des durées moyennes de saison de 170 et 176 jours avec des écarts types de 22 jours. L'analyse fréquentielle montre que 8 années sur 10, la longueur de la saison est en dessous de 191 jours à la station de Dapaong et de 199 jours à Mango.

Dans la région de la Kara (Figure 7) la variabilité des durées de saison montre des tendances à la hausse non significatives. Les durées de l'hivernage sont plus longues dans cette région que celles des Savanes. En moyenne la durée de la saison agricole à la station de Kara est de 197 jours avec un écart type de 24 Jours, celle de Pagouda est de 191 avec un écart type 30 jours, à la station de Niamtougou elle est de 205 jours avec un écart type de 26 jours. Aussi, l'analyse fréquentielle révèle que pour ces différents écarts, la majo-

rité des années (4/5) ont la chance d'obtenir une durée de saison moins de 216, 229 et 218 jours respectivement dans chaque station de la région de la Kara.

En somme, la variabilité des paramètres clés de la saison agricole de la zone d'étude montre un dérèglement des calendriers cultureux à l'échelle locale d'une année à une autre. Le tableau 4 met en exergue les risques agro-climatiques déterminants de la culture du maïs sur la base de l'analyse des données de l'étude assortis d'un constat général et des risques potentiels directement liés aux maïs.

- Constats:
- Variabilité des DDS, DFS et DSA.
 - Les démarrages de saison sont globalement précoces et les fins tardives ce qui se traduit par un léger rallongement de la longueur de la saison dans les deux régions.
 - La variabilité des DDS, DFS et DSA induisent un démarrage et fin hésitant dans les deux régions.

Risques climatiques: baisse de la qualité de l'hivernage au démarrage et à la fin pouvant entraîner des re-semis, perturbation du cycle du Maïs et des opérations culturelles.

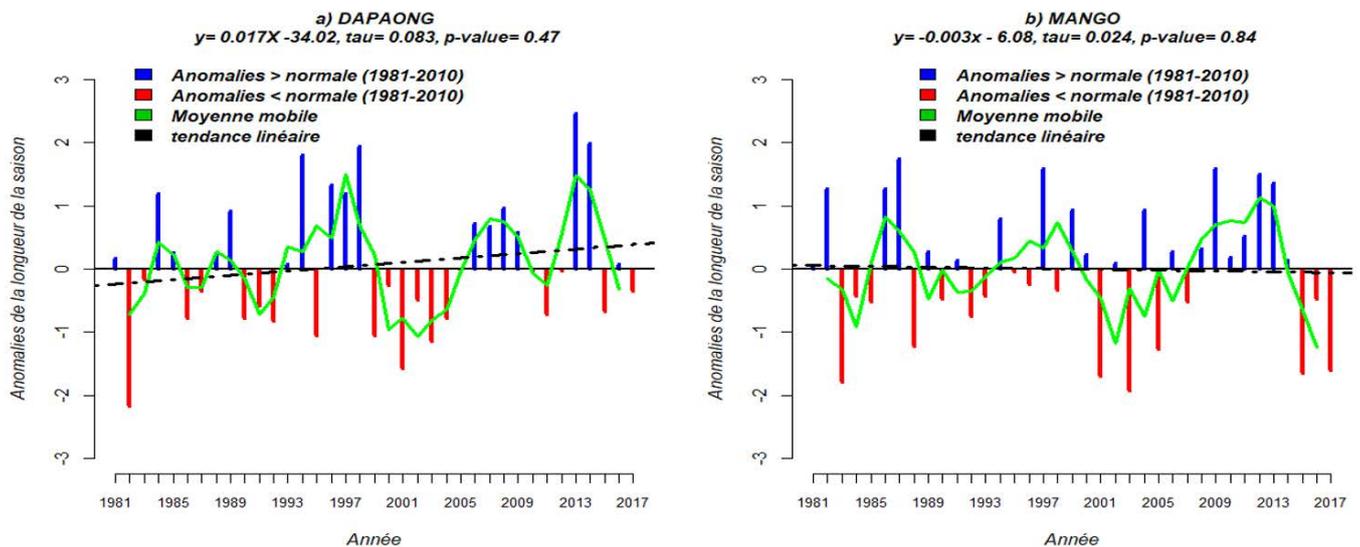


Figure 6: Variabilité de la durée de la saison agricole dans la région des Savanes

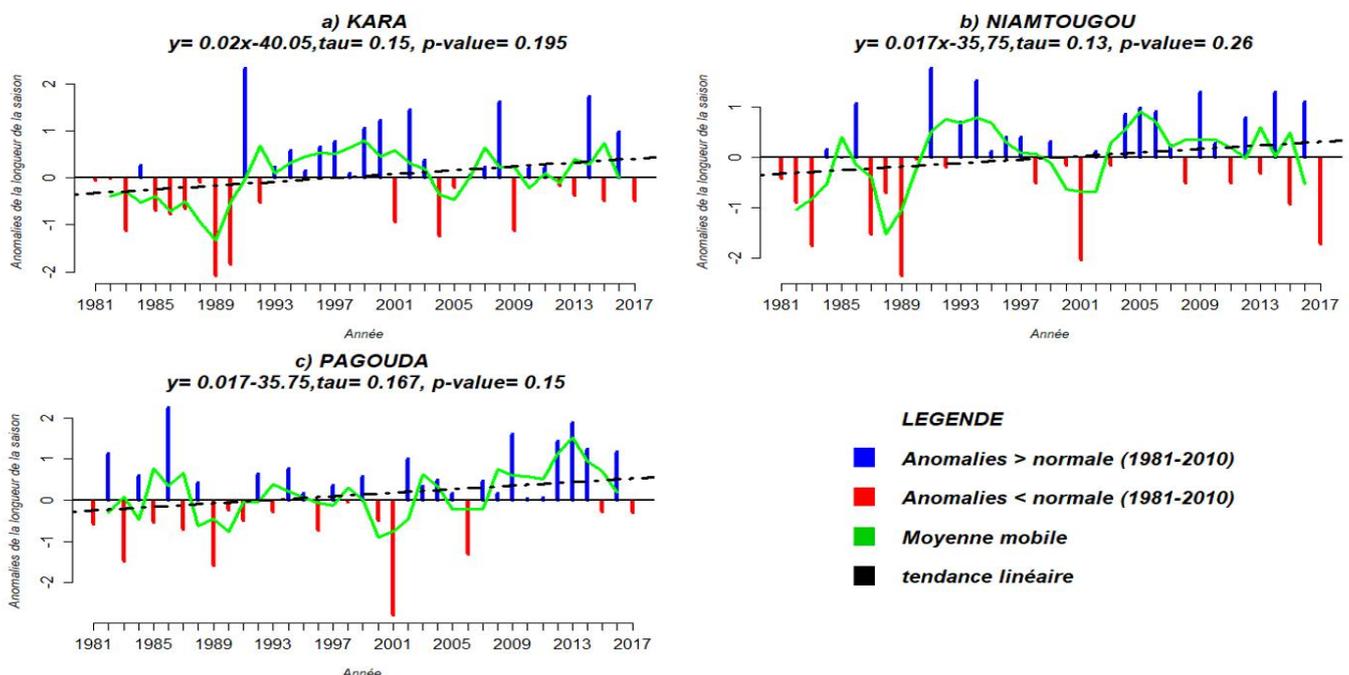


Figure 7: Variabilité de la durée de la saison agricole dans la région de la Kara

Analyse des séquences sèches

Occurrences des séquences sèches (SS) au cours de la saison

Le maïs est une culture qui tolère les séquences sèches inférieures ou égales à 7 jours mais supporte difficilement celles supérieures à 10 jours, d'où l'importance d'analyser les probabilités de séquences sèches au cours de la première partie (Avril, mai, juin [AMJJ]) et de la deuxième partie (Juillet, août, septembre [JAS]) de la saison agricole (Figure 8):

- Sur la période AMJ, la probabilité d'avoir des séquences sèches ≥ 7 jours est inférieure à 25% pour toutes les stations sauf celle de Mango où elle est égale à 30% et celle d'avoir des séquences sèches ≥ 10 jours est inférieure à 15% pour toutes les stations. En outre les SS en début de saison sont très dispersées (cv compris entre 26 et 34) et l'analyse fréquentielle révèle qu'en début de saison les SS sont supérieures à une semaine sur 50% de la période d'étude et moins de dix jours dans 80% des années de la période d'étude (Tableau 9).

- Sur la période JAS, la probabilité d'avoir des séquences sèches ≥ 7 jours est inférieure à 15% pour la quasi-totalité des stations (à exception de Mango où elle est supérieure à 30%) et celle d'avoir des séquences sèches ≥ 10 jours est inférieure

10% pour toutes les stations. Les SS sont très variables dans la zone d'étude (cv compris entre 44,9 et 82,6) avec une moyenne de plus de deux semaines dans la majeure partie de la zone d'étude.

- Les séquences sèches ≥ 7 jours pouvant impacter négativement la période d'initiation et de croissance végétative et la période de reproduction et de maturation des grains du maïs ont respectivement une probabilité d'apparition inférieure à 25% et 15%, qui sont des seuils de risques tolérables pour un agriculteur. Pour toutes les périodes, la station de Mango présente une probabilité de séquences sèches supérieure au seuil de risque tolérable. Cependant, en début de saison, le risque de stress hydrique lié à l'installation du maïs existe malgré le seuil tolérable de 25%.

Constats:

- Forte variabilité des séquences sèches en début et fin de saison;
- Hausse des séquences sèches en début de saison.

Risques climatiques: sécheresses en début (phase végétative) et fin de saison. Les plants de maïs sont ainsi marqués par de fortes demandes climatiques entraînant le rétrécissement de certains stades phénologiques.

Tableau 4: Tendances des climatiques liés aux DDS, DFS et DSA

Station	DDS			DFS			DSA		
	Tendance	Significativité	Coef. Var.	Tendance	Significativité	Coef. Var.	Tendance	Significativité	Coef. Var.
Mango	Légère à la précocité	Non significative	15,3	Légère à la tardivité	Non significative	3,08	Léger raccourcissement	Non significative	12,5
Dapaong			15,5			3,60			13,2
Kara			20,1			3,01			12,5
Niamtougou			20,4			4,23			12,3
Pagouda			22,3			3,54			15,8

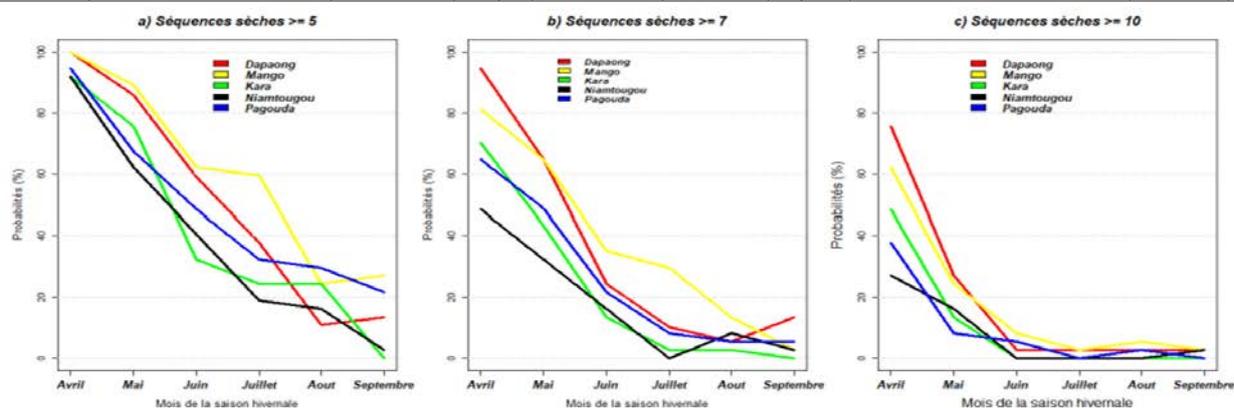


Figure 8: Probabilités d'apparition des séquences sèches durant la saison agricole

Tableau 5: Variabilité des séquences sèches en début de saison

	Dapaong	Mango	Kara	Niamtougou	Pagouda
Minimum	4	4	4	4	5
Maximum	17	17	17	12	16
Moyenne	9	8	8	7	8
Médiane	9	8	8	7	8
Écart-type	2,74	2,65	2,64	1,8	2,18
Cv (%)	31,2	30,3	34	26	27,3
Percentile 20%	6	7	6	5	6
Percentile 50%	9	8	8	4	8
Percentile 80%	10	10	9	8	9

Tableau 6: Variabilité des séquences sèches en fin de saison

	Dapaong	Mango	Kara	Niamtougou	Pagouda
Minimum	5	6	10	6	4
Maximum	45	67	80	67	57
Moyenne	16	28	41	29	12
Médiane	12	26	41	29	8
Écart-type	9	16,3	18,4	16,1	10
Cv (%)	61,8	58,3	44,9	56,7	82,6
Percentile 20%	7	14,2	25	14	6
Percentile 50%	12	26	41	29	8
Percentile 80%	24	40	58,4	42	17

Variabilité du cumul pluviométrique saisonnier

Dans la zone d'étude, la moyenne du cumul pluviométrique saisonnier varie entre 952,9 mm et de 1285,7 mm (Tableau 7). La variabilité du cumul pluviométrique saisonnier (cv compris entre 15,3 à Niamtougou et 21,1 à Dapaong), associée à l'analyse fréquentielle de ce paramètre montrent que 4 années sur 5, le cumul pluviométrique saisonnier:

- Dans la région des Savanes, est inférieur à 1135,2 mm à la station de Dapaong et 1112,2 mm à la station de Mango et;
- Dans les régions de la Kara, il est inférieur à 1367,0 mm à la station de la Kara, 1496,4 mm à la station de Niamtougou

et 1374,6 mm à la station de Pagouda.

L'analyse des anomalies standardisées des cumuls de pluies saisonnières des stations montre une alternance rapprochée entre années déficitaires (sèches) et années excédentaires (humides) à partir de 2010 à Dapaong et à Niamtougou. Spécifiquement une persistance des années sèches à Mango est relevée dans cette analyse (Figure 9b). La tendance à la hausse de la pluviométrie saisonnière est statistiquement significative au seuil de 5% dans les stations de Dapaong et Pagouda avec respectivement des p-value de 0,013 et 0,01 (Figure 9a et Figure 10c).

Tableau 7: Statistique descriptive des cumuls pluviométriques saisonnier

Stations	Dapaong	Mango	Kara	Niamtougou	Pagouda
Minimum	689,7	676,3	891,0	886,0	682,0
Maximum	1645,4	1376,7	1763,0	1818,9	1676,3
Moyenne	987,6	953,0	1204,6	1285,7	1166,4
Écart-type	198,7	177,0	204,7	213,6	277,8
Cv (%)	21,1	18,7	17,4	15,38	19,5
Percentile 20%	783,8	814,8	1023,8	1062,1	935,8
Percentile 50%	975,9	902,0	1179,8	1283,7	1166,3
Percentile 80%	1135,2	1112,2	1367,4	1496,4	1374,6

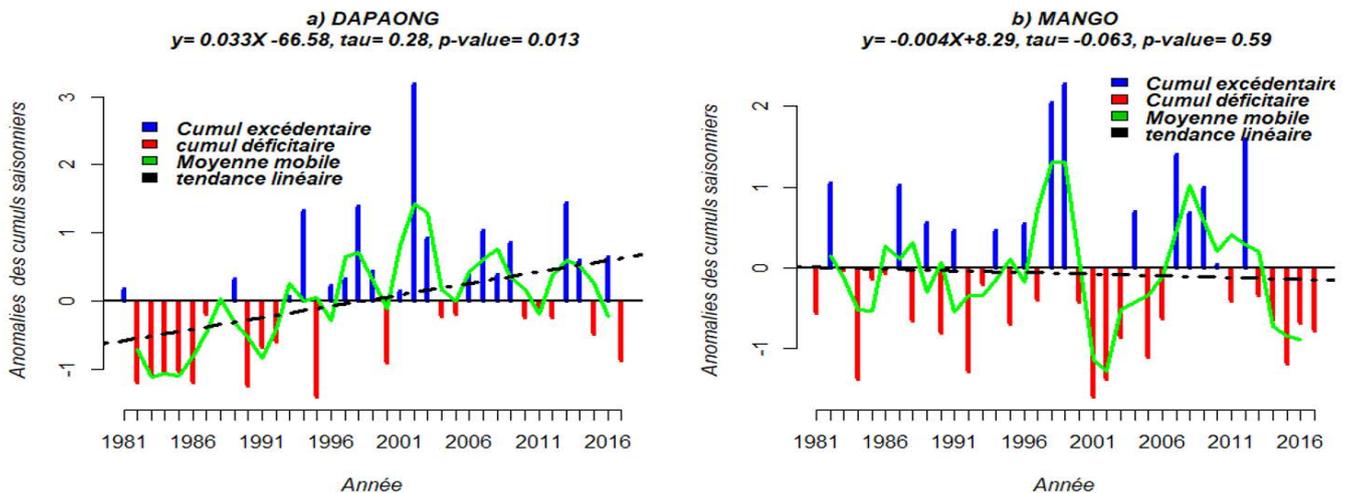


Figure 9: Variabilité du cumul pluviométrique saisonnier dans la région des Savanes

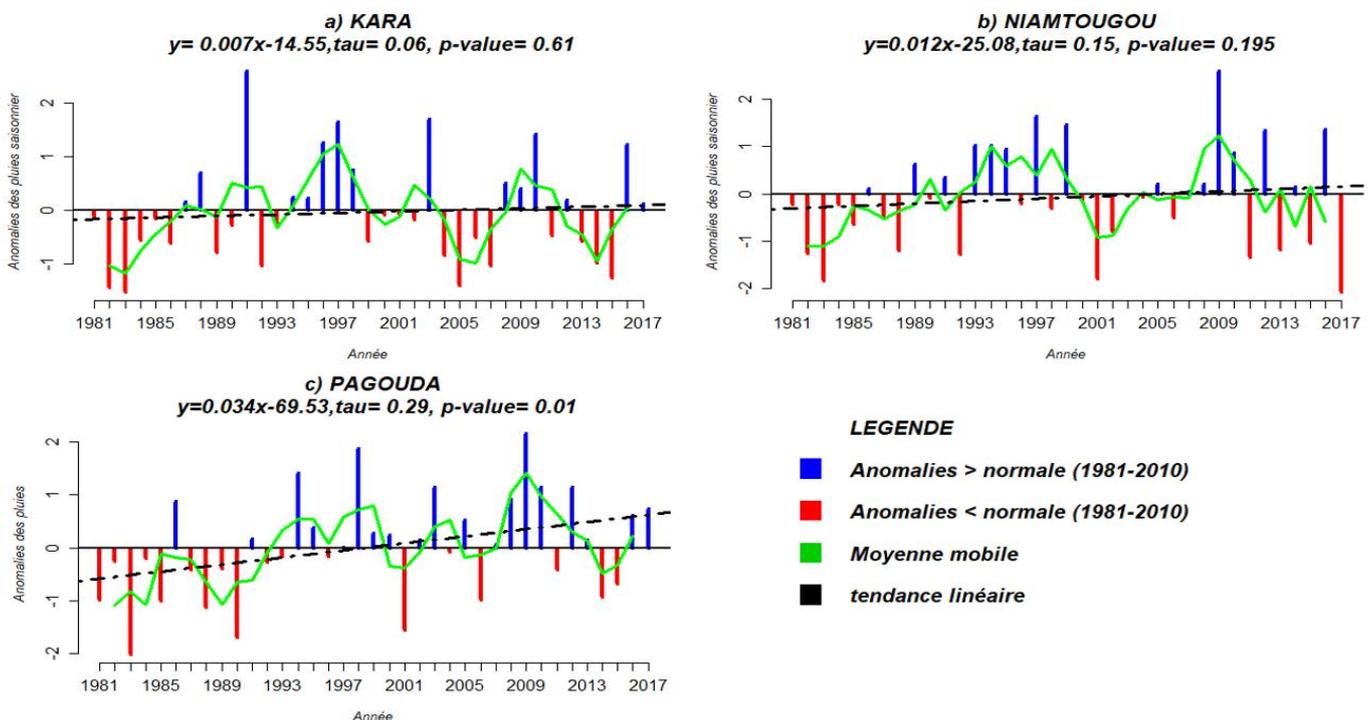


Figure 10: Variabilité du cumul pluviométrique saisonnier dans la région de la Kara

La tendance des risques potentiels liés au cumul pluviométrique saisonnier est indiquée dans le tableau 8.

Constats:

- Alternance rapprochée entre années sèches et années humides et persistance de la sécheresse dans toutes les stations depuis 2010;
- Augmentation quantitative de la pluviométrie.

Risques climatiques: la baisse de la qualité de la pluviométrie consécutive à une alternance rapprochée entre années sèches et années humides. Une augmentation quantitative de la pluviométrie pouvant engendrer des inondations des champs de maïs et une baisse des rendements est mise en évidence.

Tableau 8: Tendances des risques climatiques liés aux cumuls pluviométriques saisonniers

Stations	Tendance	Significativité	Coef. Var. (%)
Mango	Légère à la baisse	Non significative	18,7
Dapaong		Significative	21,1
Kara	A la hausse	Non significative	17,4
Niamtougou		Non significative	15,4
Pagouda		Significative	19,5

Tableau 9: Statistique descriptive et temps de retour des pluies cumulées sur trois jours

Stations	Min	Max	Mean	Sd	Median	CV	2 ans	5 ans	10 ans
Dapaong	54,4	185,5	104,0	34,6	104,0	33,3	103,0	129,4	156,6
Mango	58,0	159,7	96,7	24,6	94,4	25,4	94,4	121,2	129,7
Kara	53,9	154,3	106,3	28,9	100,5	27,1	100,5	137,6	149,5
Niamtougou	57,0	143,9	98,8	20,0	97,5	20,3	97,0	114,9	124,1
Pagouda	69,8	157,6	104,1	22,6	102,2	21,7	102,2	126,1	134,9

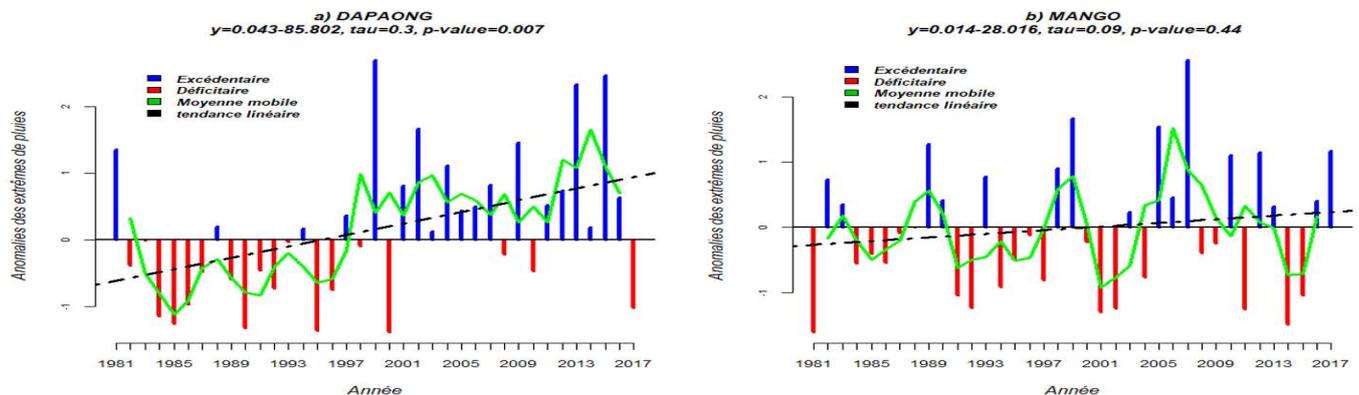


Figure 11: Pluies max cumulées en 3 jours dans la région des Savanes

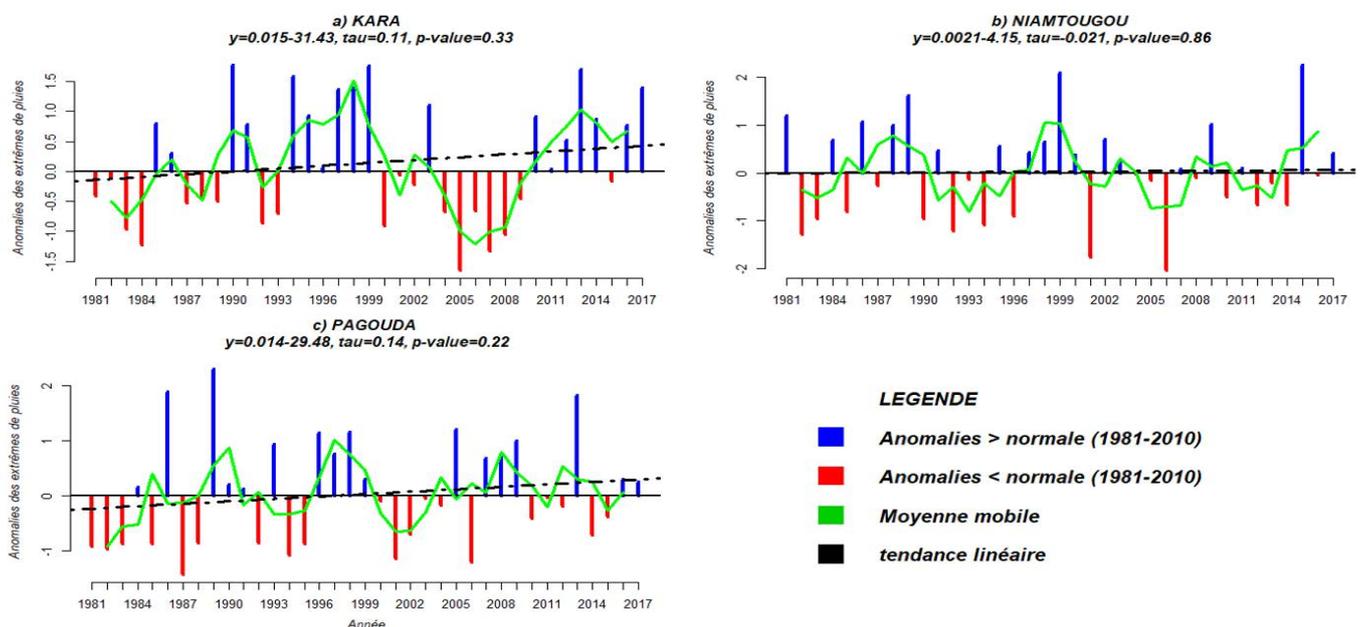


Figure 12: Pluies max cumulées en 3 jours dans la région de la Kara

Variabilité des pluies max cumulées sur 3 jours

Les pluies maximales varient fortement dans la zone d'étude (cv compris entre 20% et 33,3%) (Tableau 9). L'analyse des moyennes des pluies cumulées sur trois jours varient de 96,7 mm avec un écart type de 24,6 mm à Mango et une moyenne de 106,3 mm avec un écart type de 28,8 à Kara. Globalement, pour un temps de retour de deux ans de cet événement climatique les valeurs de ce paramètre sont supérieures à 90 mm, et supérieures à 110 mm chaque 5 ans.

Le 90^{ème} percentile des pluies maximales retenues par l'OMM comme seuil à partir duquel on considère qu'une pluie est maximale est de 149 mm et 128 mm Dapaong et Mango. Dans la seconde région, ce seuil est de 144,8 mm,

125,2 mm et de 132,8 respectivement aux stations de Kara, Niamtougou et Pagouda.

La variabilité climatique par rapport à la normale de ces pluies maximales cumulées fait ressortir dans la région des Savanes:

- Une tendance à la hausse significative ($p=0,007$) à Dapaong (Figure 11a);
- Une tendance à la hausse non significative ($p=0,44$) de cet événement à la station de Mango (Figure 11b).

Dans la région de la Kara, on souligne:

- Une tendance à la hausse mais non significative à Kara (Figure 12a) et à Pagouda (Figure 12c) avec des p-value respectifs de 0,33 et 0,22;
- Une légère hausse à la station de Niamtougou, non significative ($p\text{-value} = 0,86$) (Figure 12b).

Les risques afférents à cette analyse des pluies maximales cumulées sont variables suivant les stations (Tableau 10).

Constats:

- Forte variabilité interannuelle du maximum de pluie cumulée en trois jours;
- Tendance à la hausse des pluies extrêmes dans la zone d'étude.

Risques climatiques: inondations dans les deux régions pouvant engendrer l'asphyxie du maïs.

Risques climatiques liés aux températures maximales et minimales de la saison des pluies (Tmax, Tmin).

Évolution des températures maximales (Tmax)

L'évolution des températures maximales (Figure 13) sur la période d'Avril à Octobre (la saison des pluies) montre que les données de toutes les stations présentent une tendance à la hausse. Dans la région des savanes les tendances à la hausse sont non significatives au seuil de 5% alors que dans la région de la Kara, les tendances à la hausse sont toutes significatives sur toutes les stations.

Évolution des températures minimales (Tmin)

Des augmentations des températures minimales sont aperçues sur la grande partie de la zone d'étude. Les stations de Mango et de Kara présentent des tendances à la hausse très significative ($p\text{-value}=1,392e-06$ et $0,0002$) (Figure 14b et 14c). Par contre à Dapaong et Niamtougou, il est observé un comportement semblable à celui de l'évolution des jours froids et nuits froides (Figure 14a et 14d).

Tableau 10: Tendances des risques climatiques liés aux pluies maximales cumulées e 3 jours

Station	Tendance	Significativité	Coef Var
Dapaong	Hausse	Significative	33,3
Mango			25,4
Kara	Légère hausse	Non significative	27,1
Pagouda			20,3
Niamtougou			21,7

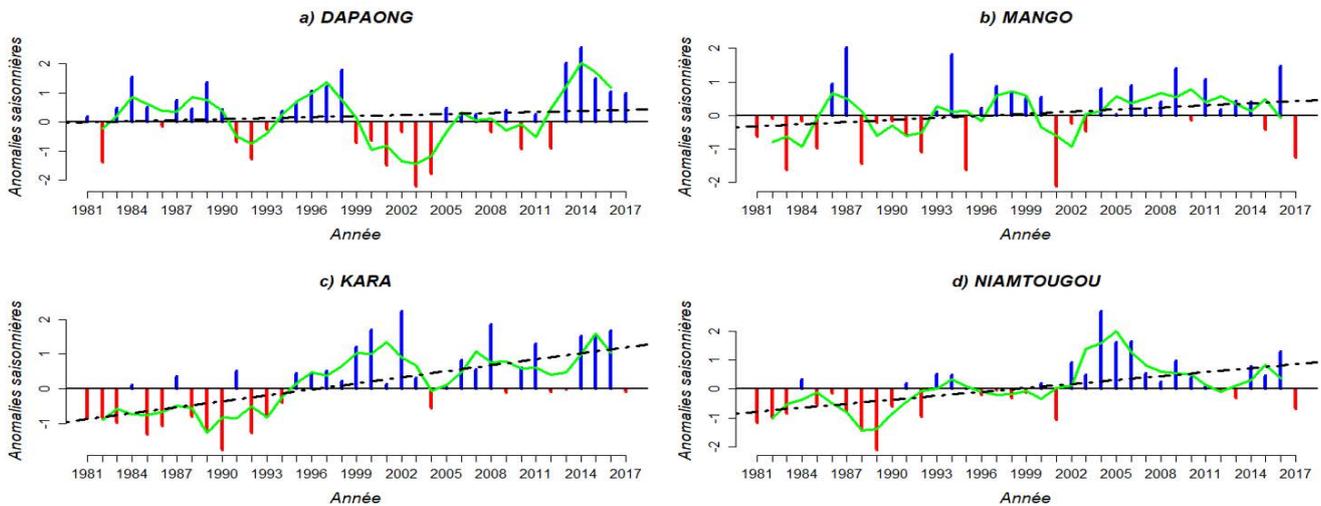


Figure 13: Évolution des Températures maximales saisonnières

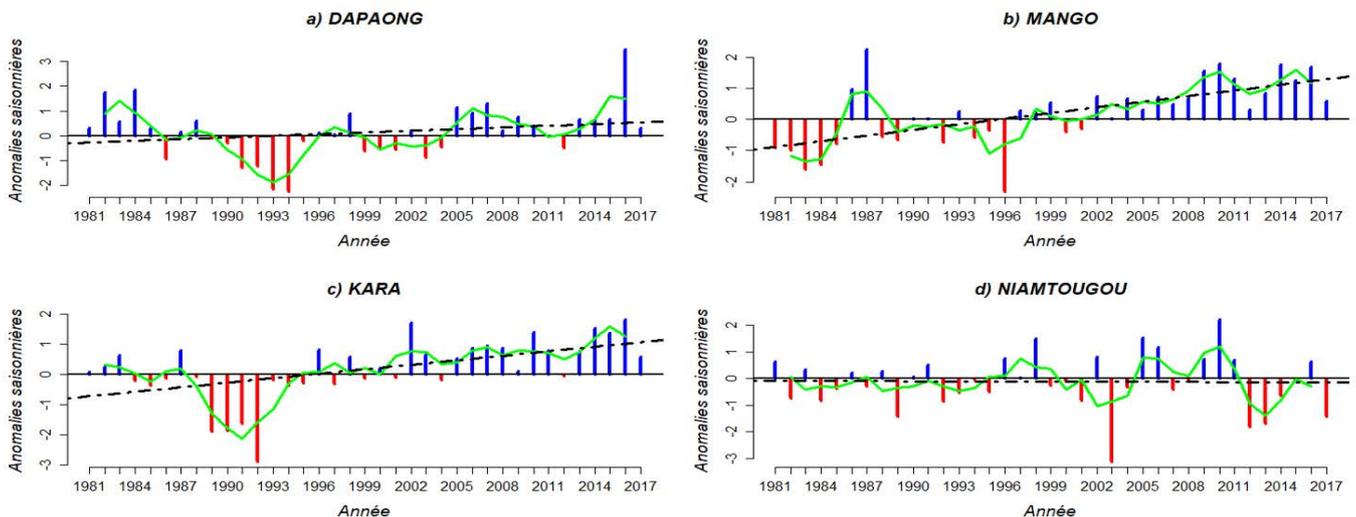


Figure 14: Variation des températures minimales saisonnières

Évolution des extrêmes climatiques

Globalement, la zone d'étude connaît une tendance à la hausse des températures extrêmes (tableau 11) qui sont significatives surtout dans le centre de la zone d'étude où les nuits froides tendent à disparaître car les minima des températures minimales sont supérieurs aux seuils limites.

Constats généraux se dégagent:

- Hausse interannuelle et saisonnière des températures minimales et maximales,
- Hausse de tous les extrêmes chauds (Tx90, Tn90) et réchauffement des nuits froides (Tn10).

Risques climatiques: risques d'évaporation des plans d'eaux, d'évapotranspiration et d'assèchement des sols dans les deux régions accentuant ainsi le stress thermique, l'échec de la fécondation, l'augmentation des besoins en eau et le raccourcissement du cycle pouvant entraîner la baisse des rendements.

DISCUSSION

L'Analyse des paramètres de la saison agricole des régions des Savanes et de la Kara, a permis de mettre en évidence la variabilité climatique dans la zone. Les dates de début de saison dans l'ensemble de la zone d'étude sont très instables vue l'étendue des valeurs qu'offre l'analyse fréquentielle de cet indicateur comparé à la normale climatologique (1981- 2010). Globalement la zone offre des dates de début de saison dans la période de transition entre 3^{ème} décennie d'Avril à la première décennie du mois de Mai. Ces dates sont précoces sur la zone d'étude sauf à Mango (légère tardivité) et présentent une forte variabilité. Ces résultats s'opposent à ceux obtenus par Alhassane *et al.*, (2013) en Afrique de l'Ouest Soudano Sahélienne où les dates de début de saison sont tardives. La nature variable ou irrégulière des pluies à l'instar de la région subsaharienne qui est caractérisée par une variabilité interannuelle et inter-saisonnière des pluies (Nicholson et Grist, 2003; Laux *et al.*, 2009 cités par Waongo, 2015) rend plus complexe la prise de décision liée au démarrage de la saison. Contrairement aux dates de fin saison la disparité spatiale est moins prononcée, car elles se situent globalement selon l'analyse fréquentielle dans la transition entre la 3^{ème} décennie du mois de Octobre à la première décennie du mois de Novembre.

Pour les 2/3 des années de la période d'étude, la longueur de la saison varie entre 191 et 229 jours suivant un gradient décroissant entre Dapaong et Niamtougou sauf à Pagouda.

Dans une planification agricole l'objectif principal est de minimiser les risques agricoles qui se rapportent à la dégradation de la qualité de la saison afin de maximiser les chances d'un semis réussi et des rendements optimaux. En début et en fin de saison, les risques de séquences sèches matérialisés selon l'analyse fréquentielle relatent des risques de pauses pluviométriques avec un seuil non tolérable pour le maïs sur les 2/3 de la période d'étude. Spécifiquement en fin de saison, les jours secs très variable, dégagent une tendance à la hausse sur la majeure période de l'étude avec de faible risque de compromettre la culture du maïs dans la zone d'étude. Cependant, cette tendance à la hausse présente le risque de sécheresse qui est le facteur principal influençant non seulement l'installation des cultures (car le succès de semis dépend entièrement du régime des pluies), mais surtout en fin de saison où il est observé une partie des phases sensibles de la reproduction. Le manque d'une quantité d'eau suffisante aux besoins physiologiques de la plante mène tout simplement à la perte des rendements puis des semences selon Bacci *et al.* (2016) qui représente un investissement énorme pour les agriculteurs. Ce qui requiert une option d'adaptation de la part des producteurs afin d'assurer des rendements acceptables.

La variation intra-saisonnière soumise à une mauvaise distribution des pluies induit inévitablement des perturbations dans la planification agricole entraînant des effets pervers dans les rendements grain du maïs. L'avènement récurrent des pluies extrêmes cumulées sur trois jours dans la zone d'étude surtout dans la région des Savanes expose plus le maïs à des risques d'inondation. Selon le GIEC (2007), une modification de la pluviométrie et un accroissement de la fréquence des événements climatiques extrêmes sont envisageable avec un niveau de confiance élevé. Ces événements sont traduits sur la nature à la hausse des pluies cumulées sur trois jours.

Dans la zone d'étude en moyenne, les cumuls pluviométriques saisonniers satisfont aux besoins en eau durant le cycle du maïs, avec une relative augmentation des risques d'inondation suite aux valeurs graduelles liés à la variabilité climatique des pluies maximales cumulées dans certaines stations de manière significative et aux dates de retours des événements climatiques. Les résultats des travaux de Kafando (2010) sur

Tableau 11: Tendance d'évolution des indices des extrêmes des températures utilisées

Stations	Seuils Extrêmes thermiques	P-Value	Tendance	Significativité
Jours chauds (Tx 90)				
Dapaong	41.78°C	0.89	Hausse	NS
Mango	43.05°C	0.12	Hausse	NS
Kara	41.68°C	0.07	Hausse	NS
Niamtougou	39.98°C	0.29	Hausse	NS
Nuit chaudes (Tn90)				
Dapaong	30.81°C	0.47	Hausse	NS
Mango	30.59°C	0.001	Hausse	S
Kara	27.89°C	0.03	Hausse	S
Niamtougou	27.96°C	0.37	Légère hausse	NS
Nuits froides (Tn10)				
Dapaong	14.57°C	0.18	Hausse	NS
Mango	14.26°C	0.01	Hausse	S
Kara	12.42°C	0.01	Hausse	S
Niamtougou	13.46°C	0.7	Légère baisse	NS

le maïs en zone soudanienne au Burkina Faso confirment en partie cet aspect. Ce dernier trouve que la satisfaction des besoins en eau totaux du maïs (besoins cumulés pour tout le cycle), ne constitue pas un risque pour la culture du maïs dans la zone soudanienne au sud du Burkina Faso.

L'analyse des températures a montré, qu'un accroissement des pics de températures est observé dans la majeure partie de la zone d'étude suivant le comportement des extrêmes de températures qui corrobore les résultats du GIEC qui montre une augmentation systémique du réchauffement avec des conséquences sur la production agricole. L'augmentation des températures saisonnières est très variable d'une station à une autre. En clair, dans les deux régions la température maximale connaît des accroissements à dominance significative suivant le rythme des tendances thermique. Cela place la culture du maïs dans un inconfort dans les années à venir, car la demande climatique risque d'être de plus en plus élevé sur toute la zone.

Il est clair que le paramètre climatique le plus discuté dans le contexte du réchauffement global connaît des hausses dans cette partie de la zone soudanienne du Togo avec un réchauffement des nuits et jours froids. Ces hausses réduisent le différentiel journalier des composantes de la température. Ainsi, Braganza *et al.*, (2004) trouvent qu'une baisse de l'amplitude thermique est caractérisée par une augmentation plus rapide des températures minimales. Aussi, Karimou *et al.* (2015) confirme cette allure au Sud-est du Niger à Gouré et Mainé Soroa où, les températures minimales connaissent une hausse significative avec un risque compromettant de la fécondation du mil.

La conjugaison de l'ensemble des tendances et du caractère déterministe de la variabilité climatique reflètent des risques de plus en plus accrus sous l'effet des phénomènes climatiques extrêmes avec un niveau de confiance élevé.

Le PNACC (2016) met en évidence l'aspect de ces résultats lorsqu'il pointe une reprise des précipitations, constatée dans certaines stations en concomitance avec une tendance à un réchauffement climatiques dans les projections climatiques aux horizons 2025, 2050, 2075 et 2100 au Togo. Cette reprise est marquée par des pluies extrêmes dans la région des savanes maïs aussi avec de longues séquences sèches dans toutes la zone d'étude. Au regard de ce diagnostic, le climat au Togo devrait s'assécher davantage parce que les augmentations de précipitations sont trop faibles pour compenser l'augmentation de l'évapotranspiration résultant des fortes augmentations de températures au cours de la saison. Ces résultats sont de nature à fournir des infos sur l'exposition du maïs aux risques climatiques avec un effet conjoncturel sur la sensibilité de la culture.

CONCLUSION

La caractérisation des risques agroclimatique qui ressort de cette étude vise à fournir des éléments pour la prise de décision utiles aux agriculteurs et aux décideurs politiques. En fonction des objectifs de l'étude, l'analyse des risques climatiques potentiels du maïs dans cette partie du nord Togo révèle l'existence des risques durant la saison. En effet les divers risques dévoilent des tendances à l'augmentation du régime pluviométrique avec une certaine variabilité du cumul pluviométrique saisonnier (alternance des années sèches et humides) tout en faisant cas d'extrêmes de pluie dont l'avènement est de plus en plus probable vu

la nature des quantités selon la durée de retour de ces événements. L'analyse révèle également de potentiel risques thermique dont l'augmentation à l'échelle saisonnière est assimilée d'une manière globale aux tendances mondiales du réchauffement. Ces risques thermiques amplifient la demande climatique qui associé aux pauses pluviométriques accentue la sécheresse. Certes, la nature des tendances de ces risques est multidimensionnelle rendant ainsi contraste et complexe la prise de décision à l'échelle locale.

Vue de l'incertitude du climat, la pauvreté des populations rurales et la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire des populations au Togo, il est indispensable de protéger les actifs des producteurs de maïs au Togo à travers l'adoption de stratégies d'adaptations locales faces à ces risques climatiques.

RÉFÉRENCES

- Abdelnour R., Bonardet P., Botta A., Enrione D., Plane G., (2005). Atelier changement climatique: événements extrêmes et changement climatique, causes, impacts et moyens de lutte. En ligne, http://meteo.besse83.free.fr/imfix/Evenements_extremes.pdf.
- Acharki S., Amharref M., El Halimi R., Bernoussi A. S. (2019). Évaluation par approche statistique de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau: application au périmètre du Gharb (Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, 32: 291-315.
- Adjoussi P. (2000). Changement climatique global: évaluation de l'évolution des paramètres climatiques au Togo. Mémoire de Maîtrise. Faculté des lettres et Sciences humaines/ Département de Géographie Université de Lomé, 121 p.
- Alhassane A., Salack S., Ly M., Lona I., Traoré S.B., Sarr B. (2013). Évolution des risques agro-climatiques associés aux tendances récentes du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. *Sécheresse*, 24: 282-293.
- Anis B. (2010). Statistiques des valeurs extrêmes dans le cas de lois discrètes (p. 91). En ligne, <http://hallessec.archives-ouvertes.fr/hal-00572559>.
- Badameli M. S., Dubreuil V. (2015). Diagnostic du changement climatique au Togo à travers l'évolution de la température entre 1961 et 2010. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, p. 421-426.
- DSID (2013d). Évaluation des dégâts causés par la sécheresse dans les préfectures de Bassar et de Danpken. DSID/SG/MAEP. Novembre 201. 36 p.
- Egbare A. (2007). Contribution et analyses des risques et des potentialités agro-climatiques pour une optimisation de la production du maïs au Togo. Mémoire de fin d'études d'ingénieur en agro-météorologie. Centre Régional AGRHYMET, Niger, 55p.
- GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse 103p.
- GIEC (2012). Rapport spécial sur la gestion des risques d'événements extrêmes et des catastrophes pour améliorer l'adaptation au changement climatique (SREX). 20p.
- GIEC (2014). Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité-Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. OMM, Genève (Suisse), 34p.
- IPCC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse. 103 p.
- Kafando L. (2010). Contribution à la définition d'indices climatiques pour un système d'assurance-récolte: cas de la culture du maïs au Burkina Faso, mémoire de fin d'études du cycle ingénieur en agrométéorologie. Centre AGRHYMET, Niamey-NIGER, 56p.
- Karimou B., M., Ambouta K., Sarr B., Tychon B. (2015). Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le Sud-Est du Niger, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015, 6p.

- Lamboni K. (2017). Situation alimentaire et stratégies d'adaptation des ménages à l'insécurité alimentaire dans la Préfecture de Tône au Togo. Mémoire de Master en Sécurité alimentaire et nutritionnelle, Centre Régional AGRHYMET, Niamey-NIGER 69p.
- Lona I. (2014). Risques climatiques et pratiques culturelles du mil et du sorgho au Niger, Thèse de Doctorat de l'université Abdou Moumouni de Niamey, Géographie, 208p.
- MAEP (2012). Catalogue national des espèces et variétés végétales cultivées au Togo, 57p.
- MERF (2015). Troisième Communication Nationale sur le Changement Climatique, 120p.
- OMM (2011). Guide des pratiques climatologiques, Édition 2011- OMM-N°100, 95- 00 pp.
- PNACC (2016). Plan National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Togo, 97p.
- Ringard J., Dieppois B., Rome S., Dje K.B., Konaté D., Katiellou G. L., Diedhiou A. (2014). Évolution des pics de températures en Afrique de l'ouest: étude comparative entre Abidjan et Niamey. In 27^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, p.1-7.
- Salack S. (2013). Analyse des pauses pluviométriques et évaluation des incertitudes de la pluie des modèles régionaux de climat à l'aide d'un modèle de culture. Thèse de doctorat, université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.135 p.
- Sarr B., Kafando L., Atta S. (2011). Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 1659-1675.
- Sarr B., Atta S., Kafando L. (2012). Revue des indices climatiques utilisés dans les systèmes d'assurances agricoles indicielles en Afrique. *Sécheresse*, 23: 255-260.
- Sauquet E., Bois P., Renard B. (2006). Observations d'événements extrêmes historiques dans le monde, selon les climats et les réseaux de mesure. *La Houille Blanche*, 92: 60-65.
- Sivakumar K. (1988). Predicting rainy season potential from the onset of rains in the Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa, *Agricultural and Forest Meteorology*, 42: 295-305.
- Tramblay Y., Gachon P., St-Hilaire A., Chaumont D. (2005). Variabilité et extrêmes de température et de précipitation entre 1941 et 2000: le cas du golfe du fleuve Saint-Laurent.
- Waongo M. (2015). Optimizing planting dates for agricultural decision-making under Climate Change over Burkina Faso/West Africa Thèse de Doctorat, 1 – 40p.

Les maladies génétiques chez le cheval

O. AMINOU¹, M. MACHMOUM¹, B. BADAOUT², M. PIRO¹

(Reçu le 31/12/2022 Accepté le 02/02/2023)

Résumé

Le cheval est un patrimoine culturel et la préservation sur le plan génétique a connu un progrès considérable depuis les années 90. L'émergence de certaines maladies héréditaires fatales chez les chevaux, causées par l'apparition de mutations génétiques a rendu le recours au dépistage par des tests moléculaires une étape décisive pour établir une gestion rationnelle de l'élevage. Grâce à la révolution de la biologie moléculaire et au développement récent du séquençage complet du génome du cheval et des techniques de génotypage, plusieurs gènes qui déterminent les phénomènes biologiques ont été mis en évidence et plusieurs mutations génétiques causant des perturbations phénotypiques ont été identifiées. Ainsi nous décrirons dans cette revue les maladies génétiques du cheval pour lesquelles différents types de mutations ont été reconnus et identifiés et qui ont un intérêt pour nos races nationales, notamment l'immunodéficience sévère combinée du cheval Arabe (SCID), l'atrophie cérébelleuse (CA), le syndrome du poulain lavande (LFS), la malformation occipito-atlanto-axiale (OAAM), le syndrome du poulain fragile (WFFS), la myopathie par surcharge polysaccharidique (PSSM) et l'épidermolyse bulleuse jonctionnelle (JEB). L'intérêt a été mis sur l'étiologie, les signes cliniques, le diagnostic et la prévalence de chaque maladie génétique.

Mots clés: Génotypage, Séquençage, NGS, SNP, Maladies génétiques, Chevaux

Genetic diseases in horses

Abstract

The horse has a history intimately linked to that of many societies, it is a cultural heritage and the genetic preservation of this species has undertaken an enormous progress since the 90s. The emergence of certain fatal hereditary diseases in horses, caused by the appearance of genetic mutations, has made the use of screening by molecular tests a decisive step in establishing rational management of breeding. Considering the revolution in molecular biology, the new development of the complete sequencing of the horse genome and the development of genotyping, several genes that determine biological phenomena have been highlighted and several genetic mutations causing phenotypic disturbances have been identified. Thus, this review focuses on genetic diseases of the horse for which different types of mutations have been recognized and identified, including severe combined immunodeficiency of the Arabian horse (SCID), Cerebellar Atrophy (CA), Lavender Foal Syndrome (LFS), Occipito-Atlanto-Axial Malformation (OAAM), Warmblood Fragile Foal Syndrome (WFFS), Polysaccharide storage myopathy (PSSM), and Junctional Epidermal Bullosa (JEB). The emphasis was put on the etiology, clinical signs, diagnosis and prevalence of each genetic disease.

Keyword: Genotyping, Sequencing, NGS, SNP, Genetic diseases, Horses

INTRODUCTION

La filière équine est une filière d'excellence à travers le monde. En effet, le cheval présente la particularité d'être parmi les rares espèces animales qui se prêtent à des usages très variés, bien que les courses hippiques, les sports équestres et l'équitation de loisir sont les plus privilégiés (Arthuis, 2018), certaines activités traditionnelles notamment la Tbourida continue de jouir d'un grand intérêt dans le Maghreb et tout particulièrement au Maroc (Talley, 2020).

Depuis les années quatre-vingt-dix, la préservation de cette espèce a connu un essor considérable sur le plan génétique en l'occurrence avec la révolution de la biologie moléculaire autant dans le domaine fondamental que dans ses applications. Ainsi, un accès direct est devenu possible aux gènes qui déterminent les phénomènes biologiques mis en évidence par les perturbations phénotypiques résultant des mutations (Serre *et al.*, 2002). Dans ce sens, il est devenu possible d'établir un diagnostic moléculaire pour certaines maladies génétiques héréditaires chez différentes races de chevaux pour lesquelles les mutations génétiques ont été mises en évidence.

Dans la plupart des cas, les maladies génétiques sont transmises selon le mode autosomique ou gonosomique et sont soit dominantes ou récessives: Les maladies autosomales dominantes sont gouvernées par des locus à deux allèles (A,a), les individus homozygotes (A,A) et hétéro-

zygotes (A,a) expriment la maladie alors que les individus homozygotes (a,a) sont sains. Les maladies autosomales récessives sont aussi contrôlées par des locus à deux allèles (A, a) sauf que les individus homozygotes (A, A) et hétérozygotes (A,a) sont cliniquement sains, alors que les individus homozygotes (a,a) sont malades. Les individus hétérozygotes sont porteurs sains (Harry, 2001) et lors du croisement entre deux individus hétérozygotes, le quart des descendants développeront la maladie.

Différents types de mutations peuvent être à l'origine de l'apparition de maladies génétiques, à savoir une délétion, une substitution ou une insertion de pair de base ou même un polymorphisme au niveau d'un seul nucléotide (SNP). Chez le cheval, plusieurs maladies génétiques (au nombre de 22) ont été mises en évidence et leurs composantes moléculaires ont été identifiées. Certaines de ces maladies sont spécifiques à certaines races. Au Maroc, le syndrome d'immunodéficience sévère combinée (SCID) a déjà été mis en évidence par une approche clinique (Tligui *et al.*, 1996) et par diagnostic moléculaire chez des chevaux Arabe, Arabe-Barbe et Anglo-Arabe (Piro *et al.*, 2008). L'atrophie cérébelleuse (AC) (Edwards et Finno, 2020; Danvy *et al.*, 2020), le syndrome du poulain lavande (LFS) (Edwards et Finno, 2020) et la malformation occipitale atlanto-axiale (OAAM) (Bordbari *et al.*, 2017) sont décrites et identifiées génétiquement chez le cheval Arabe. Chez le Quarter Horse, des anomalies génétiques ont été

¹ Département de Médecine Chirurgie et Reproduction, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

² Département de biologie, Génomique, Biostatistiques et Bioinformatique, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat, Maroc

identifiées pour plusieurs pathologies dont l'asthénie dermique héréditaire localisée équine (Borges *et al.*, 2005), la malformation occipito-atlanto-axiale (Bordbari *et al.*, 2017), l'hyperthermie maligne (Rosenberg *et al.*, 2015) et la myopathie par stockage polysaccharidique (Finno *et al.*, 2009). L'épidermolyse bulleuse jonctionnelle a été surtout décrite et identifiée chez les races Saddlebred, le Belgian horse, le cheval Breton, Comtois, Vlaams Paard, Beglish Koudbloed Flander et le draft horse (Baird *et al.*, 2003; Milenkovic *et al.*, 2003).

Afin de garantir une gestion rationnelle des programmes d'élevage chevaline au Maroc et prévenir l'apparition de certaines maladies génétiques, il est indispensable de pouvoir les reconnaître et les identifier. Ainsi, nous nous intéresserons dans ce qui suit à étudier les maladies susceptibles d'affecter les races chevalines nationales, à savoir le cheval Arabe, le pur-sang Anglais, le Barbe, l'Arabe-Barbe et l'Anglo-Arabe et les chevaux de selle. En conséquence, nous développerons principalement les maladies ayant été reconnues avoir un lien avec les races précitées à savoir: L'immunodéficience sévère combinée du cheval Arabe (SCID), l'atrophie cérébelleuse (CA), le syndrome du poulain lavande (LFS), la malformation occipito-atlanto-axiale (OAAM), le syndrome du poulain fragile (WFFS), la myopathie par surcharge polysaccharidique (PSSM) et l'épidermolyse bulleuse jonctionnelle (JEB).

L'immunodéficience sévère combinée (Severe combined immunodeficiency) (SCID)

Le SCID est une maladie fatale héréditaire autosomale récessive (Perryman *et al.*, 1980; Piro *et al.*, 2011; Bengi *et al.*, 2014) rencontrée spécifiquement chez les chevaux de race Arabe et les poulains issus de leurs croisements. La mutation génétique responsable de cette maladie est une délétion de cinq paires de bases (TCTCA) au niveau du gène codant pour la sous-unité catalytique de la protéine kinase de l'ADN (DNA-PKcs) localisé au niveau du bras court du chromosome 9 (ECA9p12), une enzyme impliquée directement dans la fabrication des régions variables des IgG (Shin *et al.*, 1997a; 1997b; Piro *et al.*, 2008 et 2011; Bengi *et al.*, 2014; AbouElEla *et al.*, 2018). Cette mutation provoque l'apparition d'un codon stop prématuré qui entraîne la suppression de 976 acides aminés et par conséquent la protéine DNA-PKcs devient non fonctionnelle (Shin *et al.*, 1997; Bugno-Poniewierska *et al.*, 2019). Cette mutation est responsable de l'absence totale d'une réponse immunitaire spécifique en raison de la non production d'anticorps et l'absence de maturation des lymphocytes B et T. Par conséquent, les poulains deviennent sensibles aux agents infectieux opportunistes comme *Rhodococcus equi*, les rotaviroses et les adénoviroses (Bengi *et al.*, 2014) les exposant à une mort précoce au plus tard vers l'âge de 5 mois (Finno *et al.*, 2009; Bengi *et al.*, 2014; AbouEl Ela *et al.*, 2018).

Le premier cas de SCID du cheval au Maroc a été diagnostiqué en 1996 (Tligui *et al.*, 1996). Les signes cliniques chez les poulains apparaissent généralement depuis la naissance jusqu'à 5 à 6 mois d'âge, une fois que les anticorps maternels acquis sont en dessous du niveau de protection (Perryman, 2000).

Le diagnostic du SCID peut être déduit à partir des données épidémiologiques, cliniques et par l'analyse du taux

d'immunoglobulines dans le sang. L'idéal est de réaliser un test PCR pour identifier la mutation génétique à l'état homozygote chez les individus malades. Pour une gestion rationnelle des programmes d'élevages, il est important de faire un dépistage systématique chez les reproducteurs pour éviter de croiser deux individus hétérozygotes (Kul *et al.*, 2014). La PCR permet d'amplifier les fragments d'ADN afin de différencier les allèles normaux des allèles SCID en fonction de la différence de taille du fait de la délétion de 5 paires de base au niveau du fragment défectueux (Swinburne *et al.*, 1999). Aussi, il a été démontré qu'il est possible de suspecter la présence du gène muté à partir du génotypage par les microsatellites utilisés dans le cadre de l'identification et du contrôle de filiation des chevaux (Piro *et al.*, 2011). Il est important de noter que la fréquence du gène muté a été identifiée dans plusieurs pays dont le Maroc avec 7% (Piro *et al.*, 2008), au Royaume-Uni avec 2,8% (Swinburne *et al.*, 1999), aux États-Unis avec la valeur la plus élevée (25,7%) (Poppie et McGuire, 1977; AbouEl Ela *et al.*, 2018) et en Pologne avec 0,03 % (Bugno-Poniewierska *et al.*, 2019) alors que cette maladie n'a pas été diagnostiquée à ce jour en Slovénie, Turquie et en Egypte, (Kul *et al.*, 2014; Zavrtnik *et al.*, 2005; AbouEl Ela *et al.*, 2018).

L'atrophie cérébelleuse (cerebellar atrophy) (CA)

La CA est une maladie neurologique génétique particulièrement étudiée chez le cheval Arabe (Edwards et Finno, 2020; Danvy *et al.*, 2020) ainsi que les poulains issus des croisements avec cette race. Elle a été décrite chez le Bashkir Curly horse, le Trakehner et le Welsh pony (Brault et Penedo, 2011). C'est une maladie autosomale récessive (Danvy *et al.*, 2020) dont la mutation génétique responsable est un polymorphisme d'un SNP cartographié dans l'exon 4 du gène TOE1 (Target Of Early Growth Response 1) situé au niveau du chromosome 2 et correspondant à la présence d'une Guanine à la place d'une Adénine. Ce gène est impliqué dans la production d'une protéine nucléaire de régulation de la transcription. Du fait de la proximité de cet SNP du gène MUTYH, l'expression de ce dernier semble être perturbé, à savoir la production d'ADN glycosylase, une enzyme qui catalyse les réactions de réparation des lésions de l'ADN (Brault *et al.*, 2011; Danvy *et al.*, 2020; Edwards et Finno, 2020; Ayad *et al.*, 2021). Cet SNP est responsable d'une variation protéique entraînant l'incorporation d'une Arginine au lieu d'une Histidine (Brault *et al.*, 2011; Edwards et Finno, 2020).

Cette mutation cause une atrophie et une désorganisation du cervelet entraînant l'apparition de signes nerveux chez le poulain généralement entre l'âge de 6 semaines et 6 mois, notamment des tremblements intentionnels, une ataxie avec des chutes fréquentes, une spasticité, une dysmétrie et une réponse à la menace absente ou incohérente (Edwards et Finno, 2020).

Le diagnostic de l'AC repose sur un examen histopathologique post-mortem du cerveau d'un poulain atteint et plus précisément du cervelet. Cet examen montre une forte pénurie des cellules de Purkinje, un appauvrissement des neurones de la couche granulaire et une augmentation de la cellularité de la couche moléculaire. Macroscopiquement, la réduction de la taille du cervelet n'est pas évidente (Dungworth et Fowler, 1966).

Pour l'identification de la mutation, un test génétique pour la CA basé sur la mise en évidence du SNP par PCR ou par séquençage (Sanger ou NGS) est indispensable (Bugno-Poniewierska *et al.*, 2019; Edwards et Finno, 2020). La fréquence de portage de l'AC chez les chevaux Arabes rapportée dans des études antérieures a été de 5,3% aux États-Unis (Brault *et al.*, 2011), 4,7% en Pologne (Bugno-Poniewierska *et al.*, 2019), et 5,1 % en Afrique du sud durant la saison de monte 2009 (Tarr *et al.*, 2014).

Le syndrome du poulain Lavande (Lavender Foal Syndrom) (LFS)

Le LFS est un trouble héréditaire autosomale récessif spécifiquement rencontré chez les chevaux Arabes et plus spécialement chez la lignée égyptienne. La mutation génétique responsable est une délétion d'une paire de base dans l'exon 30 du gène MYO5A codant pour la production de la protéine Myosine Va entraînant l'incorporation d'un codon stop prématuré au cours du processus de la transcription de l'ADN nucléaire (Bierman *et al.*, 2010; Brooks *et al.*, 2010; Aleman *et al.*, 2018). Cette protéine est essentielle pour le transport des molécules au niveau des cellules et plus spécifiquement au niveau des neurones et des mélanocytes (Brooks *et al.*, 2010; Aleman *et al.*, 2018). Le LFS a été la première maladie équine dont la mutation génétique moléculaire a été cartographiée à l'aide d'une étude d'association pangénomique basée sur le polymorphisme d'un seul nucléotidique (SNP) dans le cadre d'une étude d'association: à l'échelle du génome utilisant la biopuce Equine SNP50 (Brooks *et al.*, 2010).

Les poulains homozygotes naissent avec une couleur de robe diluée et un profond dysfonctionnement neurologique

(Fanelli, 2005; Page *et al.*, 2006; Aleman *et al.*, 2018) avec des épisodes tétaniques ou d'hyperesthésie, une rigidité des muscles extenseurs associée à des mouvements de pédalage souvent en position d'opisthotonos dès la naissance (Figure 1). Ceci est généralement associé à une augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire et des mouvements rapides et incontrôlés des yeux (Pascoe et Knottenbelt, 1999; Fanelli, 2005).

L'examen post-mortem et les résultats histopathologiques des poulains atteints révèlent une anomalie du plexus choroïde (Bowling, 1996), une vacuolisation des neurones (Madigan, 1997) et une agglutination anormale de la mélanine remarquée sur une biopsie de la peau (Scott et Miller, 2003; Fanelli, 2005). Un test génétique pour le LFS peut être utilisé pour un diagnostic de certitude mais aussi pour identifier des chevaux Arabe reproducteurs porteur du gène muté (Edwards et Finno, 2020). Le test PCR réalisé afin d'identifier la mutation génétique permet d'amplifier un fragment d'ADN muté présentant une délétion d'une seule paire de base (une cytosine) par rapport à l'allèle sauvage (Tarr *et al.*, 2014). Le gène muté peut être détecté par la technique de séquençage classique de Sanger ou par NGS (Bugno-Poniewierska *et al.*, 2019). Les fréquences de portage préliminaires ont été estimées à 10,3% chez les chevaux Arabes de lignée égyptienne et à 1,8% chez les autres lignées de la même race (Brooks *et al.*, 2010). En Croatie, cette affection a été identifiée chez 9,4% de la population testée (Efendic *et al.*, 2018). En Afrique du Sud, la prévalence des porteurs de la LFS est passée de 13,3% en 2004 à 11,7% en 2009 (Tarr *et al.*, 2014).



Figure 1: Un poulain atteint du syndrome du poulain de Lavande présentant opisthotonos, un des principaux signes neurologiques de la maladie (Brooks *et al.*, 2010)

La malformation occipito-atlanto axiale (occipito-atlanto-axial malformation) (OAAM)

L'OAAM a été définie comme une maladie autosomale récessive chez le cheval Arabe. Le séquençage du génome entier du cheval en utilisant TruSeq DNA PCR-Free d'Illumina a permis d'identifier la mutation génétique responsable de cette maladie et qui correspond à une délétion de 2,7 kb sur le chromosome 18 entre deux Homeobox gene, séquences qui permettent de contrôler l'expression des gènes. Cette importante délétion est située entre les Homeobox D3 et D4 impliqués dans la formation de l'occiput, l'atlas et l'axis (Bordbari *et al.*, 2017; Aleman *et al.*, 2018).

Cette mutation est responsable d'un défaut de développement avec subluxation atlanto-axiale et une fusion de l'atlas et de l'axis (Mayhew *et al.*, 1978; Bordbari *et al.*, 2017). Ainsi, le poulain atteint par l'OAAM présente une posture anormale et des degrés variables d'ataxie (Bordbari *et al.*, 2017). Il développe des anomalies neurologiques progressifs quelques semaines ou mois plus tard après la naissance, avec des signes d'ataxie symétrique, d'hypométrie, de tétraparésie avec une faiblesse, une incoordination, une parésie voire une paralysie des 4 membres dues à la compression progressive de la moelle épinière (Bordbari *et al.*, 2017; Aleman *et al.*, 2018). Aussi, le poulain présente une posture à base large avec une encolure en extension et une raideur du cou et un manque de mouvement au niveau de l'articulation atlanto-occipitale avec une perte de flexibilité et de l'extension (Watson et Mayhew, 1983).

Le diagnostic de l'OAAM repose sur un examen clinique et radiographique (Figure 2) montrant une fusion atlanto-occipitale et une duplication de l'atlas ou de l'axis. Toutefois, la réalisation d'un test moléculaire reste l'idéal afin d'identifier la mutation génétique chez les poulains atteints. Il est également possible d'identifier la présence du gène responsable à l'état hétérozygote par le séquençage classique de Sanger ou par NGS. La fréquence de portage de la délétion a été estimée à 1,2% en utilisant la base de données d'ADN d'une petite population de chevaux Arabe au laboratoire de génétique vétérinaire de l'Université de Davis en Californie (UCD) (Bordbari *et al.*, 2017).

Le syndrome du poulain fragile (Warmblood fragile foal syndrom) (WFFS)

Le WFFS est une maladie génétique cutanée à transmission autosomale récessive (Aurich *et al.*, 2019; Sabbagh et Legrand, 2020). Elle est observée spécifiquement chez les chevaux à sang chaud comme les chevaux de CSO ou les pur-sang anglais (Warmblood) (Bellone *et al.*, 2020; Rowe *et al.*, 2021). Ce syndrome est aussi rencontré chez l'homme et connu sous le nom de Syndrome d'Ehlers-Danslos VI (Proske *et al.*, 2006). La mutation génétique responsable de cette maladie est un polymorphisme d'un seul nucléotide en position nucléotidique 2032 du gène PLOD 1 (pro collagène-lysine, 2-oxoglutarate 5-dioxygénase1) localisé sur le chromosome 2 (Zhang *et al.*, 2020), et codante pour l'enzyme Lysyl hydroxylase responsable de la conversion par hydroxylation de la lysine en hydroxylysine qui rentre dans la biosynthèse du collagène (Winand, 2012; Flanagan *et al.*, 2021; Ablondi *et al.*, 2022). Cette mutation correspond à une substitution de la guanine par une arginine à la position de l'acide aminé 678 (Winand, 2012; Flanagan *et al.*, 2021) et affecte le tissu conjonctif des poulains nés avec le WFFS (Monthoux *et al.*, 2015; Moraes Dias *et al.*, 2019; Flanagan *et al.*, 2021; Ablondi *et al.*, 2022) entraînant ainsi une peau hyper-extensible, anormalement fine, fragile et qui se déchire facilement (Zhang *et al.*, 2020). Ceci est surtout due à un défaut du collagène dans l'épiderme causant une baisse de souplesse et d'élasticité de la peau, des lacérations de la peau et des muqueuses et une hyper extension des articulations (Sabbagh et Legrand, 2020; Ablondi *et al.*, 2022).

Lors de l'examen nécropsique macroscopique, le poulain présente de multiples lacérations cutanées étendues. L'examen histologique révèle un derme anormalement fin, des quantités nettement réduites de faisceaux de collagène dermique, avec une orientation lâche et des espaces anormalement grands entre les fibres dermiques profondes (Monthoux *et al.*, 2015).

Le test génétique du WFFS revêt une grande importance afin d'identifier les porteurs hétérozygotes phénotypiquement normaux et de prévenir la naissance de poulains homozygotes non viables par la mise en évidence du SNP (Moraes Dias *et al.*, 2019; Martin *et al.*, 2021; Rowe *et al.*

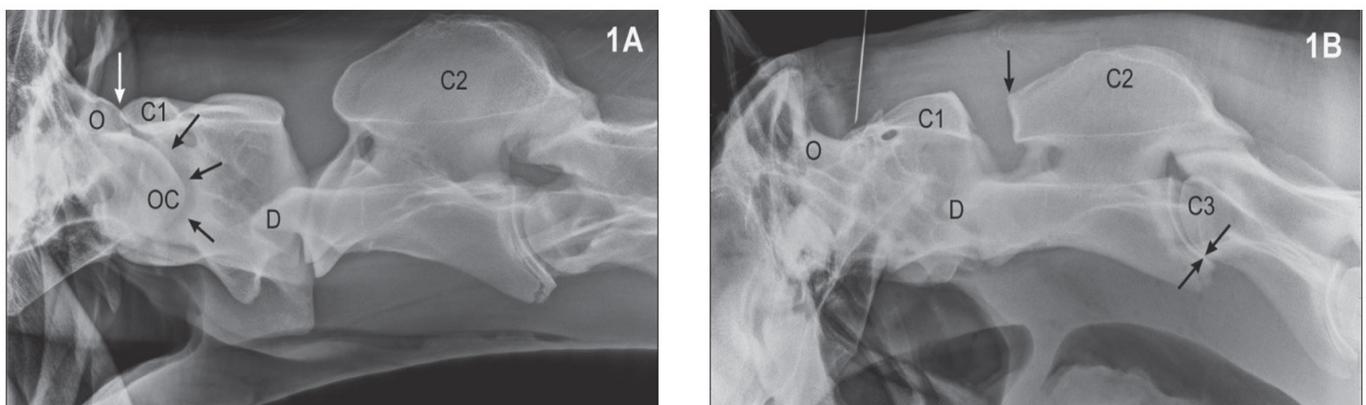


Figure 2: Cliché radiographique de contrôle des condyles occipitaux et de l'atlas : pas d'articulation atlanto-occipitale évidente, condyles occipitaux non identifiables, aspect crânial émoussé de l'apophyse épineuse de l'axis (simple flèche noire), et déviation dorsale de la troisième vertèbre cervicale (C3) avec effondrement ventral du disque intervertébral (double flèche noire) (Aleman *et al.*, 2014)

al., 2021). Ablondi (2022) a mis en évidence que 7,4% des chevaux sport Suédois sont porteurs de la mutation; chez les chevaux Warmblood Brésilien, Moraes Dias (2019) a rapporté une fréquence allélique de 5,5 %; chez les chevaux de sport et les pur-sang irlandais, la fréquence décrite était faible et elle était respectivement de 1,98% et 2,75% (Rowe *et al.*, 2021). Cette fréquence était de 17,3% chez les chevaux Hanovrien (Reiter *et al.*, 2020) et de 2,73% chez le Pur-sang anglais (Bellone *et al.*, 2020). A ce jour, la mutation responsable de la WFFS n'a pas été mise en évidence chez les chevaux Arabes ni chez le Quarter Horse.

La myopathie par surcharge polysaccharidique (Polysaccharide storage myopathy) (PSSM)

La PSSM est un trouble de stockage du glycogène qui est décrite chez certaines races chevalines notamment le Quarter Horse, l'American Paint Horse, l'Appaloosa, les chevaux à sang chaud (Warmblood) et les chevaux lourds de trait et les races apparentées (Valberg et Mickelson, 2007; Finno *et al.*, 2009; McCue *et al.*, 2009; Baird *et al.*, 2010; Valberg *et al.*, 2021). Il s'agit d'une anomalie génétique autosomale dominante causée par une substitution de 10 paires de bases dans le gène du glycogène synthase (GYS1) régulant la synthèse du glycogène (Valberg et Mickelson, 2007).

Il existe deux type de PSSM: le PSSM type 1 qui est associée à la mutation au niveau du gène GYS1 et le PSSM type 2 qui concerne les chevaux présentant un stockage excessif de glycogène dans les muscles sans mutation GYS1 (McCue *et al.*, 2009). La PSSM2 est courante chez les chevaux à sang chaud (Warmblood) et le cheval Arabe.

Les poulains atteints de PSSM manifestent une intolérance redoutable à l'exercice, une atrophie et des douleurs musculaires et des anomalies de démarche et une rhabdomyolyse (McCue *et al.*, 2010; Lewis *et al.*, 2017). Une biopsie musculaire a montré la présence d'agrégats anormaux de polysaccharide dans les fibres musculaires (Valberg *et al.*, 1992 et 2021).

Le diagnostic clinique de la PSSM peut être déduit de l'analyse de l'activité sérique de la créatine kinase (CK) et de l'aspartate aminotransférase (AST) (Lewis *et al.*, 2017). La réalisation d'un test génétique pour la PSSM permet de déterminer le statut du cheval porteur du gène responsable (Baird *et al.*, 2010). La technique de pyroséquençage a permis de déterminer la fréquence allélique du GYS1 (Druml *et al.*, 2016). En Europe et en Amérique du nord, la mutation GYS1 a été détecté chez plusieurs races de chevaux dont l'Appaloosa avec une fréquence allélique de 3% et le Quarter Horse 3,4%, cette mutation n'a pas été trouvée à ce jour chez les pur-sang et le Hanovrien (McCue *et al.*, 2010).

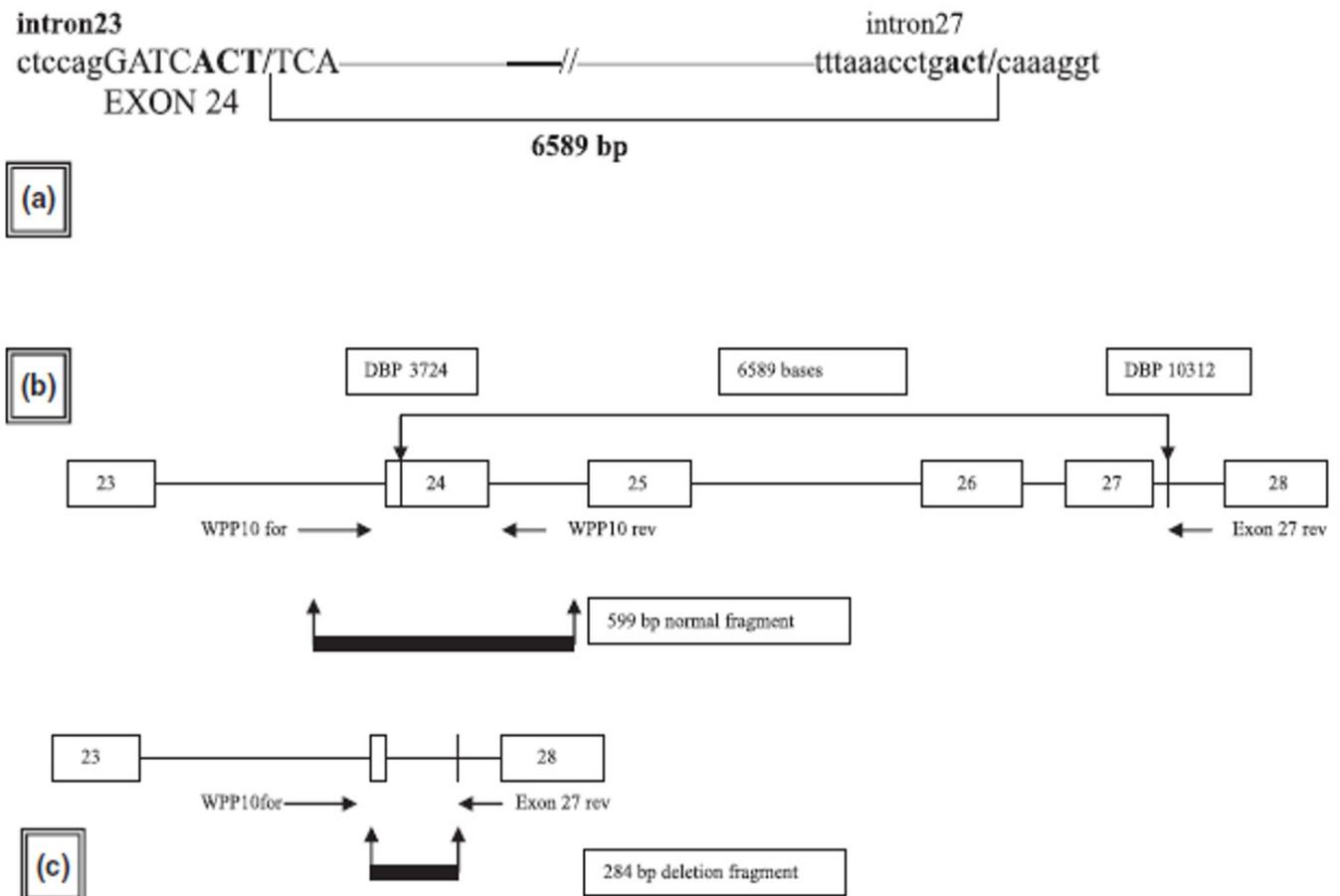


Figure 3: Diagramme montrant la délétion de LAMA3. (a) Séquence du point de rupture délimité par /. La séquence de l'exon est en lettres majuscules, celle de l'intron est en lettres minuscules. (b, c) Exons et points de rupture de la délétion (DBP) avec les positions relatives des amorces utilisées pour détecter la mutation. Chez un cheval sain (b), l'exon 24 amplifié donne un fragment de 599 pb. Chez un cheval porteur de la délétion g.3724_10312del6589 dans LAMA3 (c), un fragment de 284 pb est amplifié (Graves *et al.*, 2008)

L'épidermolyse bulleuse jonctionnelle (junctional epidermolysis bullosa)(JEB)

La JEB est une maladie autosomale récessive qui a été décrites chez les chevaux de trait notamment les races Belges, Italiennes, Bretonnes, Comtois et d'autres races de chevaux de selles américains (Saddlebred) (Lieto *et al.*, 2002; Milenkovic *et al.*, 2002). Deux mutations ont été associées à cette maladie impliquant deux gènes différents codant pour le complexe protéique Laminine 332 (Spirito *et al.*, 2002; Graves *et al.*, 2008; Cappelli *et al.*, 2015). La laminine est une protéine hétérotrimérique de la membrane basale constituée de trois sous-unités glycoprotéiques: les chaînes $\alpha 3$, $\beta 3$ et $\gamma 2$, qui sont codées respectivement par les gènes LAMA3, LAMB3 et LAMC2 (Finno *et al.*, 2009), et toute mutation dans l'un de ces gènes entraîne la maladie (Spirito *et al.*, 2002). Actuellement, deux mutations ont été mise en évidence, à savoir une insertion d'une cytosine au niveau de l'exon 10 du gène LAMC2 situé au niveau du chromosome 5 responsable de la formation d'un codon stop prématuré, conduisant à une forme tronquée de la chaîne 332 de la laminine (Spirito *et al.*, 2002; Milenkovic *et al.*, 2003), et une délétion de 6589 pb couvrant de l'exon 24 du gène LAMA3 situé sur le chromosome 8 (Figure 3) (Milenkovic *et al.*, 2003; Graves *et al.* 2008; cappelli *et al.*, 2015). Cette maladie appartient au groupe des maladies vésiculo-bulleuses de l'épiderme qui sont caractérisées par la formation d'une fissure dans n'importe quelle couche de l'épiderme ou sous celle-ci, à la jonction dermo-épidermique. L'absence de la laminine 5 cause des ulcérations irrégulières au niveau de la peau et la bouche sur les points

de pression, des érosions étendues peuvent être présentes aux jonctions muco-cutanées de la bouche, du rectum, de la vulve, et le long des bandes coronaires. La séparation des bandes coronaires de la paroi du sabot et la desquamation des sabots (Figure 4) entraîne une chute des sabots chez les poulains à la naissance ou juste après (Kohn *et al.*, 1998). La mort du poulain intervient généralement suite à une septicémie ou par euthanasie face à la gravité des symptômes notamment l'impossibilité de se mettre debout et de la tété.

Les signes cliniques typiques ainsi qu'une biopsie cutanée montrant une séparation de l'épiderme du derme par des fissures sous-épidermiques relativement exemptes de cellules et de débris inflammatoires sont des indices majeurs de la suspicion de la JEB. Néanmoins, le diagnostic de confirmation nécessite un test génétique par PCR qui permet d'amplifier le fragment d'ADN contenant le site de délétion à l'aide de l'amorce directe de l'exon 24 (Graves *et al.*, 2008). En Amérique du nord, le pourcentage des chevaux de race Belge porteurs de LAMC2 identifiés était de 17,1% entre 2002 et 2003 (Baird *et al.*, 2003). En Europe, plusieurs races de chevaux ont été identifiés porteurs de la mutation LAMC2 à l'état hétérozygote notamment les chevaux de trait Breton, Comtois, Vlaams Paard et Belgische Koudbloed Flander. En France, 15,9% chevaux Bretons et 7,8% chevaux Comtois ont été détectés comme porteurs de la mutation. Aux Pays-Bas, la prévalence des porteurs de la JEB était de 27,3% chez les chevaux Vlaams Paard et de 18,7 % en Belgique chez les chevaux Belgische Koudbloed Flander. Cette mutation n'a pas été identifiée chez les chevaux race American Saddlebred aux États-Unis et en Afrique du Sud (Baird *et al.*, 2010).



Figure 4: Poulain de trait italien, mâle, âgé de 4 jours présente des lésions focales étendues, érosives à ulcéreuses présentes sur les quatre pattes et particulièrement sévères sur la patte avant gauche. Les lésions sont recouvertes de croûtes associées à une desquamation du sabot et à des saignements (Cappelli *et al.*, 2015)

CONCLUSION

L'émergence de certaines maladies héréditaires fatales chez les chevaux, causées par la présence de mutations génétiques a rendu le recours au dépistage par des tests moléculaires une étape cruciale pour asseoir une gestion rationnelle de l'élevage. En effet, ces tests permettraient d'identifier les reproducteurs porteurs des mutations hétérozygotes offrant ainsi un moyen de prévention des croisements susceptibles de donner naissance aux poulains homozygotes cliniquement affectés. En termes d'élevage équin, la lutte contre les maladies héréditaires fait partie des bonnes pratiques, elle consiste à garantir de manière durable les capacités des races équines et à adopter une stratégie d'élevage à long terme, seulement, certains reproducteurs doivent être gardés au sein de l'élevage vu qu'ils possèdent d'autres excellents traits phénotypiques qu'il faut maintenir notamment la couleur de la robe sans omettre certaines performances d'une grande importance zootechnique. Grâce au séquençage complet du génome du cheval et au développement de technique de génotypage par séquençage des SNPs, la découverte de mutations génétiques équines va continuer à s'élargir et à servir des intérêts zootechniques et sanitaires. Au Maroc, un grand intérêt pour ces maladies génétiques et à leur dépistage est d'actualité et permettra de participer à une gestion raisonnée des différents croisements dans le but de consolider les efforts entrepris dans l'amélioration génétique des races de chevaux à Studbook officiel.

RÉFÉRENCES

- Ablondi M., Johnsson M., Eriksson S., Sabbioni A., Viklund A.G., Mikko S. (2022). Performance of Swedish Warmblood fragile foal syndrome carriers and breeding prospects. *Genetics Selection Evolution*, 54: 1-16.
- AbouEl Ela N.A., El-Nesr K.A., Ahmed H.A., Brooks S.A. (2018). Molecular detection of Severe Combined Immunodeficiency (SCID) disorder in Arabian horses in Egypt. *Journal of Equine Veterinary Science*, 68: 55-58.
- Aleman M., Dimock A. N., Wisner E. R., Prutton J. W., Madigan J. E. (2014). Atlanto-axial approach for cervical myelography in a Thoroughbred horse with complete fusion of the atlanto-occipital bones. *Can. Vet. J.*, 55: 1069–1073.
- Aleman M., Finno C.J., Weich K., Penedo M.C.T. (2018). Investigation of Known Genetic Mutations of Arabian Horses in Egyptian Arabian Foals with Juvenile Idiopathic Epilepsy. *J. Vet. Intern. Med.*, 32: 465–468.
- Arthuis J. (2018). Filière équine: vision et propositions pour un nouveau souffle «Le pari de reconquérir le grand public». Rapport République française.
- Aurich C., Muller-Herbst S., Reineking W., Müller B., Wohlsein P., Gunreben B. (2019). Characterization of abortion, stillbirth and non-viable foals homozygous for the Warmblood fragile foal syndrome. *Anim. Reprod. Sci.*, 211: 106-202.
- Ayad, A., Almarzook, S., Besseboua, O., Aissanou, S., Piórkowska, K., Musiał, A.D., Ropka-Molik, K. (2021). Investigation of cerebellar abiotrophy (CA), lavender foal syndrome (LFS), and severe combined immunodeficiency (SCID) variants in a cohort of three MENA region horse breeds. *Genes*, 12: 1893.
- Baird J.D., Millon L.V., Dileanis S., Cecilia M., Penedo T., Charlesworth A., Spirito F., Meneguzzi G. (2003). Junctional Epidermolysis Bullosa in Belgian Draft Horses. *Proc. Am. Assoc. Equine Practn.*, 49: 122-126.
- Baird J.D., Valberg S.J., Anderson S.M., McCue M.E., Mickelson J.R. (2010). Presence of the glycogen synthase 1 (GYS1) mutation causing Polysaccharide Storage Myopathy in continental European draught horse breeds. *Vet. Rec.*, 167: 781-784.
- Bellone R.R., Ocampo N.R., Hughes S.S., Le V., Arthur R., Finno C.J., Penedo M.C.T. (2020). Warmblood fragile foal syndrome type 1 mutation (PLOC1 c.2032G>A) is not associated with catastrophic breakdown and has a low allele frequency in the Thoroughbred breed. *Equine Vet. J.*, 52: 411–414.
- Bengi Ç. K., Özgecan K. A., Okan E., Murat D. (2014). Investigation of severe combined immunodeficiency (SCID) disease of Arabian horses raised at the state stud farms in Turkey. *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg.*, 61: 59-63.
- Bierman A., Guthrie A.J., Harper C.K. (2010). Lavender foal syndrome in Arabian horses is caused by a single-base deletion in the MYO5A gene. *Anim Genet.*, 41: 199–201.
- Bordbari M.H., Penedo M.C.T., Aleman M., Valberg S.J., Mickelson J., Finno C.J. (2017). Deletion of 2.7 kb near HOXD3 in an Arabian horse with occipitoatlantoaxial malformation. *Anim. Genet.*, 48: 287–294.
- Borges A.S., Conceição L.G., Alves A.L.G., Fabris V.E., Pessoa M.A. (2005). Case report. Hereditary equine regional dermal asthenia in three related Quarter horses in Brazil. *Veterinary Dermatology*, 16: 125–130.
- Bowling A.T. (1996). Medical genetics. In: *Horse Genetics*. Wallingford: CAB International, 105–106.
- Brault L.S., Penedo M.C.T. (2011). The frequency of the equine cerebellar abiotrophy mutation in non-Arabian horse breeds. *Equine Vet. Journal*, 43: 727-731.
- Brault L.S., Cooper C.A., Famula T.R., (2011). Mapping of equine cerebellar abiotrophy to ECA2 and identification of a potential causative mutation affecting expression of MUTYH. *Genomics*, 97:121–9.
- Brooks S.A., Gabreski N., Miller D. (2010). Whole-genome SNP association in the horse: Identification of a deletion in myosin Va responsible for Lavender Foal Syndrome. *PLoS Genet.*, 6: e1000909.
- Bugno-Poniewierska M., Stefaniuk-Szmukier M., Piestrzyńska-Kajtoch A., Fornal A., Piórkowska K., Ropka-Molik K. (2019). Genetic screening for cerebellar abiotrophy, severe combined immunodeficiency and lavender foal syndrome in Arabian horses in Poland. *The Veterinary Journal*, 248: 71-73.
- Cappelli K., Brachelente C., Passamonti F., Flati A., Silvestrelli M., Capomaccio S. (2015). First report of junctional epidermolysis bullosa (JEB) in the Italian draft horse. *BMC Veterinary Research*, 11: 1-4.
- Danvy S., Sabbagh M., Legrand L. (2020). Atrophie cérébelleuse. Equipédia Ifce.
- Druml T., Grilz-Seger G., Neuditschko M. and Brem G. (2016). Association between population structure and allele frequencies of the glycogen synthase 1 mutation in the Austrian Noriker draft horse. *Short communication Animal Genetics*, 48:108-112.
- Dungworth D.L., Fowler M.E. (1966). Cerebellar hypoplasia and degeneration in a foal. *The Cornell veterinarian*, 6:17-24.
- Edwards L., Finno C. J. (2020). Genetics of Equine Neurologic Disease. *Vet. Clin. Equine.*, 36: 255–272.
- Efendić, M., Maćešić, N., Samardžija, M., Vojta, A., Korabi, N., Capak, H., Babić, N.P. (2018). Determination of sublethal mutation causing lavender foal syndrome in Arabian horses from Croatia. *Journal of Equine Veterinary Science*, 61: 72-75.
- Fanelli H.H. (2005). Coat colour dilution lethal ('lavender foal syndrome'): A tetany syndrome of Arabian foals. *Equine Vet. Educ.*, 17: 260–263.
- Finno C.J., Spier S.J., Valberg S.J. (2009). Equine diseases caused by known genetic mutations. *The Veterinary Journal*, 179: 336–347.
- Flanagan S., Rowe A., Duggan V., Markle E., O'Brien M., Barry G. (2021). Development of a real-time PCR assay to detect the single nucleotide polymorphism causing Warmblood Fragile Foal Syndrome. *PLoS One*, 16: e0259316.
- Graves K.T., Henney P.J., Ennis R.B. (2008). Partial deletion of the LAMA3 gene is responsible for hereditary junctional epidermolysis bullosa in the American Saddlebred Horse. *Animal Genetics*, 40: 35–41.
- Harry M. (2001). Génétique moléculaire et évolutive: chapitre transmission des caractères et hérédité chez les eucaryotes. Édition Maloine. Collection sciences fondamentales. p.118-121
- Kohn C.W., Johnson G.C., Garry F., Scott D., Martin S. (1998). Ultrastructure of junctional epidermolysis bullosa in Belgian foals. *Journal of Comparative Pathology*, 99: 329–36.

- Kul B, Ağaoğlu Ö, Ertugrul O, Durmaz M. (2014). Investigation of severe combined immunodeficiency (SCID) disease of Arabian horses raised at the state stud farms in Turkey. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 61: 59-63.
- Lewis S.S., Nicholson A.M., Williams Z.J., Valberg S.J. (2017). Clinical characteristics and muscle glycogen concentrations in warmblood horses with polysaccharide storage myopathy. *American Journal of Veterinary Research*, 78: 1305-1312.
- Lieto L., Swerczek T.W., Cothran E.G. (2002). Equine epitheliogenesis imperfecta in two American Saddlebred Foals is a lamina lucida defect. *Veterinary Pathology*, 39: 576-80.
- Madigan J.E. (1997). Congenital anomalies and genetic disorders. In: *Manual of Equine Neonatal Medicine*. 3rd ed. Woodland, CA, Live Oak Publishing, 210-211.
- Martin K., Brooks S., Vierra M., Lafayette W.T., McClure S., Carpenter M. (2021). Fragile Foal Syndrome (PLOD1=c.2032G>A) occurs across diverse horse populations. *Anim. Genet.*, 52: 137-138.
- Mayhew I.G., Watson A.G., Heissan J.A. (1978). Congenital occipitoatlantoaxial malformations in the horse. *Equine Vet. J.*, 10: 103-113.
- McCue M.E., Anderson S.M., Valberg S.J., Piercy R.J., Barakzai S.Z., Binns M.M., Distl O., Penedo M.C.T., Wagner M.L., Mickelson J.R. (2010). Estimated prevalence of the Type 1 Polysaccharide Storage Myopathy mutation in selected North American and European breeds. *Animal Genetics*, 41: 145-149.
- McCue M.E., Valberg S.J., Jackson M. (2009). Polysaccharide storage myopathy phenotype in quarter horse-related breeds is modified by the presence of an RYR1 mutation. *Neuromuscul. Disord.*, 19: 37-43.
- Milenkovic D., Chaffaux S., Taourit S., Guérin G. (2003). A mutation in the LAMC2 gene causes the Herlitz junctional epidermolysis bullosa (H-JEB) in two French draft horse breeds. *Genet. Sel. Evol.*, 35: 249-256.
- Milenkovic D., Oustry-Vaiman A., Lear T.L., Billault A., Mariat D., Piumi F., Scibler L., Cribiu E., Guerin G. (2002). Cytogenetic localization of 136 genes in the horse: comparative mapping with the human genome. *Mammalian Genome*, 13: 524-34.
- Monthoux C., de Brot S., Jackson M., Bleul U., Walter J. (2015). Skin malformations in a neonatal foal tested homozygous positive for Warmblood fragile foal syndrome. *BMC Vet. Res.*, 11: 12-9.
- Moraes D.N., de Andrade D.G.A., Teixeira-Neto A.R., Moreira T. C., de Oliveira-Filho J.P., Winand N.J. (2019). Warmblood fragile foal syndrome causative single nucleotide polymorphism frequency in Warmblood horses in Brazil. *Vet. J.*, 248: 101-102.
- Page P., Parker R., Harper C., Guthrie A., Nesar J. (2006). Clinical, clinicopathologic, postmortem examination findings and familial history of 3 Arabians with lavender foal syndrome. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 20: 1491-1494.
- Pascoe R.R., Knottenbelt D.C. (1999). Congenital/Developmental diseases. In: Pascoe RR, Knottenbelt DC, editors. *Manual of equine dermatology*. London: W.B. Saunders, 148-149.
- Perryman L.E. (2000). Primary immunodeficiencies of horses. *Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 16: 105-116.
- Perryman L.E., Torbeck R.L. (1980). Combined immunodeficiency of Arabian horses: Confirmation of autosomal recessive mode of inheritance. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 176: 1250-1251.
- Piro M., Benjouad A., Karom A., Nabich A., Benbihi N., El Allali K., Machmoum M., Ouragh L. (2011). Genetic Structure of Severe Combined Immunodeficiency Carrier Horses in Morocco Inferred by Microsatellite Data. *Journal of Equine Veterinary Science*, 31: 618-624.
- Piro M., Benjouad A., Tligui N.S., El Allali K., El Kohen M., Nabich A., Ouragh L. (2008). Frequency of the severe combined immunodeficiency disease gene among horses in Morocco. *Equine Veterinary Journal*, 40: 590-591.
- Poppie, M.J., McGuire, T.C. (1977). Combined immunodeficiency in foals of Arabian breeding: evaluation of mode of inheritance and estimation of prevalence of affected foals and carrier mares and stallions. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 170: 31-33.
- Proske S., Hartschuh W., Enk A., Hausser I. (2006). Ehlers-Danlos syndrome – 20 years' experience with diagnosis and classification at the university skin clinic of Heidelberg. *J. Deutschen Dermatol. Gesellschaft*, 4: 308-318.
- Rosenberg H., Pollock N., Scheimann A., Bulger T., Stowell K. (2015). Malignant hyperthermia: a review. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 10: 93.
- Rowe A., Flanagan S., Barry G., Katz L.M., Lane E.A., Duggan V. (2021). Warmblood fragile foal syndrome causative single nucleotide polymorphism frequency in horses in Ireland. *Ir. Vet. J.*, 74: 27.
- Sabbagh M., Legrand L. (2020). WFFS: Syndrome du poulain fragile. *Equipédia Ifce*.
- Scott D.W., Miller W.H. (2003). Pigmentary abnormalities. In: *Equine Dermatology*. St. Louis, MO: Saunders, 587-599.
- Serre J.L., Boileau C., Boutros N., Casetta A., Cointe D., David V., Diolez A., Girodon E., Keros L., LeGuern E., Moisan J.P., Mornet E., Pascal O., Pingaud V., Pissard S., Simon-Bouy B., Stoppa-Lyonnet D. (2002). Les diagnostics génétiques: chap. Introduction. Édition Dunod. Biotech Info. p3.
- Shin E.K., Perryman L.E., Meek, K. (1997a). A kinase-negative mutation of DNA-PK (CS) in equine SCID results in defective coding and signal joint formation. *Journal of Immunology*, 158: 3565-3569.
- Shin E.K., Perryman L.E., Meek, K. (1997b). Evaluation of a test for identification of Arabian horses heterozygous for the severe combined immunodeficiency trait. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 211: 1268-1270.
- Spirito F., Charlesworth A., Linder K., Ortonne J-P., Baird J., Meneguzzi G. (2002). Animal models for skin blistering conditions: absence of laminin 5 causes hereditary junctional mechanobullous disease in the Belgian horse. *J. Investig. Dermatol.*, 119: 684-91.
- Swinburne J., Lockhart L., Scott M., Binns M.M. (1999). Estimation of the prevalence of severe combined immunodeficiency disease in UK Arab horses as determined by a DNA-based test. *Vet. Rec.*, 145: 22-23.
- Talley G. (2020). Human-Horse relationships in Morocco: What Equids can tell us about society. *Hespéris-Tamuda LV*, 4: 319-337.
- Tarr, C.J., Thompson, P.N., Guthrie, A.J., Harper, C.K. (2014). The carrier prevalence of severe combined immunodeficiency, lavender foal syndrome and cerebellar atrophy in Arabian horses in South Africa. *Equine Veterinary Journal*, 46: 512-514.
- Tligui N., ElHamidi M., Kichou F., Bouljihad, M. (1996). Immunodéficiência combinée chez le poulain Arabe. *Actes Inst. Agron. Veto.*, 16: 21-26.
- Valberg S.J., Cardinet G.H., Carlson G.P., DiMauro S. (1992). Polysaccharide storage myopathy associated with recurrent exertional rhabdomyolysis in horses. *Neuromuscular disorders*, 2: 351-359.
- Valberg S.J., Finno C.J., Henry M.L., Schott M., Velez-Irizarry D., Peng S., McKenzie E.C., Petersen J.L. (2021). Commercial genetic testing for type 2 polysaccharide storage myopathy and myofibrillar myopathy does not correspond to a histopathological diagnosis. *Equine Veterinary Journal*, 53: 690-700.
- Valberg S.J., Mickelson J.R. (2007). The interplay of genetics, exercise and nutrition in polysaccharide storage myopathy. In: *Proceedings of the 25th Annual American College of Veterinary Internal Medicine Conference*, Seattle, WA, 163-165.
- Watson A.G., Mayhew I.G. (1983). Familial congenital occipitoatlantoaxial malformation (OAAM) in the arabian horse. *Spine*, 11: 334-339.
- Winand N. J. (2012). Identification of the causative mutation for inherited connective tissue disorders in equines. United States US Patent Application Publication.
- Zavrtanik J., Mesarič M., Majdič G. (2005). Genetic monitoring for severe combined immunodeficiency carriers in horses in Slovenia. *Slov. Vet. Res.*, 42: 37-41.
- Zhang X., Hirschfeld M., Schafberg R., Swalve H., Brenig B. (2020). Skin exhibits of dark Ronald XX are homozygous wild type at the Warmblood fragile foal syndrome causative missense variant position in lysyl hydroxylase gene *PLOSL1*. *Anim. Genet.*, 51: 838-840.

Perception des aviculteurs traditionnels sur la maladie de variole aviaire au sud Bénin

B. SEDEGAN¹, Y. AKPO¹, C. BOKO², E. ATTAKPA¹, I. ALKOIRET¹

(Reçu le 03/11/2022 Accepté le 26/01/2023)

Résumé

L'étude vise à analyser la perception des aviculteurs traditionnels sur la variole aviaire au sud du Bénin. Une enquête rétrospective a été conduite auprès de 385 aviculteurs. Les espèces aviaires les plus élevées au Bénin sont les poulets (90,8%), pintades (22,8%), canards (21,4%), dindons (20,6%), les pigeons (6,1%), les cailles et paons (4,4%). 72% des aviculteurs ont reconnu les signes de la variole aviaire. La morbidité est plus observée chez les jeunes (< 60 jours). Les victimes sont les poulets (94%) et dindons (21,0%) avec une mortalité moyenne de 35 %. Ces aviculteurs ont observé l'apparition de la variole en saison pluvieuse (47,0%), en saison sèche (30,0%) et toute l'année (23,0%). Seulement 13,3% d'aviculteurs vaccinent leurs volailles contre la variole. Ainsi, la mortalité des volailles non vaccinées (36,3 %) est significativement plus élevée que celle de volailles vaccinées (26,8 %). L'estimation de la prévalence moyenne de la variole aviaire a été de 33,8 %. L'observation conjointe de la prévalence et de la mortalité des volailles révèle que les départements les plus touchés ne sont pas nécessairement ceux dans lesquels la mortalité est élevée.

Mots clés: Perception, Variole aviaire, Aviculture traditionnelle, Sud Bénin

Traditional poultry farmers perceptions of fowlpox in southern Benin

Abstract

The study aims to analyze the perception of traditional poultry farmers on fowlpox in southern Benin. A retrospective survey was conducted among 385 poultry farmers. The most common poultry species were chickens (90.8%), guinea fowl (22.8%), ducks (21.4%), turkeys (20.6%), pigeons (6.1%), quails and peacocks (4.4%). 72% of poultry farmers recognized the signs of fowlpox. Morbidity is more observed among young birds (< 60 days). The victims are chickens (94%) and turkeys (21.0%) with an average mortality of 35 %. The poultry farmers observed the occurrence of fowlpox in the rainy season (47%), in the dry season (30.0%) and all year round (23.0%). Only 13.3% of them vaccinate their poultry against fowlpox. Thus, the mortality (36.3%) of unvaccinated poultry is significantly higher than that of vaccinated poultry (26.8 %). The average prevalence estimate of smallpox was 33.8 %. The joint observation of prevalence and mortality of poultry reveals that the most affected departments are not necessarily those in which mortality is high. This study will be extended to the determination of seroprevalence.

Keywords: Perception, Fowlpox, Traditional poultry farming, Southern Benin

INTRODUCTION

Présente dans le monde entier selon l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OIE, 2016), la variole aviaire est une maladie causée par un Avipoxvirus qui est un virus à ADN (Jarmin *et al.*, 2006; Welj et Tryland 2011). Elle se manifeste sous deux principales formes : une forme cutanée dite sèche généralement peu grave et une forme diphtérique dite humide plus sévère (Nayeri *et al.*, 2014). La variole aviaire est aussi redoutable en aviculture traditionnelle car elle affecte la plupart des oiseaux (AVSF, 2011; Ndiaye *et al.*, 2017). Cela a été observé ces dernières années aux États-Unis et en Chine (Tripathy et Reed, 2013; Zhao *et al.*, 2014). La variole aviaire occasionne la baisse des performances (Chute de ponte, retard de croissance), dans un contexte où l'alimentation de la volaille traditionnelle est arbitraire et presque toujours carencée (Kuietche *et al.*, 2014). Selon les zones géographiques, son importance est variable en fonction des conditions climatiques, des méthodes d'élevage, des pratiques d'hygiène ainsi que des pratiques vaccinales. (OIE, 2005).

Mais peu de données existent quant aux prévalences exactes de la variole aviaire. Les quelques rapports qui sont publiés font état de taux de morbidité pouvant aller de moins de 1% avec une létalité nulle (Hess *et al.*, 2011) et à 100% avec une létalité de 100% sur des poulets non vaccinés (Zhao *et al.*, 2014). Sur la volaille locale, des taux de morbidité de 79% ont été rapportés au Mexique

(Estrella-Tec *et al.*, 2013) et au Nigéria où la séroprévalence a été estimée à 23% (Adebajo *et al.*, 2012). Dans les environnements où le virus est présent depuis longtemps, une adaptation des espèces hôtes indigènes s'est mise en place, et la variole aviaire est généralement endémique à des prévalences relativement faibles, de l'ordre de 0,5% à 1,5% (Van Riper et Forrester, 2007; Davidson *et al.*, 1980). Contrairement, quelques études rapportent des prévalences plus élevées, et jusqu'à 100% sur des dindons sauvages à certaines périodes de l'année (Wright *et al.*, 2005). En effet, le taux de mortalité causé par cette maladie chez les jeunes poulets au Sénégal est estimé à 43 voire 63% (Ouedraogo *et al.*, 2015). Au Bénin, aucune étude n'a encore retracé la prévalence de cette maladie, tant dans les élevages traditionnels que modernes.

La présente étude vise, dans un contexte de réduction du taux de mortalité des oiseaux en aviculture traditionnelle au Bénin, à analyser la perception des aviculteurs traditionnels quant aux moyens de prise en charge et les périodes d'apparition de la variole aviaire dans leurs élevages.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude et échantillonnage

La présente étude a été réalisée dans les départements du Sud et une partie du centre Bénin, caractérisé par un climat équato-guinéen avec quatre saisons : une grande saison des pluies de mars à juillet, une petite sèche occupant le mois

¹ Laboratoire d'Écologie, de Santé et de Production Animales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

² Unité de Recherches sur les Maladies Transmissibles, Université d'Abomey-calavi, Cotonou, Bénin

d'août, une petite saison pluvieuse de septembre à octobre et une grande saison sèche de novembre à février. Le Sud Bénin regroupe les départements de Mono et du Couffo au Sud-ouest, les départements du Littoral et de l'Atlantique au Sud centre et les départements de l'Ouémé et du plateau au Sud-est (Adam et Boko, 1993). Les départements du Zou et des Collines occupent le centre du pays (INSAE, 2004), donc la partie Nord de la zone d'étude où les communes de Zogbodomey, Djija, Zakpota, Dassa et Savalou ont été prises en compte. Les enquêtes proprement dites se sont réalisées dans 15 communes choisies de façon aléatoire dans la zone d'étude. La figure 1 montre une géolocalisation de la zone d'étude.

La taille N de l'échantillon enquêté a été déterminée à partir de la formule (Dagnelie, 1998): $N = (z)^2 p(1-p)/d^2$ Avec pour N = taille de l'échantillon; z = Niveau de confiance selon la loi normale; p = proportion estimée de la population et d = la marge d'erreur tolérée. Dans le cadre de cette étude, le niveau de confiance sera de 95% soit $z=1,96$. $P=0,5$ lorsque la population estimée est inconnue et $d=5\%$ pour marge d'erreur. En somme, la taille de la population a été de 385 éleveurs enquêtés. Pour atteindre cette cible, nous avons utilisé la méthode *boule de neige* qui permet d'atteindre un certain nombre d'aviculteurs dans chaque commune, à partir d'un seul identifié. Les éleveurs enquêtés sont ceux qui élèvent entre autres les poulets et dindons de race locale ayant un effectif cumulé supérieur ou égal à 20 têtes et disposant d'un habitat ou non pour leurs sujets.

Matériel d'enquête

Le matériel utilisé au cours de l'étude a été constitué de fiches d'enquêtes qui renseignent sur les caractéristiques socio-professionnelles et religieuses des éleveurs (Age, sexe, religion, activité principale, niveau d'instruction,

espèces aviaires élevées, année d'expérience en aviculture traditionnelle), les signes associés à une suspicion de la maladie de variole aviaire, les périodes d'apparition de cette maladie, le mode de contrôle, les soins pratiqués, les recettes utilisées ainsi que les perceptions des éleveurs par rapport au choix des traitements de la variole aviaire. Les effectifs de chaque éleveur ainsi que les taux de morbidité et mortalité ont été aussi enregistrés.

Méthodes d'enquête

Les enquêtes proprement dites ont été réalisées auprès de 385 aviculteurs traditionnels dans 15 communes dans 7 départements que couvre la zone d'étude. Dans chaque commune, un focus groupe a été d'abord réalisé pour recenser les informations concernant l'aviculteur traditionnel et son cheptel. A l'issue du focus groupe, une fiche d'enquête et une gravure d'images (Cas de variole aviaire observés dans la zone d'étude) ont été utilisées pour l'enquête individuelle. L'identification des éleveurs a été faite dans chaque commune en utilisant la méthode *boule de neige*. La méthodologie utilisée pour la collecte des données est celle de l'enquête rétrospective qui fait appel à la mémoire de l'éleveur. L'enquête s'est déroulée sur la base d'entretien direct du 3 mai au 21 décembre 2021.

Analyse statistique

Les fiches d'enquête ont été dépouillées et codées dans un tableur Excel. A partir des tableaux croisés dynamiques, des tableaux de contingence ont été édités et exportés dans le logiciel Stata 16. Les variables quantitatives et qualitatives ont été appréciées et corrélées entre elles au moyen des tests appropriés. La prévalence de la variole aviaire (P) a été estimée par le rapport de la fréquence d'apparition de la variole sur l'effectif du cheptel.

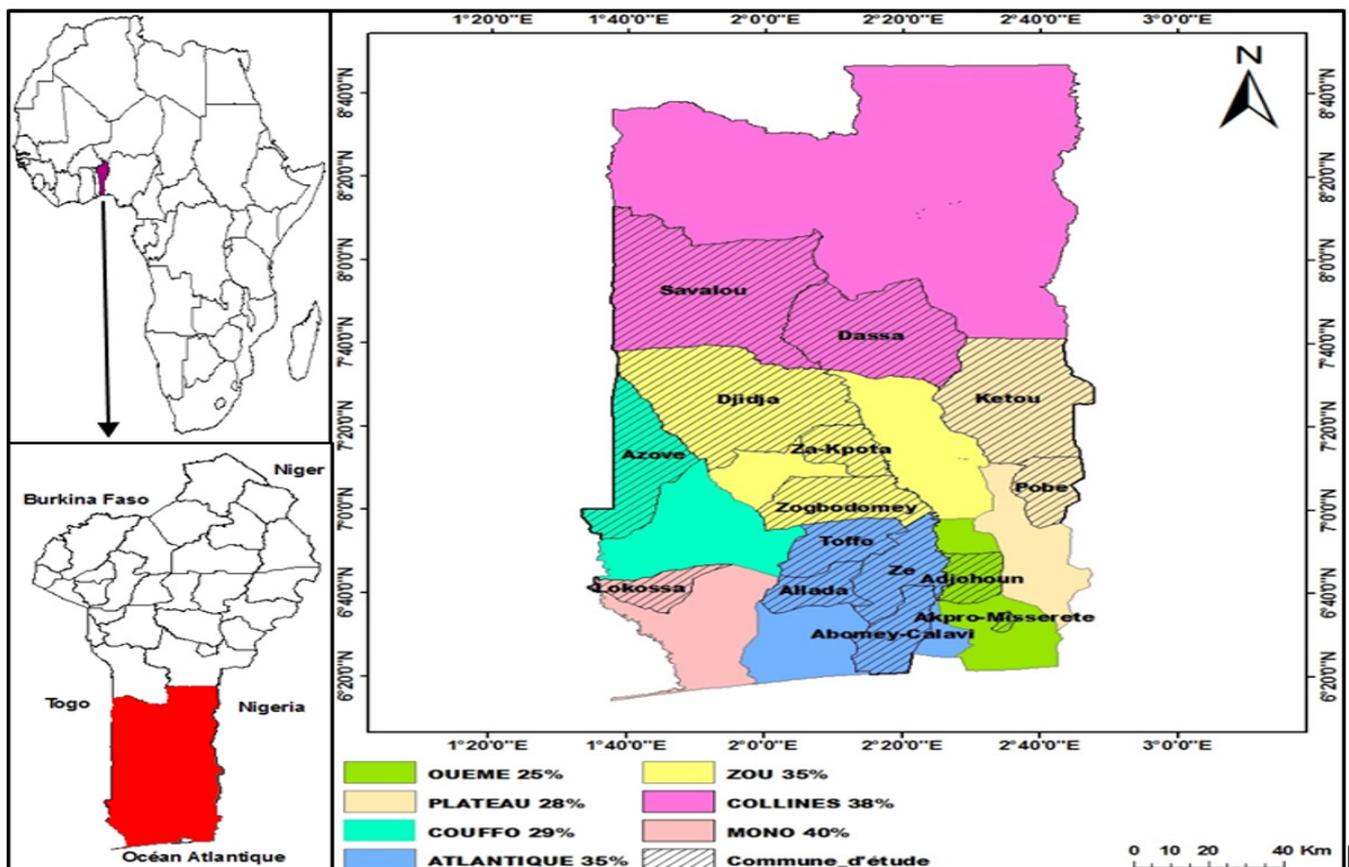


Figure 1: Milieu d'étude et répartition géographique des communes visitées

RÉSULTATS

Caractéristiques socioprofessionnelles des enquêtés

La présente étude s’est déroulée auprès de 385 aviculteurs traditionnels résidant dans les départements du Sud du Bénin et dont plus de 80% sont des hommes. Le nombre d’aviculteurs enquêté par commune varie de 10 (Adjohoun) à 45 (Zè). Plus de 60% sont des chrétiens suivis par les adeptes de religion endogène (15%), sans religion (13%) et musulmans (11%). Le niveau d’instruction des aviculteurs va du primaire au supérieur et seulement moins de 14% sont non instruit. Leurs activités principales sont l’agriculture (26%), l’élevage (22%) et l’artisanat (18%). La figure 2 montre les proportions des personnes enquêtées et leurs activités principales.

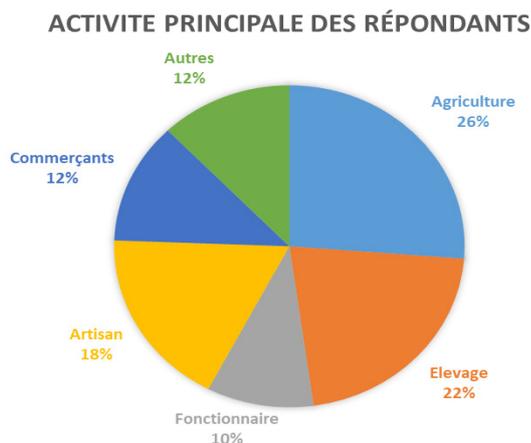


Figure 2: Proportion des personnes enquêtées et leurs activités principales

Les aviculteurs traditionnels les plus jeunes (30,1 ans) se retrouvent dans le département du Mono et sont également les moins expérimentés (4,05 ans d’ancienneté). Le nombre total de sujets élevés varie d’un département à un autre; en moyenne, on élève 2 fois plus de volailles dans l’Atlantique que dans les Collines.

Les espèces aviaires les plus élevées dans toute la zone de l’étude sont les poulets (90,8%), pintades (22,8%), canards

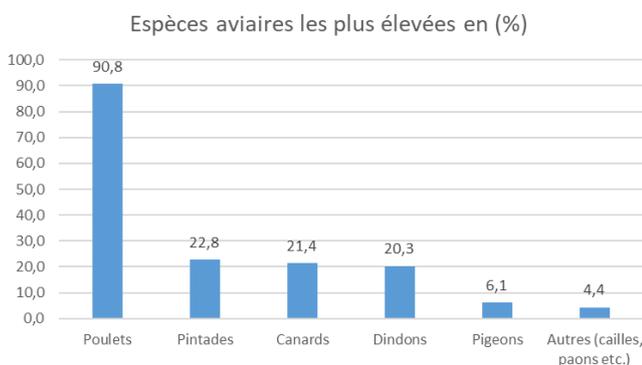


Figure 3: Espèces aviaires élevées en fonction de leurs effectifs

(21,4%), dindons (20,6%), les pigeons (6,1%), les cailles et paons (environ 4,4%). La figure 3 présente un diagramme des espèces aviaires élevées en fonction de leurs effectifs. Elles sont majoritairement élevées en semi-divagation (85,4%) et la quasi-totalité (97,4%) des aviculteurs disposent d’un habitat pour leurs sujets. Le test de Fisher exact conclut à l’existence d’une relation entre le mode d’élevage (Semi-divagation et divagation totale) et la disposition d’un habitat ($p < 0.001$), comme indiqué dans le tableau 1.

Reconnaissance de la variole aviaire par les aviculteurs traditionnels

Les aviculteurs traditionnels reconnaissent la variole aviaire par l’apparition de croutes sur la surface de la tête des sujets atteints. Plus de 72% des aviculteurs ont reconnu les signes présentés sur les gravures observées lors de l’entretien comme étant ceux retrouvés dans leurs élevages. Les proportions des cas reconnues se présentent comme suit: A (23,7%) et B (18,3%) pour la forme sèche de la variole respectivement chez les petits et grands dindons; C (69%) et D (32,4%) pour la forme sèche de la variole chez les poussins de 15 et 75 jours d’âge; E (23%) pour la forme sèche de la variole chez le poulet adulte et F (7%) pour la forme humide de la variole chez les poussins. Chez plus de la moitié des aviculteurs (53,9%), ces signes ont été observés plus d’une fois dans leur élevage; la dernière année d’apparition étant 2021 pour 55% des cas. Environ 70% des aviculteurs ont affirmé que ces signes ont été observés chez les sujets les plus jeunes (0 à 60 jours); les espèces aviaires les plus touchées sont les poulets (94%) et dindons (21%).

Les manifestations cliniques qui accompagnent souvent ces signes sont la somnolence (54%) et la perte de poids (35%).

Près de la moitié (47%) de ces aviculteurs ont affirmé que la variole aviaire apparaît le plus en saison pluvieuse (Figure 4) avec une mortalité moyenne induite de $35,1 \pm 0,18 \%$, et un pic allant jusqu’à 80% chez certains éleveurs.

Période d’observations de l’affection

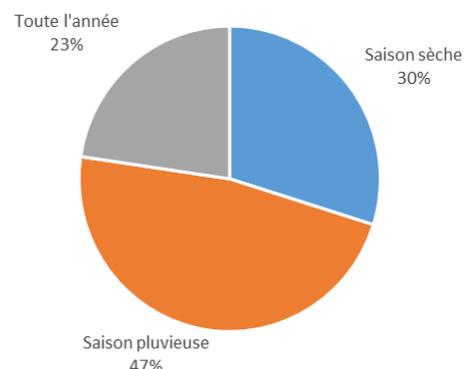


Figure 4: Saisons d’apparition de variole en aviculture traditionnelle au Sud du Bénin

Tableau 1: Mode d’élevage avicole rencontré dans la zone d’étude

Mode d’élevage	Avez-vous un habitat pour vos sujets ?		
	Oui	Non	Total
Enclos fermé	43	1	44
Semi-divagation	327	2	329
Divagation totale	5	7	12
Total	375	10	385

Prévention de la variole aviaire

Seulement 9,61% des aviculteurs vaccinent leurs volailles contre la variole. Le test exact de Fisher (Tableau 2) conclut à une relation significative entre le niveau d'instruction et le fait de vacciner ou pas ses volailles ($p < 0,001$).

Le test de Student révèle une différence significative d'ancienneté entre les aviculteurs ayant vacciné leurs volailles et ceux qui ne l'ont pas fait. En effet, plus les aviculteurs sont anciens dans l'élevage, plus ils sont disposés à vacciner leurs sujets. Ce même test de Student effectué sur la taille de l'élevage révèle que, plus la taille du cheptel est élevée, plus les aviculteurs sont enclins à les vacciner.

En revanche, le tableau 3 présente les fréquences de mortalité dû à la variole aviaire, entre les sujets vaccinés et non vaccinés. Ainsi, le taux de mortalité ($36,3 \pm 0,18\%$) des volailles non vaccinées est significativement plus élevé que celui des sujets vaccinés ($26,8 \pm 0,15\%$).

Lors de l'apparition de la variole, 43,5% des aviculteurs font recours à la médecine moderne (usage des molécules chimiques de synthèse) et 29,1% à la médecine traditionnelle (usage des plantes médicinales). Cependant, 22,7% des aviculteurs ont fait le choix de n'utiliser aucune méthode de traitement. Pour le traitement traditionnel contre la variole aviaire, les aviculteurs utilisent les plantes telles que : feuilles de *Jatropha multifida*, d'*Ocimum gratissimum*, écorces de manguier, feuilles de *moringa oleifera*, écorces de *Khaya senegalensis*, feuilles de *Vernonia amygdalina*, feuilles et écorces de *Azadirachta indica*, sève de bananier, feuilles de *Cajanus cajan*, feuilles et tiges de *Hyptis suaveolens*, feuilles de *Tridax procumbens*. Elles sont le plus souvent triturées, infusées et mélangées à l'eau de boisson ou appliquées localement sur les croutes de variole. Parfois, elles sont combinées à l'huile rouge, au beurre de karité ou à la potasse. Malheureusement, à $85 \pm 0,81\%$ des cas, ces aviculteurs traditionnels sont restés insatisfaits après usage de ces plantes et combinaisons.

Prévalence estimée de la variole aviaire au sud du Bénin

La prévalence se rapporte au nombre de cas d'un trouble morbide sur l'effectif total d'une population, sans distinction entre les cas nouveaux et les cas anciens, à un moment, ou pendant une période donnée. Dans le cadre de notre étude, la prévalence de la variole aviaire dans l'ensemble des départements enquêtés est estimée à $33,8 \pm 0,15\%$. Le département de l'Ouémé est le moins touché avec $25,5 \pm 0,08\%$ des cas et le Mono enregistre la plus forte prévalence ($39,8 \pm 0,19\%$). La figure 5 indique les prévalences de la variole aviaire observées dans chaque département couvrant la zone de l'étude.

Tableau 2: Prévention de la variole aviaire en relation avec le niveau d'instruction de l'éleveur

Niveau d'instruction	Méthodes de prévention utilisées		
	Aucune	Vaccin	Total
Non instruit	140	3	143
Primaire	112	2	114
Secondaire	74	21	95
Supérieur	22	11	33
Total	348	37	385

Tableau 3: Fréquences de mortalité des sujets vaccinés et non vaccinés contre la variole

Volailles	Effectif des éleveurs	Fréquences de mortalité
Vaccinées	37	$26,8 \pm 0,15\%$
Non vaccinées	348	$36,3 \pm 0,18\%$

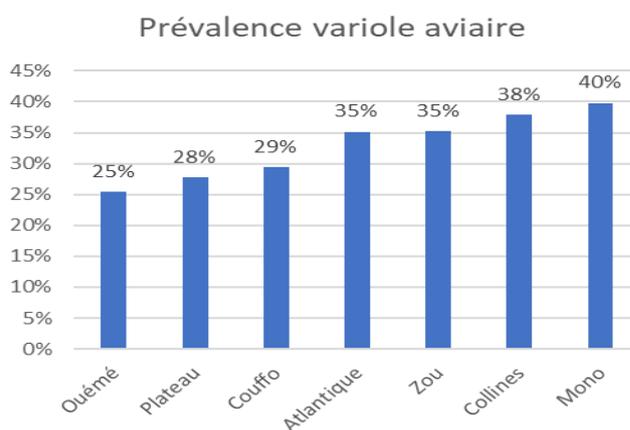


Figure 5: Prévalence estimée de la variole aviaire dans les départements du Sud Bénin

Une observation conjointe de la prévalence et de la mortalité des volailles révèle que les départements les plus touchés par la variole aviaire ne sont pas nécessairement ceux dans lesquels les volailles meurent le plus.

Ainsi, les plus fortes mortalités dû à la variole sont enregistrées dans les départements de l'Atlantique ($38,3 \pm 0,21\%$), Mono ($36,6 \pm 0,18\%$), Collines ($36,5 \pm 0,16\%$), Zou ($36,2 \pm 0,16\%$), suivi des mortalités modérées dans les départements de l'Ouémé ($29,7 \pm 0,12\%$) et du Couffo ($29,6 \pm 0,15\%$), puis de $27,7 \pm 0,11\%$ dans le département du Plateau.

La figure 6 présente un diagramme conjoint entre la prévalence et le taux de mortalité (non exclusivement lié à la variole aviaire) des volailles par département.

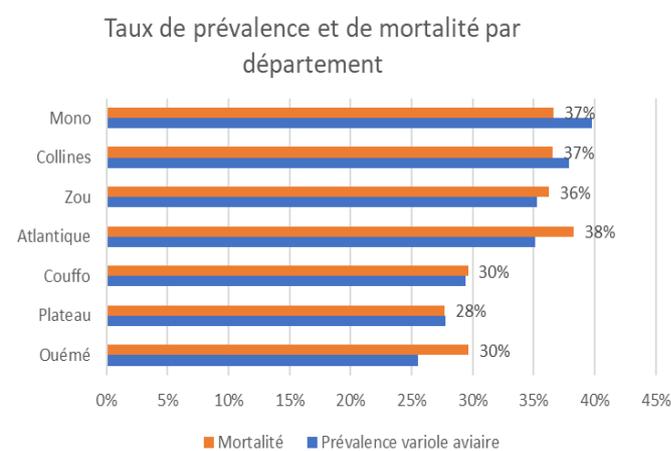


Figure 6: Prévalence et le taux de mortalité des volailles par département

DISCUSSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont montré que plus de 80% des aviculteurs traditionnels enquêtés sont des hommes. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Pomalegni *et al.* (2016), soit 77,76% d'homme aviculteur traditionnel dans une enquête réalisée au Bénin, et contraire à ceux de Edenakpo, (2020) qui recense 7,14% d'homme aviculteur traditionnel dans le Sud-Ouest du Bénin. Cette inégalité est bien justifiée par Gueye, (2000) qui conclut que la surveillance et l'entretien des volailles traditionnelles sont assurés par les femmes, avec souvent l'aide des enfants. C'est ainsi que dans les sociétés africaine, l'homme reste maître de l'élevage, utilisant la femme et les enfants comme mains d'œuvre.

Bien que l'agriculture et l'élevage soient les plus pratiqués par les aviculteurs traditionnels du Sud Bénin, l'agriculture et le commerce caractérisent ceux enquêtés par Edenakpo, (2020) au Sud-Ouest du Bénin. Nous pouvons affirmer que les hommes et les femmes sont tous acteurs de production en aviculture traditionnelle, avec pour activité principale, l'agriculture. Ces hommes et femmes au Sud du Bénin sont pour la plupart scolarisés (86%) de niveau primaire. Ces chiffres sont contraires à ceux déclarés par Pomalegni, (2016) dans le Bénin et par Edenakpo, (2020) dans le Sud-Ouest du Bénin. Toutefois, il convient de signaler que la plupart des aviculteurs traditionnels sont d'abord agriculteurs avec un faible niveau d'instruction, et ont tendance à s'approprier de nouvelles techniques visant une amélioration de leur système de production (habitat pour les sujets, observer les règles d'hygiène). C'est dans le département de l'Atlantique que la taille du cheptel avicole traditionnel est plus importante avec une prédominance en poulet local (90,8%). Ceci confirme les résultats de Guèye, (2003) qui conclut que les poulets dominent largement la composition du cheptel et composent 98% du nombre total de volaille (poulets, canards, dindons, oies pigeons, pintades, etc.) élevés en Afrique. Les poulets locaux sont largement distribués dans les milieux ruraux de pays tropicaux et sub-tropicaux où ils sont élevés. Au sud du Bénin, il est observé ces dernières années l'introduction de cailles dans les élevages traditionnels de volaille même si en faible proportion (4,4%). Contrairement aux 14,55% dénombré par Pomalegni *et al.* (2016) dans tout le Bénin, 85,4% d'aviculteurs traditionnels élèvent en semi divagation et disposent de ce fait un habitat pour leurs sujets. Il en résulte que la scolarisation des aviculteurs traditionnels du Sud Bénin impact positivement le mode d'élevage qui s'y pratique.

Perception des aviculteurs traditionnels sur la variole aviaire

L'analyse de la perception des aviculteurs traditionnels sur la reconnaissance de la maladie de variole aviaire révèle que la majorité de ces éleveurs ont une parfaite connaissance des signes et manifestations de la forme sèche (forme cutanée) de cette maladie. Par ailleurs, environ 7% des aviculteurs traditionnels ont observé la forme humide de la maladie de variole aviaire sur des poussins sans s'en rendre compte. Il va sans dire que la forme sèche (cutanée) et/ou humide (diphthérique) de la variole aviaire (OIE, 2016) est observée dans les cheptels des aviculteurs traditionnels au sud du Bénin. Mais la plus dominante reste la forme sèche

(apparition de masses crouteuses sur la crête, les barbillons, le bec, les paupières, sous les ailes, dans la région cloacale et sur les pattes) observée sur les poulets et dindons notamment de jeune âge. Ceci confirme les résultats obtenus par Intervet, (1972).; Almeida *et al.* (2001); OIE, (2012) qui stipulent que la variole aviaire est une pathologie d'origine virale qui sévit le plus après la maladie de Newcastle dans les élevages traditionnels.

La somnolence et la perte de poids sont deux manifestations cliniques majeures qui accompagnent la variole aviaire et marque ainsi une baisse des performances de production et de reproduction chez les sujets atteint de cette affection.

De part leur perception globale sur la variole aviaire et malgré les risques liés à sa gestion dans un élevage de volaille locale, très peu d'aviculteurs traditionnels vaccinent leurs sujets. De l'analyse des résultats obtenus, il ressort que le niveau d'instruction (secondaire et supérieur), la taille de l'élevage et l'ancienneté (supérieur à 4 ans) dans l'aviculture traditionnelle sont les facteurs motivant les éleveurs à faire la prévention contre la maladie de variole aviaire. Il résulte de ce fait que le taux de mortalité dû à la variole aviaire est plus élevé chez les sujets non vaccinés que chez les sujets vaccinés. Le conditionnement de 1000 doses pour le vaccin contre la variole disponible dans les officines pharmaceutiques au Bénin pourrait être aussi un frein à l'expansion de la vaccination des volailles contre cette affection chez les éleveurs à effectif réduit, indépendamment du manque de moyen financier exprimé par la plupart des aviculteurs enquêtés. Par ailleurs, la très faible couverture du territoire béninois en officines pharmaceutiques vétérinaires avec le faible taux d'agents d'encadrement qualifiés sont tendancieuses à une faible couverture vaccinale de l'effectif avicole local au sud du Bénin. Nonobstant ces difficultés, certains aviculteurs s'efforcent à l'usage des méthodes conventionnelles dans le traitement de la variole aviaire dans leur élevage, pendant qu'une autre catégorie s'emploie à l'usage des méthodes traditionnelles et dont elle n'en est pas très satisfaite.

Prévalence de la variole aviaire et mortalité en aviculture traditionnelle

Les départements de l'Atlantique, Zou, Collines et Mono affichent des prévalences relativement plus élevées que la moyenne de la zone d'étude. Ces résultats sont encadrés par ceux obtenus de plusieurs auteurs qui stipulent que la variole aviaire est généralement endémique à des prévalences relativement faibles, de l'ordre de 0,5% à 1,5% (Van Riper et Forrester, 2007; Davidson *et al.*, 1980) et parfois jusqu'à 100% sur des dindons sauvages à certaines périodes de l'année (Wright *et al.*, 2005). Elles sont par ailleurs inférieures aux prévalences estimées par Ouedraogo *et al.* (2015) soit 43% à 63% au Sénégal. En revanche, la prévalence de la variole aviaire au Sud du Bénin est non négligeable et mérite d'être fortement contrôlée par les services compétents en vue de limiter la propagation rapide de ces Avipox virus. C'est l'exemple du Sénégal qui dans sa stratégie de vaccination de masse de la volaille locale contre la maladie de Newcastle depuis plusieurs années, et ayant constaté qu'il apparaît de plus en plus des flambées de variole aviaire consécutives à cette immunisation contre la maladie de Newcastle, s'investit à une association vaccinale pour une lutte stratégique et coordonnée contre

ces deux maladies (Ndiaye *et al.*, 2017). On est en mesure d'affirmer qu'alors, la variole aviaire est l'une des maladies virales qui décime les élevages traditionnels et engendre des pertes économiques énormes aux producteurs. Toutefois, la présente étude a révélé que les départements les plus touchés par la variole aviaire ne sont pas nécessairement ceux dans lesquels les volailles meurent le plus. Ce constat nous permet de dire que la variole aviaire bien que mortelle, n'est pas la cause première de mortalité en aviculture traditionnelle. Mieux, si elle est vite diagnostiquée, elle se guérie par les méthodes conventionnelle ou traditionnelle.

CONCLUSION

Des analyses faites dans le cadre de cette étude, il ressort que l'aviculture traditionnelle est en pleine croissance de productivité dans les départements du Sud Bénin. Elle intéresse tant les hommes que les femmes et se modernise de plus en plus selon le niveau d'instruction de l'éleveur. L'aviculture traditionnelle est freinée dans son élan par plusieurs maladies dévastatrices dont la variole aviaire est bien connue des éleveurs avec des prévalences non négligeables. Elle est aussi une cause de la baisse de rendement en aviculture traditionnelle. La lutte pour sa propagation est cependant contre versée par la pauvreté et le faible encadrement des aviculteurs traditionnels. Les milieux ruraux étant la cible de production massive des volailles traditionnelles, devront retenir l'attention des pouvoirs publics dans la mise en œuvre des stratégies d'accompagnement des aviculteurs traditionnels en vue de réduire les forts taux de mortalité des volailles locales pour une croissance économique efficace et durable.

RÉFÉRENCES

- Adebajo MC, Ademola SI, Oluwaseun A. (2012). Seroprevalence of Fowl Pox Antibody in Indigenous Chickens in Jos North and South Council Areas of Plateau State, Nigeria: Implication for Vector Vaccine. *ISRN Vet Sci.*, 2012: 1-4.
- Almeida J. F., Agbadje P., Agoundote D., Ahouanse R., Akomedi C., Chrysostome C., Dossa S.C. et Fandy M. (2001). Manuel du vaccinateur villageois de volaille. PAMR-MONO. CARDER MONO/MAEP, Bénin-60p
- Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières AVSF (2011). Développement de l'aviculture villageoise en Afrique de l'Ouest. 123p.
- Dagnelie P. (1998). Statistiques théoriques et appliquées. Brussels: De Boeck.
- Davidson W.R., Kellogg F.E., Doster G.L. (1980). An epornitic of avian pox in wild bobwhite quail. *J. Wildl. Dis.*:16: 293-298.
- Edenakpo K.A., Ahoyo A., Pomalegni S.C.B., Anato C.H., A. Amagnide, A.B. Aboh, C. A. A. M. Chrysostome, G.A. Mensah (2020). Influence des rations alimentaires à base d'asticots sur la reproduction des poulets locaux au Bénin. *Agronomie Africaine*, 32: 15-24.
- Estrella-Tec J.E., Gutiérrez-Ruiz E.J., Ramírez-González S., Aranda-Cirerol F., Santos-Ricalde R., Puerto-Nájera J.L. (2013). Evaluation of a commercial vaccine against avian poxvirus in turkeys kept in the backyard system in the state of Yucatan, Mexico. *Avian Pathol.*, 42: 536-540.
- Guèye E. F. (2000). The role of family poultry in poverty alleviation, food security and the promotion of gender equality in rural Africa. *Outlook on Agriculture*, 29: 129-136.
- Gueye E.F. (2003). Production and consumption trends in Africa. *World Poult.*, 19:12-14.
- Hess C., Maegdefrau-Pollan B., Bilic I., Liebhart D., Richter S., Mitsch P. (2011). Outbreak of cutaneous form of poxvirus on a commercial turkey farm caused by the species fowlpox. *Avian Dis.*, 55: 714-718.
- Institut National de la Statistique Appliquée et de l'Economie (INSAE) (2004). Cahier des villages et quartiers de ville Troisième Recensement Général de la population et de l'habitat, Bénin p. 23.
- Intervet I. B.V. (1972). Les pathologies aviaires. Maison Alfort-Lyon. 77p.
- Jarmin S., Manvell R., Gough R.E., Laidlaw S.M., Skinner M.A. (2006). Avipoxvirus phylogenetics: identification of a PCR length polymorphism that discriminates between the two major clades. *Journal of General Virology*, 87: 2191-2201.
- Kuietche H.M., Kana J.R., Defang H.F., Tadondjou C.D., Yemdjie D.D.M., Teguia A. (2014). Effect of dietary energy level on growth performance and morphometric parameters of local barred chickens at the starter phase. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8: 882-890.
- Nayeri Fasaei B., Madadgar O., Ghalyanchi Langeroodi A., Ghafari M.M. (2014). Molecular detection and phylogenetic analysis of Avipoxvirus strains isolated from different bird species. *IJVR*, 15: 40-44.
- Ndiaye N.F.T., Aidara M., Sakho A.C., Lo F.T., Lo M., Diop M., Dieng A. (2017). Un vaccin bivalent efficace contre la maladie de Newcastle et la variole aviaire, produit au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11: 757-767.
- Office International des Epizooties O.I.E (2005). Manuel terrestre variole aviaire: 1023-1029.
- Office International des Epizooties O.I.E (2012). Terrestrial Manual, Newcastle Disease (infection with Newcastle disease virus): 555-574.
- Office International des Epizooties O.I.E. (2016). Terrestrial Manual. Fowlpox Ed. OIE, Paris.
- Ouedraogo B., Bale B., Zoundi S.J., Sawadogo L. (2015). Caractéristiques de l'aviculture villageoise et influence des techniques d'amélioration sur ses performances zootechniques dans la province du Sourou, région Nord-Ouest Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9: 1528-1543.
- Pomalegni S.C.B., Gbemavo D.S.J.C., Kpade C.P., Babatounde S., Chrysostome C.A.A.M., Koudande O.D., Kenis M., Glele K.R.L., Mensah G.A. (2016). Perceptions et facteurs déterminant l'utilisation des asticots dans l'alimentation des poulets locaux (*Gallus gallus*) au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 98: 9330-9343.
- Tripathy D.N., Reed W.M. (2013). Pox. In: Diseases of poultry. 13th ed. Ames, Iowa: John Wiley & Sons: 333-50.
- Van Riper C., Forrester D.J. (2007). Avian pox. In: Infectious diseases of wild birds. Ames, Iowa. Blackwell Pub. 131-76.
- Weli S.C., Tryland M. (2011). Avipoxviruses: infection biology and their use as vaccine vectors. *Virology Journal*, 8: 1-15.
- Wright E.J., Nayar J.K., Forrester D.J. (2005). Interactive effects of turkey pox virus and *Plasmodium hermani* on turkey poults. *J. Wildl. Dis.*, 41: 1-8.
- Zhao K., He W., Xie S., Song D., Lu H., Pan W. (2014). Highly Pathogenic Fowlpox Virus in Cutaneously Infected Chickens, China. *Emerg. Infect. Dis.*, 20:1208-1210.

Caractérisation des exploitations d'élevage bovin de types sylvopastoral et agrosylvopastoral au Bénin

C. C. HESSA¹, Y. IDRISOU¹, A. ASSANI SEIDOU¹, H. S. SANNI WOROGO¹, I. ALKOIRET TRAORE¹

(Reçu le 23/11/2022 Accepté le 24/02/2023)

Résumé

Les éleveurs du Bénin ont développé des pratiques indigènes agro-sylvopastorales et sylvopastorales pour réduire leur vulnérabilité au changement climatique. En tant que systèmes agroforestiers, ces pratiques sont mal connues dans le contexte du changement climatique au Bénin. Ainsi, la présente étude vise à caractériser les élevages agro-sylvopastoraux et sylvopastoraux de deux zones agro-écologiques du Bénin. A cet effet, une enquête a été menée auprès de 180 éleveurs de bovins des zones cotonnières du nord et du centre Bénin. Les données collectées ont été relatives aux caractéristiques socio-démographiques, au type de système mise en place par les éleveurs et à la superficie occupée par les cultures et arbres/arbustes. A l'aide des méthodes d'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM), une typologie de quatre (4) groupes d'éleveurs a été établie. Il s'agit de petits agro-sylvopasteurs (Groupe 1: PAS) constitués de 35,5% des enquêtés, de petits sylvopasteurs (Groupe 2: PSV) représentant 4,4 % des enquêtés, de grands sylvopasteurs (Groupe 3: GSV), constitués de 5% de l'échantillon et enfin de grands agro-sylvopasteurs (Groupe 4: GAS), constitués de 55% des enquêtés. Cette caractérisation constitue un point de départ pour l'évaluation de la productivité de chaque groupe ainsi que le potentiel des pratiques indigènes pour l'atténuation des effets du changement climatique.

Mots clés: Changement climatique, agroforesterie, bovins, sylvopastoralisme, Bénin

Characterization of silvopastoral and agrosilvopastoral cattle farms in Benin

Abstract

Herders in Benin have developed indigenous agro-silvopastoral and silvopastoral practices to reduce their vulnerability to climate change. As an agroforestry system, these practices are poorly understood in the context of climate change in Benin. Thus, the present aims to characterize the agro-silvopastoral and silvopastoral farms of two agro-ecological zones of Benin. To this end, a survey was conducted among 180 livestock keepers in the "zone cotonnière du nord et du centre du Bénin". The data collected related to socio-demographic characteristics, the type of system set up by the livestock keepers (silvopastoral or agrosilvopastoral) and the area occupied by crops and trees/shrubs. Using Multiple Correspondence Factor Analysis (AFCM) methods, a typology of four (4) groups of livestock keepers was established. These are small agro-silvopastors (Group 1: PAS) made up of 35.5% of respondents, small silvopastors (Group 2: PSV) representing 4.4% of respondents, large silvopastors (Group 3: GSV), made up of 5% of the sample and finally the large agro-silvopastoralists (Group 4: GAS), made up of 55% of the respondents. This characterization constitutes a starting point for the evaluation of the productivity of each group as well as the potential of indigenous practices for mitigating the effects of climate change.

Keywords: Climate change, agroforestry, cattle, silvopastoralism, Benin

INTRODUCTION

Le changement climatique (CC) est un frein au développement socio-économique des populations rurales (Niang, 2009). Il provoque une élévation de la température et une nouvelle répartition des précipitations (Bergonzini, 2004). L'Afrique subsaharienne, où l'agriculture est la principale source d'emploi et de revenus pour la majorité de la population (Enete et Onyekuru, 2011), apparaît comme la région du monde la plus exposée au CC (FAO, 2016). Le CC est principalement causé par les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui conduisent au réchauffement climatique (IPCC, 2014). Le secteur de l'élevage est responsable de 14,5 % des émissions mondiales de GES (Gerber *et al.*, 2013) et contribue donc au CC. Le défi aujourd'hui est donc de maintenir un équilibre entre la production animale et le CC (Wright *et al.*, 2012).

Au Bénin, l'intensité et la fréquence des événements météorologiques extrêmes devraient augmenter ainsi que les risques et les impacts qui leur sont associés (Yabi & Afouda, 2012). Selon le MEHU (2011), les précipitations au Bénin resteront à peu près stables dans le sud du pays (+ 0,2 %) d'ici 2100, mais diminueront de 13 à 15 % dans le nord, qui est la zone privilégiée pour l'élevage des ruminants au Bénin (Houessou *et al.*, 2019). Avec ce scénario, les exploitations bovines situées au nord du Bénin seront

fortement affectées par les variations climatiques, avec des baisses de la productivité de l'élevage (Nardone *et al.*, 2010). Cela a été confirmé par Todaro et Smith (2009) qui ont conclu que le pire impact du changement climatique se fait sentir dans le secteur de l'élevage.

Les impacts de la variabilité climatique sont perçus par les petits exploitants agricoles à travers les poches de sécheresse, les inondations, les orages et les vents violents, le retard et l'arrêt précoce des pluies, l'augmentation de la durée de la saison sèche, etc. (Katé *et al.*, 2014; Idrissou *et al.*, 2020). Pour faire face à ces impacts, les petits exploitants agricoles développent plusieurs stratégies d'adaptation. Ces stratégies varient selon le niveau de prospérité et les moyens dont elles disposent (Yegbemey *et al.*, 2013). Cependant, parmi ces pratiques, il y en a plusieurs qui sont intelligentes face au climat et qui augmentent la productivité, développent la résilience tout en limitant les émissions de GES.

Cependant, compte tenu de leur grande diversité, de leur présence localement confinée et du développement largement spontané de telles pratiques indigènes adaptées, les informations concernant leur efficacité sur la productivité des animaux, sur l'environnement et sur la sécurité alimentaire font défaut. C'est le cas des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux indigènes, qui constituent une stratégie

¹ Laboratoire d'Écologie, Santé et Production Animales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

d'adaptation et d'atténuation courante utilisée par les petits exploitants agricoles du Bénin. Le sylvopastoralisme est un système agroforestier de production animale où des arbres et des arbustes fournissent divers services écosystémiques aux humains, sont cultivés sur des pâturages (Rigueiro-Rodríguez *et al.*, 2012; Jose *et al.*, 2019). Le système agrosylvopastoral est une activité de production qui combine des pratiques sylvopastorales et agricoles. Plusieurs types d'exploitations sylvopastorale et agrosylvopastorale distinctes peuvent être identifiées au Bénin. Ainsi, la présente étude vise à caractériser les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux de deux zones agro-écologiques du Bénin. Cette caractérisation permettra plus tard d'évaluer l'efficacité des différents types de systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux identifiés, sur la productivité du bétail, l'émission de GES, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire des ménages.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans deux des huit zones agro-écologiques que compte le Bénin (situé entre 6° et 12° 50' N et 1° et 3° 40' E). Il s'agit: de la zone cotonnière du nord Bénin (ZCNB) et de la zone cotonnière du centre Bénin (ZCCB). Le choix de ces zones repose sur le fait qu'elles sont les zones dans lesquelles l'ont rencontre les élevages agrosylvopastoraux et sylvopastoraux (Alkoiret *et al.*, 2011).

Dans chaque zone, trois (3) communes ont été choisies sur la base du nombre d'agrosylvopasteurs et sylvopasteurs et d'entretiens préliminaires avec les techniciens des Agences Territoriales pour le Développement Agricole (ATDA). Ainsi, les communes de Banikoara, Kandi et Gogounou ont été retenues dans la ZCNB et ceux de Bantè, Savè et Djidja dans la ZCCB. Au sein de chaque commune, deux (2) villages ont été retenus, ce qui donne un total de 12 villages pour l'ensemble de l'étude.

Échantillonnage

Sur la base des entretiens effectués avec les techniciens des ATDA, 15 éleveurs par village ont été retenus, ce qui donne un total de 180 éleveurs de bovins pour l'ensemble des deux zones agro-écologiques. Cet échantillon a été choisi au hasard parmi les éleveurs qui répondaient au critère suivant: être détenteur d'un cheptel de bovins et pratiqué le sylvopastoralisme ou l'agrosylvopastoralisme.

Collecte des données

La collecte des données a été effectuée de mars à juin 2021, à travers des entretiens individuels à l'aide d'un questionnaire semi-structuré. Les données collectées ont été relative aux caractéristiques socio-démographiques des éleveurs (âge, ethnie, nombre d'actifs agricoles, taille du ménage, niveau d'instruction, alphabétisation en langue locale, contact avec les services de vulgarisation agricole, appartenance à une organisation d'éleveurs, accès à la terre, la taille du cheptel bovin etc...), aux type d'intégration mise en place (animaux et arbres/arbustes ou animaux, cultures, et arbres/arbustes) et à la superficie occupée par les cultures et arbres/arbustes.

Analyse des données

Les données de l'enquête ont été saisies dans le logiciel Excel 2010, avant d'être importées dans le logiciel R.3.5.1. (R Core Team Development, 2018) pour les analyses statistiques. Pour réaliser la typologie des agrosylvopasteurs et sylvopasteurs, une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM), suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) ont été effectuées sur les données collectées, à l'aide du package Factoshiny du logiciel R (Husson *et al.*, 2016). Les différents groupes d'éleveurs obtenus ont été ensuite comparés entre eux. Le test de Chi-carré (χ^2) suivi du test bilatéral de Z ont été utilisés pour les variables qualitatives. Pour les variables quantitatives, l'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée. La comparaison multiple des moyennes a été effectuée avec le test de Tukey lorsque l'ANOVA indiquait une différence significative ($p < 0,05$).

RÉSULTATS

Caractéristiques socio-démographiques des éleveurs enquêtés

Les caractéristiques socio-démographiques des éleveurs enquêtés sont résumées dans le tableau 1. La quasi-totalité des éleveurs enquêtés était de sexe masculin (99,4%) et issus majoritairement du groupe culturel peulh (80%). Très peu d'éleveurs enquêtés étaient scolarisés (15%). Néanmoins, la majorité était alphabétisée en langue locale (74,4%). La proportion d'éleveurs alphabétisée (81,1%) dans la zone cotonnière du centre Bénin (ZCCB) était significativement plus élevée ($p < 0,05$) que celle (67,8) de la zone cotonnière du nord Bénin. Ce constat était identique au niveau de l'appartenance à une organisation d'éleveur. Ainsi, 51,1% de la ZCNB et 72,20% des éleveurs de la ZCCB appartenaient à une organisation d'éleveurs. Plus de la moitié des éleveurs enquêtés (57,8%) était en contact avec les services de vulgarisation agricole. Cependant, aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été observée entre l'appartenance à une organisation des éleveurs des deux zones agro-écologiques. Les éleveurs enquêtés étaient relativement jeunes, avec un âge moyen de 43 ans et une expérience moyenne de 21 ans en élevage de bovins. Les éleveurs de la ZCCB étaient plus jeunes et moins expérimentés ($p < 0,05$) que ceux de la ZCNB. La taille du ménage et le nombre d'actif agricole des éleveurs enquêtés étaient respectivement en moyenne de 9 et 6 personnes. De façon générale, la taille du cheptel bovin des éleveurs des deux zones d'étude était de 78 têtes. Cependant, les éleveurs de la ZCNB possédaient plus ($p < 0,05$) de têtes de bovins que ceux de la ZCCB.

Typologie des systèmes agrosylvopastoraux des zones cotonnières du nord et du centre Bénin

Les deux premiers axes factoriels obtenus à partir de l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM), ont permis d'avoir un pourcentage cumulé de variance expliquée supérieur à 50% et sont donc considérés pour l'interprétation des résultats (Figure 1). Les principales variables discriminantes ont été la zone agro-écologique, l'âge, l'expérience en élevage des bovins, la taille du ménage, le nombre d'actif agricole, la dominance des

arbres/arbustes, la superficie occupée par les cultures et les arbres/arbustes et enfin l'effectif du cheptel bovin. Ainsi, le premier axe oppose les petits agro-sylvopasteurs (Groupe I: PAS) et sylvopasteurs (Groupe II: PSV), des grands sylvopasteurs (Groupes III; GSV) et agro-sylvopasteurs (Groupe IV: GAS). Le second axe quant à lui, discrimine les agropasteurs qu'ils soient petits ou grands (Groupes I et IV) des sylvopasteurs (Groupes II et III).

Groupe 1: Petits agro-sylvopasteurs (PAS)

Ce groupe était constitué de 35,5% des enquêtés, soit 64 éleveurs (Figure 1). Ces éleveurs étaient majoritairement rencontrés dans la zone cotonnière du centre Bénin (73,4%). Ils étaient majoritairement du groupe socioculturel peulh et relativement jeune avec un âge moyen de 38 ans (Tableau 2). Très peu d'éleveurs de ce groupe ont été scolarisés (10,9%). Cependant, plus de 80% des éleveurs de ce groupe ont été alphabétisés en langue locale. La majorité des petits agro-sylvopasteurs étaient en contact avec les services de vulgarisation agricole (60,9%) et étaient membre d'une organisation d'éleveurs (71,9%). Dans ce groupe, le principal mode d'accès à la terre est l'achat (78,8%). Les éleveurs de ce groupe intègrent tous l'élevage aux cultures et aux arbres/arbustes. Cependant la superficie occupée par les arbres et arbustes était très petite (0,5 ha) comparée à celle occupée par les cultures (3 ha). De même, en comparant la superficie occupée par les arbres/arbustes dans les quatre groupes, il ressort que la plus petite superficie ($p < 0,05$) était obtenue dans ce groupe. La taille du cheptel bovin de ce groupe était en moyenne de 23 têtes (Tableau 2).

Groupe 2: Petits sylvopasteurs (PSV)

Tous comme les petits agro-sylvopasteurs, les petits sylvopasteurs étaient majoritairement rencontrés dans la zone cotonnière du centre Bénin (Tableau 2). Ils représentaient 4,45% des enquêtés, soit 8 éleveurs (Figure 1). Ils sont majoritairement du groupe socioculturel peulh (50%) et relativement jeune (36 ans). De tous les quatre groupes, c'est seulement dans ce groupe qu'aucun éleveur n'a été scolarisé ($p < 0,05$). Cependant, les trois quart (75%) des éleveurs de ce groupe ont été alphabétisés en langue locale. La majorité des sylvopasteurs (75%) étaient en contact avec les services de vulgarisation agricole, et étaient membre d'une organisation d'éleveurs (75%). Les terres agricoles ont été majoritairement acquises par achat (87,5%) dans ce groupe.

La majorité des éleveurs de ce groupe intègre les animaux aux arbres et/ ou arbustes (87,5%), contre une minorité qui intègre les animaux aux cultures et aux arbres/arbustes (12,5%). La superficie occupée par les arbres/arbustes était de 2 ha contre 1 ha occupée par les cultures. Cette superficie occupée par les cultures est la plus faible ($p < 0,05$) des superficies occupées par les cultures dans les quatre groupes. La taille du cheptel bovin de ce groupe est de 25 têtes.

Ainsi, il n'existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre la taille du cheptel de groupe et celle du groupe PAS. Ce qui n'est pas le cas ($p < 0,05$) avec la taille du cheptel des groupes GAS et GSV.

Tableau 1: Caractéristiques socio-économiques des éleveurs enquêtés

Variables	Total	ZAE		X ²	p-value
		ZCCB	ZCNB		
Pourcentage (%)					
Sexe					
Masculin	99,4	100,0a	98,9a	1,00	0,31
Féminin	0,6	0,00a	1,10a		
Ethnie					
Peulh	80,0	100,0a	60,0b	45,0	<0,0001
Gando	11,1	0,00b	22,2a		
Bariba	8,89	0,00b	17,8a		
Niveau d'instruction					
Solarisé	15,0	10,0a	20,0a	3,52	0,06
Non scolarisé	85,0	90,0a	80,0a		
Alphabétisé en langue locale					
Alphabétisé	74,4	81,1a	67,8b	4,20	0,04
Non alphabétisé	25,6	18,9	32,2a		
Appartenance à une organisation					
Appartient	61,7	72,2a	51,1b	8,48	0,003
N'appartient pas	38,3	27,8b	48,9a		
Contact avec la vulgarisation					
En contact	57,8	62,2a	53,3a	1,45	0,22
Aucun contact	42,2	37,8a	46,7a		
Moyenne ± erreur type					
Âges (ans)	43 ± 0,93	37 ± 0,97a	49 ± 0,53b		0,001
Expérience en élevage bovins (ans)	21 ± 0,88	18 ± 1,38a	24 ± 0,87b		<0,0001
Nombre d'actif agricole (personnes)	6 ± 0,28	3 ± 0,17b	9 ± 0,22a		<0,0001
Tailles du ménage (personnes)	9 ± 0,37	8 ± 0,56a	10 ± 0,48b		0,04
Taille du cheptel bovin (têtes)	78 ± 3,14	60 ± 3,58b	95 ± 4,45a		<0,0001

a,b: les valeurs de la même ligne indicées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5%; ZAE: Zone Agro-écologique; ZCNB: Zone cotonnière du Nord Bénin; ZCCB: Zone Cotonnière du Centre Bénin

Tableau 1: Caractéristiques des types de sylvopasteurs et d'agro-sylvopasteurs identifiés

Paramètres	Modalités	Types d'éleveurs			
		PAS	PSV	GSV	GAS
Pourcentage (%)					
Zone agro-écologique	ZCCB	73,4a	75,0a	33,3b	15,2c
	ZCNB	26,6c	25,0c	66,7b	84,8a
Ethnie	Peulh	60,5b	60,0b	11,1c	65,7a
	Bariba	23,2b	20,0b	33,3a	14,1c
	Gando	16,3c	20,0b	55,5a	20,2b
Niveau d'instruction	Instruit	10,9a	0,00b	11,2a	12,2a
	Non instruit	89,1b	100a	88,8b	87,8b
Alphabétisé en langue locale	Alphabétisé	84,2a	75,0b	87,9a	68,7b
	Non alphabétisé	15,8b	25,0a	12,1b	31,3a
Contact avec la vulgarisation	Contact	60,9b	75,0a	66,7a	56,6b
	Aucun contact	39,1a	25,0b	33,3b	43,4a
Membre d'une organisation d'éleveur	Membre	71,9a	75,0a	55,6b	54,5b
	Pas membre	28,1b	25,0b	44,4a	45,5a
Mode d'accès aux terres agricoles	Achat	78,7a	87,5a	12,1b	79,9a
	Héritage	21,3b	12,5c	87,8a	20,1b
Type d'exploitation	Animaux et arbres/arbustes	0,00b	87,5a	82,0a	0,00b
	Animaux, culture et arbres/arbustes	100a	12,5b	18b	100a
Moyenne ± ET					
Age (ans)	-	38 ± 0,79 ^b	36 ± 1,01 ^b	49 ± 0,16 ^a	50 ± 0,95 ^a
Actif agricole (personnes)	-	4 ± 0,22 ^c	4 ± 0,58 ^c	7 ± 1,59 ^b	11 ± 0,31 ^a
Taille du ménage (personnes)	-	5 ± 0,70 ^c	6 ± 0,41 ^c	10 ± 0,48 ^b	14 ± 0,48 ^a
Taille du cheptel bovin (têtes)	-	23 ± 2,51 ^b	25 ± 2,89 ^b	65 ± 4,38 ^a	68 ± 4,21 ^a
Superficie occupée par les cultures (ha)	-	3 ± 0,26 ^b	1 ± 0,12 ^d	2 ± 0,34 ^c	8 ± 0,36 ^a
Superficie arbres/arbustes (ha)	-	0,5 ± 0,62 ^d	2 ± 2,89 ^c	5 ± 0,87 ^a	3 ± 4,21 ^b

a,b,c,d: les valeurs de la même ligne indicées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5%; **ZCCB**: Zone Cotonnière du Centre Bénin; **ZCNB**: Zone Cotonnière du Nord Bénin; **PAS**: Petits Agro-sylvopasteurs; **PSV**: Petits Sylvopasteurs; **GAS**: Grands Agro-sylvopasteurs; **GSV**: Grand Sylvopasteurs; **ET**: Erreur type à la moyenne.

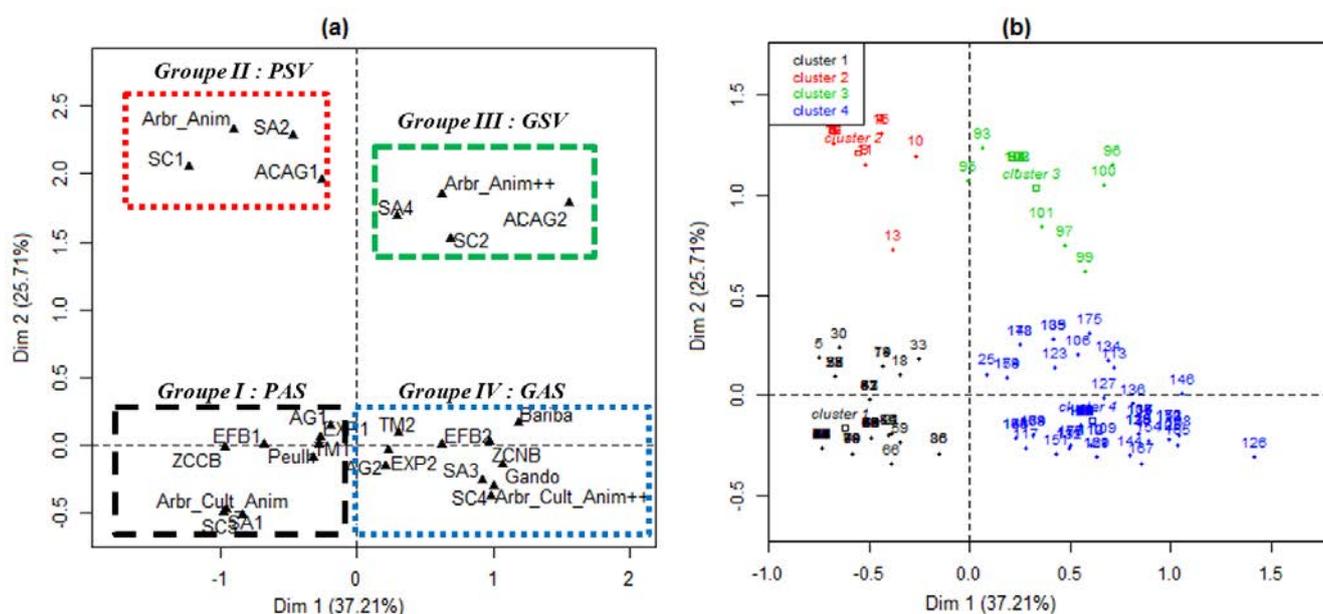


Figure 1: Variables décrivant (a) les groupes de sylvopasteurs et d'agro-sylvopasteurs (b) des zones agro-écologiques V et VI du Bénin

Arbr_Anim: Arbres /arbustes et animaux; **Arbr_Anim ++**: Dominance Arbres /arbustes et animaux; **SA1**: Superficie occupée par les arbres/arbustes comprise entre [0; 2 [ha; **SA2**: Superficie occupée par les arbres/arbustes comprise entre [2; 3 [ha; **SA3**: Superficie occupée par les arbres/arbustes comprise entre [3; 4[; **SA4**: Superficie occupée par les arbres/arbustes comprise entre [4 et plus[ha; **SC1**: Superficie occupée par les cultures comprise entre [0; 2 [ha; **SC2**: Superficie occupée par les cultures comprise entre [2; 3 [ha; **SC3**: Superficie occupée par les cultures comprise entre [3; 4 [ha; **SC4**: Superficie occupée par les cultures comprise entre [4 et plus[ha; **EFB1**: Effectif du cheptel bovin compris entre [1; 50 [têtes; **EFB2**: Effectif du cheptel bovin compris entre [50; et plus [têtes; **AG1**: Age de l'éleveur ≤ 40 ans; **AG2**: Age de l'éleveur > 40 ans; **TM1**: taille du ménage de l'éleveur ≤ 8 personnes; **TM2**: taille du ménage de l'éleveur > 8 personnes; **ACAG1**: Actif agricole ≤ 5 personnes; **ACAG2**: Actif agricole > 5 personnes; **Ethnie**: Peulh, Bariba et Gando; **ZCCB**: Zone Cotonnière du Centre Bénin; **ZCNB**: Zone Cotonnière du Nord Bénin; **PAS**: Petits Agro-sylvopasteurs; **PSV**: Petits Sylvopasteurs; **GAS**: Grands Agro-sylvopasteurs; **GSV**: Grand Sylvopasteurs.

Groupe 3: Grands sylvopasteurs (GSV)

Les éleveurs de ce groupe sont majoritairement localisés dans la zone cotonnière du nord Bénin (66,7%) et représentent 5% de l'échantillon, soit 9 personnes (Figure 1). Ils sont constitués de trois groupes socioculturels (Tableau 1), dont les plus importants sont les Gando (55,5%) et les Bariba (33,3%). La majorité des éleveurs de ce groupe n'ont pas été scolarisés (88,8%), mais ils ont été alphabétisés en langue locale (87,9%). Plus de 55% et 66% des grands sylvopasteurs enquêtés sont respectivement membre d'une organisation d'éleveurs et en contact avec les services de vulgarisation agricole (Tableau 1). Les éleveurs de ce groupe sont plus âgés ($p < 0,05$) que les éleveurs des deux premiers groupes (PAS et PSV). Cependant, il n'existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre l'âge des éleveurs de ce groupe à ceux du groupe 4 (GAS). Dans ce groupe, les terres agricoles sont principalement acquises par héritage (87,8%). Sur ces terres, la majorité (82%) des enquêtés intègrent l'élevage aux arbres/arbustes, contre une minorité (18%) qui associe à ces deux éléments les cultures. La superficie allouée à ces cultures est en moyenne de 2 ha. La superficie occupée par les arbres/arbustes (5 ha) dans ce groupe est supérieure à celle des cultures (Tableau 1). La taille du cheptel bovin dans ce groupe est en moyenne de 65 têtes.

Groupe 4: Grands agrosylvopasteurs (GAS)

Les éleveurs de ce groupe sont en majorité du groupe socioculturel peulh (65,7%), suivi des Gando (20,2%) (Tableau 1). Ils étaient localisés en grande partie (84,8%) dans la zone cotonnière du nord Bénin et représente 55% de l'échantillon, soit 99 personnes (Figure 1). Tous comme les précédents groupes, la majorité des éleveurs de ce groupe (68,70%) ont été alphabétisés en langue locale, mais très peu ont été scolarisés (12,2%). Plus de la moitié des grands agrosylvopasteurs était en contact avec les services de vulgarisation agricole et était membre d'une organisation d'éleveurs (Tableau 1). L'âge moyen des éleveurs de ce groupe était de 50 ans. Le principal mode d'accès à la terre dans ce groupe était l'achat (79,9%). Tous les éleveurs de ce groupe intègrent les animaux aux cultures et aux arbres/arbustes. La taille du cheptel bovins de ce groupe est identique ($p > 0,05$) à celle du groupe 3 (GSV), et largement supérieure ($p < 0,05$) à celles des groupes 1 et 2 (PAS et PSV). La superficie occupée par les cultures dans ce groupe est la plus élevée ($p < 0,05$) soit en moyenne 8 ha. La superficie occupée par les arbres/arbustes était en moyenne de 3 ha. Cette superficie est inférieure ($p < 0,05$) à celle du groupe GSV, mais supérieure ($p < 0,05$) à celles des groupes PAS et PSV.

DISCUSSION

La caractérisation des systèmes d'élevage bovins ont été largement utilisées dans plusieurs régions du monde pour renforcer les connaissances à des fins diverses (Gelasakis *et al.*, 2017; Amamou *et al.*, 2018; Houessou *et al.*, 2019). La plupart de ces études se sont basées sur des caractéristiques socio-démographiques des éleveurs et sur la structure de leurs troupeaux pour les caractériser. Les études intégrant les aspects liés aux pratiques qui pourraient être des stratégies d'adaptation et d'atténuation au CC font défaut. Ainsi,

la présente étude comblant cette lacune a permis d'identifier dans le contexte du CC quatre systèmes sylvopastorale et agro-sylvopastorale dans deux zones agro-écologiques du Bénin. Il s'agit du petit sylvopastoralisme, du petit agro-sylvopastoralisme, du grand sylvo-pastoralisme et enfin du grand agro-sylvopastoralisme. Ces résultats sont presque identiques à ceux rapportés par plusieurs auteurs (Assani *et al.*, 2016; Worogo *et al.*, 2020), dans la mesure où ces auteurs ont aussi obtenus quatre types d'élevage bovins en fonction du mode d'élevage adopté par les éleveurs. Mais la seule différence réside dans le fait que la présente étude s'est focalisée uniquement sur les élevages sylvopastorale et agro-sylvopastorale, ce qui n'a pas été le cas avec les études précédentes.

Les quatre systèmes obtenus dans cette étude se différencient principalement par leur situation géographique, l'âge de l'éleveur, son expérience en élevage des bovins, la taille de son ménage, le nombre d'actif agricole, la superficie occupée par les cultures et les arbres/arbustes et enfin l'effectif du cheptel bovin.

Les grands systèmes avec des effectifs de bovins élevés sont localisés principalement dans la zone cotonnière du nord Bénin alors que les petits systèmes avec de faible effectif de bovins se retrouvent dans la zone cotonnière du centre. Ce résultat pourrait s'expliquer par les atouts géographiques dont dispose chaque zone agro-écologique. En effet, la zone cotonnière du nord Bénin regroupant les communes de Gogounou, Banikoara et Kandi bénéficient de la proximité des forêts de l'Alibori supérieur et des Trois Rivières. Ces forêts sont utilisées comme aire de pâturage par les éleveurs. Les éleveurs les plus âgés et les plus expérimentés sont ceux qui détiennent les grands systèmes sylvopastoraux et agro-sylvopastoraux. Ce résultat n'est pas surprenant, car on s'attendait à ce que les éleveurs les plus âgés disposent d'un effectif de cheptel bovins élevé vu le nombre d'année passée dans l'élevage des bovins. Les résultats de l'étude ont également montré que les grands systèmes sylvopastoraux et agro-sylvopastoraux sont détenus par les éleveurs ayant un nombre d'actifs agricoles élevé alors que les petits systèmes sont détenus par ceux ayant un nombre d'actif agricole faible. La disponibilité de la main d'œuvre amène les éleveurs à emblaver assez de superficie agricole.

Les systèmes sylvopastoraux et agro-sylvopastoraux, constituent une stratégie d'adaptation et d'atténuation au CC. Ils contribuent à l'atténuation et à l'adaptation au CC de la manière suivante: premièrement, ils s'adaptent mieux à la sécheresse que les pâturages car la production de feuillage des arbres et des arbustes est moins affectée par les variations de précipitations, de température et d'autres variables climatiques, permettant ainsi aux éleveurs de maintenir la production animale même dans des conditions météorologiques extrêmes (Papanastasis *et al.*, 2008); deuxièmement, les espèces fourragères ligneuses dans les de ces systèmes augmentent la fertilité des pâturages, offrant ainsi des conditions propices à la croissance de l'herbe (Moreno *et al.*, 2007); troisièmement, la productivité du bétail est plus élevée dans ces systèmes par rapport aux systèmes traditionnels, car les arbres fourragers sont de meilleure qualité que la plupart des graminées herbacées (Ibrahim *et al.*, 2005), un fait qui permet également de réduire la quantité de méthane entérique et d'autres GES

provenant du bétail (Hristov *et al.*, 2015); quatrième, la biomasse ligneuse augmente le stock de carbone de l'écosystème par rapport aux pâturages couverts d'herbacées (Mekuria *et al.*, 2011), rendant ainsi le système écologiquement durable et politiquement acceptable.

CONCLUSION

Cette première étape de l'étude sur l'amélioration des systèmes sylvopastoraux et agro-sylvopastoraux du Bénin nous a permis de proposer une typologie de ces élevages. Ainsi, quatre types de systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux dans les zones cotonnière du nord et du centre Bénin ont été identifiés. Il s'agit du petit agro-sylvopastoralisme (PAS); du petit sylvopastoralisme (PSV); du grand sylvopastoralisme (GSV) et enfin du grand agro-sylvopastoralisme (GAS). Cette étude doit être complétée par des travaux sur des aspects plus techniques de ces systèmes d'élevage qui permettront de quantifier les potentialités (productivité, émissions de GES, séquestration du carbone et contribution à la sécurité alimentaire) de ces différents systèmes et des animaux que l'on y trouve. La deuxième étape de l'étude sur l'amélioration des systèmes sylvopastoraux et agro-sylvopastoraux du Bénin avec pour objectif l'évaluation de la productivité des systèmes identifiés sera réalisée par une enquête rétrospective.

RÉFÉRENCES

- Alkoiret T.I., Radji M., Babatoundé S. (2011). Typologie des élevages bovins installés dans la commune de Ouaké au nord-ouest du Bénin. *Livest. Res. Rural Dev.*, 23: 1-12.
- Amamou H., Sassi M.B., Aouadi H., Khemiri H., Mahouachi M., Beckers Y., Hammami H. (2018). Climate change-related risks and adaptation strategies as perceived in dairy cattle farming systems in Tunisia. *Clim. Risk Manag.*, 20: 38–49.
- Assani A.S., Alkoiret I.T., Houinato M., Mensah G. (2016). Typology of cattle herds in transhumance in the classified forest of Upper Alibori in North of Benin. *Eur. Sci. J.*, 12: 15.
- Bergonzini J.C. (2004). Changements climatiques, désertification, diversité biologique, et forêts. Nogent-Sur-Marne SILVA Paris 98p.
- Enete A.A., Onyekuru A.N. (2011). Challenges of agricultural adaptation to climate change: Empirical evidence from Southeast Nigeria. *Tropicicultura*, 29: 243–249.
- FAO (2016). Food and Agriculture: Key to Achieving the 2030 Agenda for Sustainable Development. The Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- Gelasakis A.I., Rose G., Giannakou R., Valergakis G.E., Theodoridis A., Fortomaris P., Arsenos G. (2017). Typology and characteristics of dairy goat production systems in Greece. *Livest. Sci.*, 197: 22–29.
- Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: a review of technical options for non-CO₂ emissions. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Houessou S.O., Dossa L.H., Diogo R.V., Houinato M., Buerkert A., Schlecht E. (2019). Change and continuity in traditional cattle farming systems of West African Coast countries: A case study from Benin. *Agric. Syst.*, 168: 112–122.
- Hristov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T.W., Harper M.T., Weeks H.L., Branco A.F., Moate P.J., Deighton M.H., Williams S.R.O. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 112: 10663–10668.
- Husson F., Josse J., Le S., Mazet J. (2016). FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R. R package version. 1.27 2014.
- Ibrahim M., Villanueva C., Mora J. (2005). Traditional and improved silvopastoral systems and their importance in sustainability of livestock farms. In *Silvopastoralism and sustainable land management. Proceedings of an international congress on silvopastoralism and sustainable management held in Lugo, Spain, April 2004* (pp. 13-18). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Idrissou Y., Assani Seidou A., Tossou M.F., Baco M.N., Sanni Worogo H.S., Adjassin J.S., Assogba B.G.C., Alkoiret Traoré I., (2020). Perception du changement climatique par les éleveurs de bovins des zones tropicales sèche et subhumide du Bénin: Comparaison avec les données météorologiques. *Cah. Agric.*, 29: 1.
- IPCC (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jose S., Walter D., Mohan Kumar B. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agrfor. Syst.*, 93: 317–331.
- Katé S., Dagbenonbakin G.D., Agbangba C.E., De Souza J.F., Kpagbin G., Azontondé A., Ogouwalé E., Tinté B., Sinsin B. (2014). Perceptions locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptation dans la gestion de la fertilité des sols dans la Commune de Banikoara au Nord-Bénin. *J. Appl. Biosci.*, 82: 7418–7435.
- MEHU (2011). Deuxième Communication Nationale de la République du Bénin sur les Changements Climatiques. Cotonou Ministère L'Environnement L'Habitat L'Urbanisme.
- Mekuria W., Veldkamp E., Corre M.D., Haile M. (2011). Restoration of ecosystem carbon stocks following enclosure establishment in communal grazing lands in Tigray, Ethiopia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 75: 246–256.
- Moreno G., Obrador J.J., García A. (2007). Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 119: 270–280.
- Nardone A., Ronchi B., Lacetera N., Ranieri M.S., Bernabucci U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.*, 130: 57–69.
- Niang I. (2009). Le changement climatique et ses impacts: les prévisions au niveau mondial. *Liaison Énerg. Francoph.*, 13–20.
- Papanastasis V.P., Yiakoulaki M.D., Decandia M., Dini-Papanastasi O. (2008). Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 140: 1–17.
- R Core Team Development (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. URL <http://www.R-project.org>.
- Rigueiro-Rodríguez A., Mosquera-Losada M.R., Fernández-Núñez E. (2012). Afforestation of agricultural land with *Pinus radiata* D. Don and *Betula alba* L. in NW Spain: effects on soil pH, understorey production and floristic diversity eleven years after establishment. *Land Degrad. Dev.*, 23: 227–241.
- Todaro M.P., Smith S.C. (2009). Economic Development. 10th Edition. Addison-Wesley, London: Pearson Education Ltd. Publishers, 891p.
- Worogo H.S., Idrissou R., Assani A.S., Adjassin J.S., Azalou M., Assogba B.G., Idrissou Y., Alabi C.D., Alkoiret I.T. (2020). Towards community-based *in situ* conservation strategies: a typological analysis of Borgou cattle herding systems in northeastern Benin. *Trop. Anim. Health Prod.*, 52: 1055–1064.
- Wright I.A., Tarawali S., Blümmel M., Gerard B., Teufel N., Herrero M. (2012). Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *J. Sci. Food Agric.*, 92: 1010–1015.
- Yabi I., Afouda F. (2012). Extreme rainfall years in Benin (West Africa). *Quat. Int.*, 262: 39–43.
- Yegbemey R.N., Yabi J.A., Tovignan S.D., Gantoli G., Kokoye S.E.H. (2013). Farmers' decisions to adapt to climate change under various property rights: A case study of maize farming in northern Benin (West Africa). *Land Use Policy*, 34: 168–175.

Typologie du profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole au Nord Bénin

P. BATONWERO¹, P. K. DEGLA¹, B. AGALATI¹

(Reçu le 23/11/2022 Accepté le 08/03/2023)

Résumé

L'étude vise à réaliser une typologie du profil entrepreneurial des jeunes en lien avec le secteur agricole. Elle a été menée auprès de 301 jeunes sélectionnés de façon aléatoire au Nord du Bénin. La méthode d'analyse factorielle des correspondances a été utilisée pour caractériser les jeunes à partir de deux variables qualitatives: la formation agricole et le statut professionnel. Les résultats montrent qu'il existe dans la zone d'étude quatre profils de jeunes regroupés en deux groupes selon qu'ils soient entrepreneurs ou non. Le premier groupe comprend les agro-entrepreneurs qualifiés et les agro-entrepreneurs praticiens qui représentent respectivement 24% et 76% de l'effectif total des entrepreneurs agricoles. Pour ce qui est des non entrepreneurs agricoles, 14% sont des agronomes non pratiquants et 86% des non entrepreneurs agricoles relatifs. L'étude met en relief chez les jeunes, le faible taux de qualification professionnelle en agriculture, la forte proportion d'agro-entrepreneurs ayant des parents entrepreneurs agricoles et la reconversion de certains jeunes diplômés en agriculture vers des options professionnelles autre que l'entrepreneuriat agricole. La prise en compte des spécificités de chaque profil de jeunes pourrait aider à accroître la pertinence des interventions visant la promotion de l'entrepreneuriat agricole chez les jeunes.

Mots-clés: Typologie, Profil, Entrepreneuriat agricole, Jeunes, Bénin

Typology of the entrepreneurial profile of young people in the agricultural sector in northern Benin

Abstract

The study aims to produce a typology of the entrepreneurial profile of young people in connection with the agricultural sector. It was conducted among 301 randomly selected young people in northern Benin. The method of factorial analysis of correspondences was used to characterize young people from two qualitative variables: agricultural training and professional status. The results show that in the study area there are four profiles of young people grouped into two groups depending on whether they are entrepreneurs or not. The first group includes qualified agro-entrepreneurs and practicing agro-entrepreneurs who respectively represent 24% and 76% of the total number of agricultural entrepreneurs. As for non-agricultural entrepreneurs, 14% are non-practitioner agronomists and 86% relative non-agricultural entrepreneurs. The study highlights among young people, the low rate of professional qualification in agriculture, the high proportion of agro-entrepreneurs with agricultural entrepreneur parents and the retraining of some young graduates in agriculture towards professional options other than agricultural entrepreneurship. Taking into account the specificities of each youth profile could help increase the relevance of interventions aimed at promoting agricultural entrepreneurship among young people.

Keywords: Typology, Profile, Agricultural entrepreneurship, Youth, Benin

INTRODUCTION

L'Afrique est un continent qui se démarque par le jeune âge de sa population. Plus de la moitié de la population a moins de 25 ans au Sud du Sahara (Behanzin *et al.*, 2019). La montée vertigineuse de l'effectif de la population est à l'antipode de la situation d'emploi des jeunes. L'effectif annuel des jeunes entrants sur le marché de l'emploi est estimé à 11 millions alors que seulement 3 millions d'emplois officiels se créent chaque année.(Grandval, 2019). Ce gap accentue la précarité de la situation d'emploi de plusieurs millions de jeunes. Le faible niveau d'employabilité des jeunes représente une menace pour les pays sous-développés notamment ceux de l'Afrique subsaharienne (Cyriaque, 2018). Une jeunesse affamée et sans emploi est un risque permanent de remise en cause de la stabilité et de la paix car elle représente un terreau fertile au banditisme, à l'extrémisme violent et à la compromission de l'ordre constitutionnel des nations. Le Bénin fait face également à la problématique de l'emploi des jeunes. Moins d'un tiers des jeunes béninois sont actifs sur le marché du travail(INSAE, 2015). Pourtant, il existe de la matière pour valoriser la jeunesse et la mettre au service du développement.

Au Bénin, le secteur agricole contribue pour 32,5% en moyenne au Produit Intérieur Brut (PIB) (MAEP, 2017). Compte tenu de son potentiel, l'agriculture devrait aider à juguler le chômage des jeunes. C'est l'un des principaux réservoirs en terme de contribution à l'emploi(Boris, 2017). Selon les Résultats du recensement national agricole (RNA), la population agricole au Bénin est estimée à 6 506 980, ce qui représente environ 52% de l'effectif totale de la population béninoise et 31,3% de cette population agricole a entre 15 et 34 ans (MAEP, 2021). Au regard du poids important de l'agriculture dans l'économie béninoise, il est impérieux d'accroître les investissements sur la production agricole pour améliorer la croissance économique du pays(Akrong et Hundie, 2022). Ces investissements aideront à l'éclosion de l'entrepreneuriat agricole et à la valorisation des activités informelles en de véritables entreprises (Sabri, 2017). Malheureusement, les interventions visant la promotion de l'entrepreneuriat des jeunes dans le secteur agricole au Bénin ont connu des résultats peu reluisants(Coordination Sud, 2014). Entre autres insuffisances de ces interventions, la pertinence et la cohérence des appuis à l'endroit des jeunes sont souvent remises en cause. Ces jeunes sont souvent considérées comme des groupes homogènes, ce qui est bien loin de la réalité du terrain (ACED, 2017). Il urge de proposer une réponse coordonnée à l'engagement des

¹ Laboratoire d'Analyse et de Recherche sur les Dynamiques Économiques et Sociales, Université de Parakou, Bénin

jeunes dans le secteur agricole au regard de la diminution de la productivité agricole qui contraste avec l'augmentation continue de population mondiale (FAO, 2014). Le succès de la promotion de l'entrepreneuriat des jeunes dans le secteur agricole passe forcément par une meilleure caractérisation de ces jeunes et une meilleure connaissance de leur profil en lien avec l'entrepreneuriat agricole. La jeunesse qui représente pourtant un maillon clé de la survie agricole est souvent occultée au niveau des études agricoles (Parquet et Le Coq, 2017). Au Bénin, quelques études ont abordé le positionnement de la jeunesse dans le secteur agricole (ACED, 2017; Akrong et Hundie, 2022; Alladatin *et al.*, 2018; MAEP, 2021). L'étude de Alladatin *et al.* (2018) sur les caractéristiques sociodémographiques et conditions de vie des jeunes agriculteurs et agricultrices prend en compte que les jeunes agriculteurs. Le positionnement des jeunes qui ne sont pas engagés dans l'agriculture a été occulté. L'étude de ACED (2017) sur le profil des jeunes dans le secteur agricole en plus d'être orientée essentiellement sur l'agrobusiness ne couvre que la partie méridionale du Bénin.

La présente recherche vise à étudier le positionnement de la jeunesse dans l'entrepreneuriat agricole au Nord du Bénin. Elle permettra de mieux caractériser les jeunes et définir les options idoines de leur accompagnement pour une insertion socioprofessionnelle réussie dans l'agriculture.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Fondement théorique d'analyse du profil entrepreneurial

Le profil entrepreneurial est l'ensemble des caractéristiques qui définissent un entrepreneur. L'analyse de la littérature scientifique relative à l'entrepreneuriat met en exergue des approches d'analyse variées du profil de l'entrepreneur.

La théorie néoclassique postule que l'entrepreneur joue le rôle d'agencement des facteurs de production, d'organisation, de gestion de la production et d'innovation (Baumol, 1993). On distingue l'entrepreneur-innovateur (Schumpeter, 1934), l'entrepreneur preneur de risque (Knight, 1921). L'entrepreneur schumpétérien est considéré comme doté d'un sens lui permettant d'avoir une intuition pour l'innovation facilitant la création de son entreprise (Carter *et al.*, 1996). Quant à l'entrepreneur preneur de risque décrit par Knight (1921), ce dernier est à même de prendre des risques dans un contexte d'incertitude. La spécification du profil entrepreneurial à partir des caractéristiques personnelles fait recours également aux domaines de la psychologie, de la sociologie, en général aux spécialistes du comportement humain. Cette caractérisation regroupe les approches axées sur les traits de personnalité et l'approche behaviouriste. Ainsi, le profil entrepreneurial peut être établi à partir de:

- Les facteurs psychologiques (le besoin d'accomplissement, la confiance en soi, la recherche d'indépendance, la prise de risque) (Doubogan, 2016);
- L'intention (Ajzen et Fishbein, 1980; Ajzen, 1985; Kolvereid & Moen, 1997; Krueger Jr *et al.*, 2000);
- La motivation entrepreneuriale (Robichaud *et al.*, 2013): l'entrepreneur de nécessité ou l'entrepreneur d'opportunité selon que la motivation conduisant à la création d'entreprise soit de type pull ou push.

En dépit de l'abondante littérature sur l'entrepreneur, les différentes approches d'étude n'ont pas abouti à la défini-

tion d'un profil type d'entrepreneur (Carter *et al.*, 1996). De nouveaux profils alternatifs d'entrepreneurs ont émergé dans la littérature scientifique récente. Il s'agit du Lifestyle entrepreneur, de l'entrepreneur par accident, et de l'usager entrepreneur (Cova et Guercini, 2016). Les raisons de la création du style entrepreneur se trouvent dans le désir d'amélioration de son mode de vie plutôt que son niveau de vie (Henricks, 2002). L'usager entrepreneur part de l'insatisfaction qu'il ressent par rapport à la solution à son besoin proposée par le marché pour proposer sa propre solution qu'il vulgarise en la commercialisant (Guichard et Servel, 2006; Shah et Tripsas, 2007; Shah et Tripsas, 2012). L'entrepreneur par accident ou par hasard se retrouve entrepreneur sans que cela ne soit son objectif de base mais des circonstances inattendues l'amènent à une découverte qui lui permettra de développer une activité économique souvent de toute autre nature (Aldrich et Kenworthy, 1999; Dew, 2009). Une nouvelle typologie met la passion au centre de la création d'entreprise. Ces types d'entrepreneurs, conduisent une activité pour vivre leur passion (Jaouen, 2010; Laaksonen *et al.*, 2011). Outre les caractéristiques individuelles, le profil entrepreneurial peut être aussi spécifique à l'environnement et au contexte. Il peut différer d'une région à une autre ou d'un secteur d'activité à un autre. L'analyse empirique met en exergue des typologies de profil entrepreneurial basé sur des variables telle que l'environnement familial, la passion pour un secteur d'activité, la formation, l'éducation, etc. Dans ce registre et partant de l'environnement familial, Gbaguidi *et al.*, (2017) ont utilisé le critère d'entourage entreprenant pour distinguer les profils d'entrepreneurs de première génération et de deuxième génération. L'entourage entreprenant traduit le capital d'expérience entrepreneuriale d'un parent ayant une incidence sur la décision d'entreprendre de l'entrepreneur. Dans le secteur agricole au Bénin, ACED (2017) a établi des profils entrepreneuriaux des jeunes en prenant en compte l'éducation, l'attrait pour l'agrobusiness, la formation en agriculture, l'ambition d'exceller en agrobusiness et l'implication dans l'agro business. Plusieurs autres critères sociodémographiques ont été aussi utilisés pour catégoriser dans le contexte béninois, les profils d'entrepreneurs. Il s'agit du sexe, de l'âge, du statut marital, du statut professionnel des parents, du conjoint, etc. (Boukhari et Abedou, 2016; Doubogan, 2016).

Tenant compte de la revue de littérature et du contexte de l'étude, pour définir les profils entrepreneuriaux des jeunes dans le secteur agricole deux variables qualitatives ont été utilisées: la formation agricole qui met en exergue la qualification du jeune dans le secteur agricole et le statut professionnel qui précise l'implication du jeune par rapport au secteur agricole.

Zone d'étude

L'étude a été réalisée au Nord du Bénin qui compte quatre départements (Borgou, Alibori, Atacora et Donga). Cette région mobilise 36% des ménages agricoles du Bénin. Elle est située entre 9° et 12° de latitude.

La région Nord du Bénin s'étend sur quatre pôles de développement agricole sur les sept que compte le Bénin (Tableau 1). Les communes de Malanville et Parakou situées respectivement au niveau des pôles 1 (modèle d'intégration du riz et du maraîchage) et 4 (diversification

agricole) et les communes de Kouandé et Banikoara tous logés dans le pôle 2 (bassin cotonnier) ont été sélectionnés. Les communes et les pôles de production agricole pour l'étude ont été choisies de sorte à avoir une diversité de profils de jeunes et d'entrepreneurs agricoles.

Échantillonnage et collecte de données

Un échantillonnage stratifié a été adopté pour les 301 jeunes enquêtés. L'effectif de la première strate constituée des jeunes entrepreneurs agricoles est de 189 jeunes. La deuxième strate comprenant les jeunes qui ne sont pas entrepreneurs agricoles est composée de 112 jeunes. L'enquête s'est déroulée de façon aléatoire au sein de chaque strate. La collecte de données s'est appuyée sur une démarche méthodologique à la fois qualitative et quantitative. L'analyse documentaire, les entretiens semi-structurés et les entretiens structurés à l'aide d'un questionnaire ont été les principales techniques de collecte de données utilisées.

Analyse des données

La typologie des jeunes a été réalisée avec deux variables qualitatives comportant chacune cinq modalités (Tableau 3). Pour la réalisation de typologie basée sur les deux variables qualitatives, l'Analyse Factorielle des Correspondances a été utilisée avec le logiciel R et le package FactoMiner. L'analyse des caractéristiques socio-économiques des jeunes a été réalisée à l'aide de la statistique descriptive à travers les fréquences, les paramètres de position et de dispersion. La caractérisation des catégories de jeunes issues de la typologie a été faite à l'aide de la statistique descriptive avec la version 4.0.3 du logiciel R.

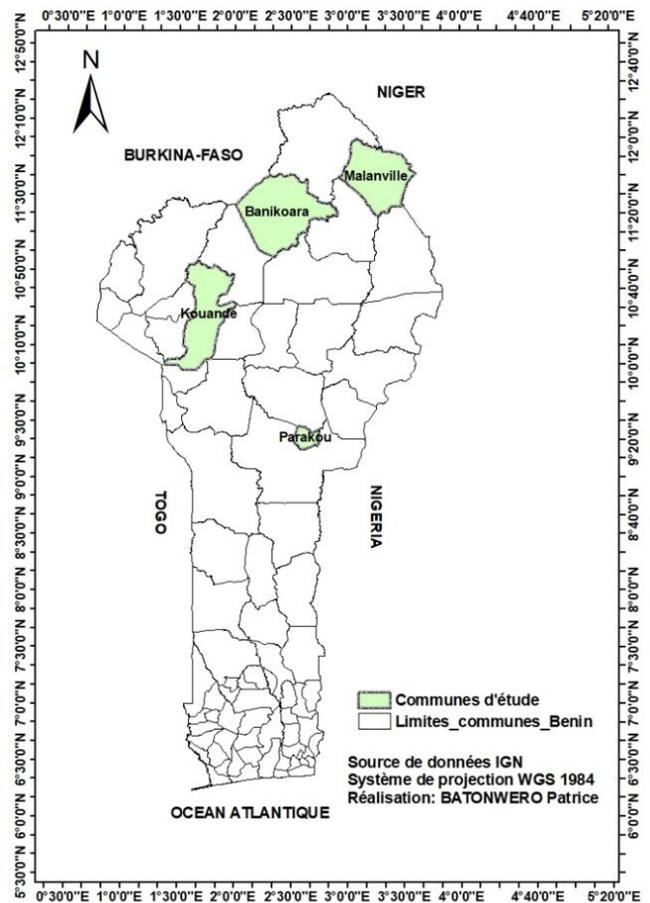


Figure 1: Localisation de la zone de l'étude sur la typologie du profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole

Tableau 1: Choix des Communes pour l'étude du profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole

Pôle de développement agricole	Communes de couverture du pôle	Caractéristiques de production agricole du pôle	Communes d'étude
Pôle 1: Vallée du Niger	Malanville et Karimama	Zone de plaines inondable et de bas-fonds à vocation rizicole. Modèle d'intégration du riz et du maraîchage ainsi que l'élevage de bovin, d'ovin, de caprin et de volaille	Malanville
Pôle 2: Ali-bori Sud-Borgou Nord-2 Kp	Kandi, Banikoara, Ségbana, Gougounou, Kouandé, Kèrou, Pehunco, Sinendé, Kalalé, Bembéréké	Bassin cotonnier comme culture locomotive Association de Maïs et sorgho, élevage intensif de bovins, d'ovins, de caprins et de volaille.	Banikoara
			Kouandé
Pôle 4: Borgou-sud, Donga et Collines	Tchaourou, Parakou, N'Dali, Nikki, Pèrèrè, Djidja, Savalou, Bantè, Dassa-Zoumè, Glazoué, Savè, Ouèssè, Djougou, Ouaké, Bassila, Copargo	Coton vivrier et anacardier- Diversification coton vivrier- système d'intégration agro-sylvo-pastorale portant sur l'anacardier et le coton comme culture locomotive	Parakou

Tableau 2: Échantillonnage pour l'étude du profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole

Pôle	Strate		Total
	Entrepreneurs agricoles	Non entrepreneurs agricoles	
Malanville	49	27	76
Banikoara	50	25	75
Kouandé	47	28	75
Parakou	43	32	75
Total	189	112	301
	63%	37%	100%

RÉSULTATS

Typologie des jeunes enquêtés selon leur profil entrepreneurial dans l'agriculture

Significativité du modèle

Les résultats du test de khi deux sur les variables d'étude (formation professionnelle agricole et statut professionnel) montrent que la statistique du Khi deux est égal à 301 pour une probabilité inférieure à 1%. Il y a donc liaison significative entre les deux variables (Tableau 5).

Contribution des dimensions à l'explication du modèle

Les résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances ressortent cinq axes factoriels qui permettent d'expliquer l'inertie. Les deux premiers axes factoriels contribuent à restituer l'information initiale respectivement à hauteur de 87,1 % et de 10,7 %. Ces deux axes totalisent à eux seuls 97,8 % de l'inertie. Ces deux dimensions ont donc été retenues pour l'explication de l'inertie.

Contribution des variables introduites dans le modèle à l'explication des dimensions

Les contributions des différentes modalités des variables «formation agricole» et «statut professionnel» ont par conséquent été prises en compte pour expliquer les dimensions à cause des différences d'effectifs marginaux très importantes.

Formation agricole

Les modalités «Sans Qualification en Agriculture» et «Formation sur le Tas» avec respectivement 64,6 % et 31,1 % ont les plus fortes contributions à l'explication de

la dimension 1 (Tableau 5). Le cumul de leurs contributions s'élève à 95,8%. La dimension 1 caractérise les jeunes sans formation agricole professionnelle (formation sur le tas ou aucune qualification en agriculture).

Les modalités «Formation universitaire agricole» avec un taux de 63,5 % et «Formation dans un Lycée agricole» avec un taux de 24,6 % contribuent à 88,1 % (Tableau 5) à l'explication de la dimension 2. La dimension 2 représente les jeunes qui ont suivi une formation agricole professionnelle.

Statut professionnel

Les modalités «entrepreneurs agricoles» et «entrepreneurs autre secteurs» avec 84,9 % de contribution (Tableau 5) expliquent plus la dimension 1. La dimension 1 caractérise donc les entrepreneurs.

Les modalités «employés autre secteur» et «entrepreneurs autre secteur» contribuent à 91,2 % (Tableau 5) à la dimension 2. La dimension 2 caractérise les «emplois non agricoles». Les modalités «Employés autre secteur» et «entrepreneurs autre secteur» contribuent à 91,2 % à la dimension 2. La dimension 1 caractérise donc l'entrepreneuriat (auto emploi) et la dimension 2 caractérise l'emploi non agricole.

Projection des jeunes sur les deux premières dimensions

Le croisement de l'analyse de contribution des variables à la construction des dimensions et la projection des individus sur le plan constitué par les deux premières dimensions permet de catégoriser les jeunes (Figure 2) en quatre groupes représentant les profils entrepreneuriaux.

Tableau 3: Description des variables de caractérisation du profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole au Nord du Bénin

Modalités	Abréviation	Explication
Variable qualitative 1: Formation agricole		
Sans qualification Agricole	SQA	Aucune formation en agriculture
Formation sur le tas	ForTas	Formation par apprentissage en entreprise ou dans une ferme agricole
Certificat/Attestation de formation modulaire de courte durée	ForMod	Formation de courte durée n'excédant pas 06 mois
Certificat de formation dans un centre professionnel de formation ou de métiers agricoles	CFPA	Formation professionnelle de durée moyenne dans un centre ou une ferme agricole qui a pour vocation de former les jeunes. La durée de formation est généralement comprise entre 6 mois e 24 mois
Formation dans un Lycée agricole	LTA	Formation de longue durée (plus de 24 mois) dans un lycée Agricole d'enseignement secondaire cycle 1 (brevet) ou 2 (baccalauréat)
Formation dans un entité universitaire de formation agricole	UnivA	Formation dans un entité universitaire de formation professionnelle en sciences agronomiques
Variable qualitative 2: statut professionnel		
Entrepreneur Agricole	EntA	Entrepreneur opérant dans le secteur agricole
Entrepreneur autre secteur	EntAS	Entrepreneur opérant dans un secteur autre que l'agriculture
Employé agricole	EmpA	Employé agricole permanent ou occasionnel
Employé autre secteur	EmpAS	Employé dans un secteur autre que l'agriculture
Étudiant	Etud	Étudiant, élève ou apprenant
Chômeur	Chom	Jeune sans emploi ou sans occupation professionnelle

Tableau 4: Contribution des dimensions à l'explication du modèle de caractérisation du profil entrepreneurial des jeunes

Dimensions	Valeurs propres				
	D1	D2	D3	D4	D5
Variance % of Var.	87,1	10,7	1,44	0,73	0,00
Cumulative % of var.	87,1	97,8	99,3	100	100

Le premier groupe est composé de jeunes entrepreneurs agricoles ayant une formation modulaire et des jeunes formés dans un centre de formation professionnelle ou dans un lycée technique agricole (Figure 2). En dehors d'être des entrepreneurs agricoles, ces jeunes disposent d'une formation agricole professionnelle. Ce profil peut être qualifié d'agro-entrepreneurs qualifiés (AQ). Le deuxième groupe est constitué de jeunes entrepreneurs agricoles formés sur le tas. Ils ont créé leur entreprise sans avoir une formation agricole formelle. Ce deuxième groupe représente les agro-entrepreneurs praticiens (AP). Le troisième groupe comporte les jeunes ayant une formation agricole professionnelle et exerçant dans des secteurs d'activité en dehors de l'agriculture. Ils ne sont ni

entrepreneurs ni employés dans le secteur agricole. Ce groupe illustre le profil des Agronomes non pratiquants (ANP). Le quatrième et dernier profil est constitué de jeunes sans qualification en agriculture qui sont soit étudiants, soit chômeurs, soit employés agricoles ou entrepreneurs dans d'autres secteurs. Parmi toutes les catégories socio-professionnelles représentées dans ce groupe, aucun n'est entrepreneur agricole. Toutefois, le fait que le groupe contienne des entrepreneurs opérant dans d'autres secteurs, des étudiants, des chômeurs ou encore des employés agricoles laisse une possible ouverture de migration vers l'entrepreneuriat agricole en fonction des opportunités qui se présentent. Ce groupe peut être qualifié de « Non entrepreneurs agricoles relatifs (NEAR) ».

Tableau 5: Contribution des modalités de la variable «formation agricole» à l'explication des dimensions

Contributions		
Dimensions	D1	D2
Formation Agricole		
Sans qualification Agricole (SQA)	64,6	2,88
Formation sur le tas (ForTas)	31,1	6,93
Certificat/Attestation de formation modulaire de courte durée (ForMod)	1,22	0,66
Certificat de formation dans un centre professionnel de formation ou de métiers agricoles (CFPA)	0,80	1,40
Formation dans un Lycée agricole (LTA)	1,96	24,6
Formation dans un entité universitaire de formation agricole (UnivA)	0,24	63,5
Statut professionnel		
Entrepreneur Agricole (EntA)	36,0	0,99
Entrepreneur autre secteur (EntAS)	48,9	5,29
Employé Agricole (EmpA)	1,53	0,55
Employé Autre secteur (EmpA)	1,52	85,9
Étudiant (Etud)	6,55	3,00
Chômeur (Chom)	5,45	4,29
Statistique de Khi deux =301, p-value = 5.922335e-7		

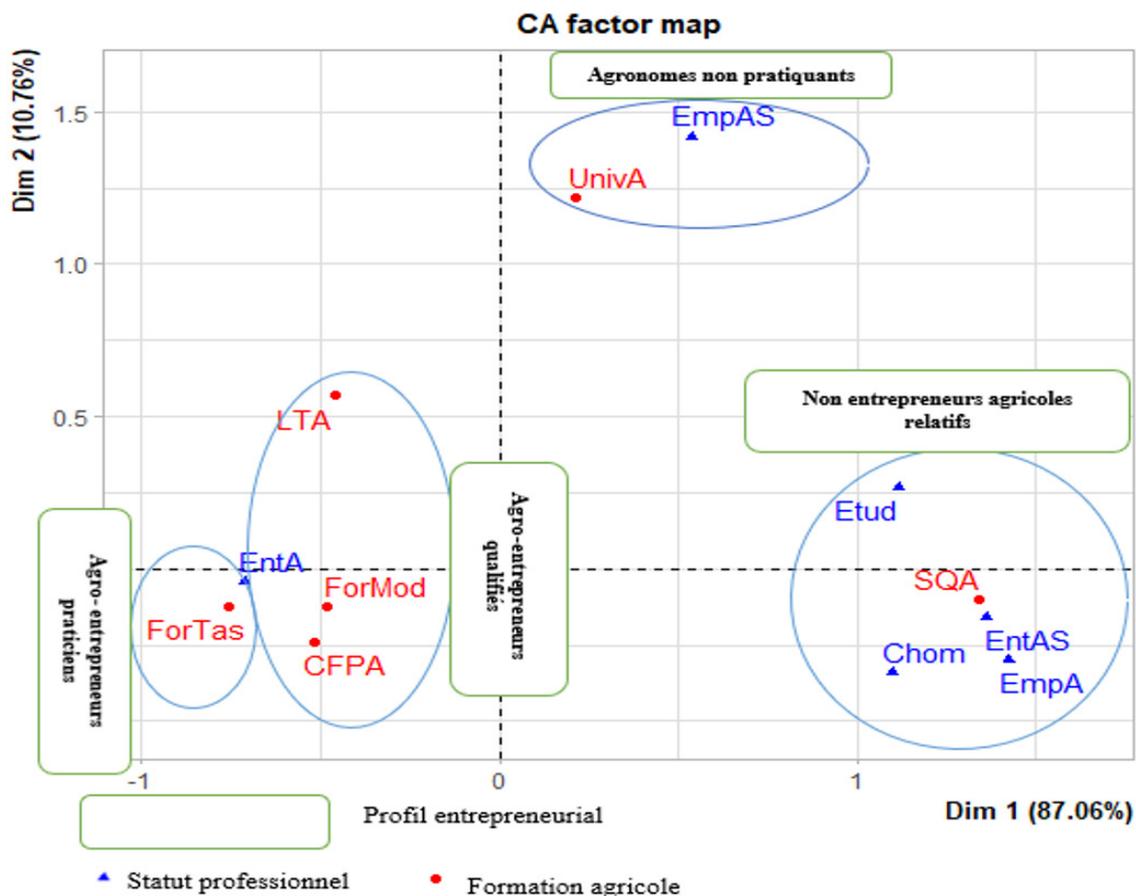


Figure 2: Représentation graphique des jeunes sur les deux premières dimensions

Caractérisation des profils entrepreneuriaux des jeunes

Caractéristiques générales des profils entrepreneuriaux des jeunes

La typologie des jeunes sur la base des variables « formation agricole » et « statut professionnel » a permis de regrouper les jeunes en quatre groupes: les agro-entrepreneurs qualifiés, les agro-entrepreneurs praticiens, les agronomes non pratiquants et les non entrepreneurs agricoles relatifs. Ces quatre groupes peuvent être résumés en deux profils: les entrepreneurs agricoles regroupant les agro-entrepreneurs qualifiés et les agro-entrepreneurs praticiens et les non entrepreneurs agricoles comprenant les agronomes non pratiquants et les non entrepreneurs agricoles relatifs.

Les entrepreneurs agricoles sont des agro-entrepreneurs praticiens pour 76% contre 24% d'agro-entrepreneurs qualifiés (Tableau 6). Parmi les non entrepreneurs, 14% sont des agronomes non pratiquants et 86% des non entrepreneurs agricoles relatifs.

De façon globale, le taux de jeune ayant une formation agricole de type professionnel est de 20%. Ce taux est légèrement plus élevé (24%) chez les entrepreneurs agricoles et plus bas pour les non entrepreneurs agricoles soit 14%. Le faible taux des jeunes ayant suivi une formation agricole professionnelle traduit la faible attractivité du secteur agricole pour les jeunes.

On note une plus grande proportion des entrepreneurs agricoles (79%) qui ont des parents entrepreneurs comparativement aux non entrepreneurs agricoles (59% ont des parents entrepreneurs). Le fait d'avoir des parents entrepreneurs agricoles est un catalyseur d'orientation du choix des jeunes vers l'entrepreneuriat agricole.

La moyenne d'âge de tous les jeunes enquêtés est de 28 ans. Les non entrepreneurs agricoles sont plus jeunes (26 ans) que les entrepreneurs agricoles (28 ans). Les moins jeunes espèrent décrocher d'autres opportunités professionnelles. Ils ne s'orientent vers l'agriculture que lorsqu'ils sont dans une impasse.

Les jeunes enquêtés sont en majorité des hommes (78%). La tendance dominante des hommes est la même au niveau des entrepreneurs et des non entrepreneurs agricoles. Les jeunes pour la plupart sont mariés aussi bien dans l'ensemble qu'au niveau des différents profils entrepreneuriaux. Les jeunes sont scolarisés pour 84% et 67% ont au moins atteint le niveau d'étude secondaire. La majorité des enquêtés (67%) est de religion musulmane.

La caractérisation de chaque profil type de jeune en lien avec l'entrepreneuriat agricole est détaillé ci-après.

Agro-entrepreneurs qualifiés

Les agro-entrepreneurs qualifiés sont diplômés des Lycées techniques agricoles pour 44%. Dans ce groupe, 27% ont suivi une formation modulaire de courte durée et 16% ont été formés dans un centre professionnel de formation agricole (Tableau 6). Seulement 13% ont une formation agricole universitaire alors que 96% sont scolarisés. Plus de la moitié des agronomes qualifiés ont des parents entrepreneurs agricoles (51%). Alors, le fait d'avoir grandi dans un environnement familial a influencé l'orientation et le choix de leur branche de formation professionnelle. Avant de lancer leur propre entreprise, 31% étaient au chômage et

42% étaient employés. Ces derniers ont dû travailler auprès de leurs parents et d'autres exploitations afin d'acquérir de l'expérience. Les agro-entrepreneurs qualifiés sont pour la plupart mariés (51%) et de religion musulmane (51%). Seulement 2% des jeunes agro-entrepreneurs qualifiés sont des femmes. En raison des contraintes culturelles d'accès des femmes à la terre, peu de femmes s'inscrivent dans les formations agricoles professionnelles. La moyenne d'âge des agro-entrepreneurs qualifiés est de 28 ans pour une taille de ménage estimée à 06 personnes environ.

Agro-entrepreneurs praticiens

Les agro-entrepreneurs praticiens n'ont aucune qualification agricole au démarrage de leur entreprise. Ils se sont formés sur le tas dans l'exercice des métiers agricoles. La taille moyenne de leur ménage est de 7 personnes et l'âge moyen de 29 ans. La plupart d'entre eux sont des hommes (86%), de religion musulmane (78%), mariés (74%) et 45% n'ont pas dépassé le niveau d'étude primaire. Un certain nombre a transité du chômage vers l'entrepreneuriat agricole (47%) alors que 23% étaient des entrepreneurs dans d'autres secteurs avant de s'engager dans l'agriculture. C'est le profil de jeunes qui a le plus fort taux de parents entrepreneurs agricoles soit 88%. Il s'agit essentiellement des jeunes qui ont hérité l'agriculture de leurs parents et ont un accès plus facile au foncier.

Agronomes non pratiquants

La moitié des agronomes non pratiquants a une formation agricole de niveau universitaire et environ le tiers est diplômé des lycées techniques agricoles; le reste a été formé dans un centre de formation professionnelle (6%) ou a suivi une formation modulaire de courte durée (13%) (Tableau 6).

Les agronomes formés à l'université ont beaucoup plus de possibilités d'emplois et préfèrent l'emploi salarié à la création et la gestion d'entreprise agricole. Selon les résultats de l'étude, 50% des agronomes non pratiquants opèrent en qualité d'employés dans des secteurs autres que l'agriculture et 19% comme entrepreneurs. Le reste des jeunes de ce groupe n'est pas en situation d'emploi: 19% poursuivent leurs études et 13% sont des chômeurs. Il faut souligner qu'aucun des agronomes non pratiquants n'est employé agricole. 81% des agronomes non pratiquants n'ont pas des parents entrepreneurs agricoles. Ils sont âgés en moyenne de 30 ans et dirigent un ménage d'un effectif moyen de 3 personnes.

Non entrepreneurs agricoles relatifs

Ce profil regroupe une diversité de statuts professionnels qui ont tous la caractéristique commune de n'avoir aucune qualification en agriculture en plus de n'être pas entrepreneurs agricoles. Par contre, 70% de jeunes de cette catégorie sont entrepreneurs (artisanat, commerce et transport) dans d'autres secteurs, 11% sont étudiants, 10% sont chômeurs, 2% sont employés dans le secteur agricole et 6% dans d'autres secteurs. Ceux qui sont employés dans le secteur agricole n'ont aucune qualification et opèrent comme ouvriers agricoles. La majorité des non entrepreneurs actifs (66%) ont un statut professionnel antérieur précaire (occasionnel ou sans emploi) avant de réussir à améliorer leur statut professionnel actuel (78% sont en situation d'emploi salarié ou indépendant). Les membres

Tableau 6: Caractéristiques socio-démographiques des jeunes selon le profil entrepreneurial

Profil entrepreneurial	Agro-entrepreneurs qualifiés (AQ)		Agro-entrepreneurs praticiens (AP)		Non Entrepreneurs agricoles Relatifs (NEAR)		Agronomes non pratiquants (ANP)		Tous les jeunes	
	Eff.	Fréq.	Eff.	Fréq.	Eff.	Fréq.	Eff.	Fréq.	Eff.	Fréq.
	Variables qualitatives									
Effectif par profil	45	15%	144	48%	96	32%	16	5%	301	100%
Genre										
Masculin	44	98%	124	86%	53	55%	15	94%	236	78%
Féminin	1	2%	20	14%	43	45%	1	6%	65	22%
Religion										
Chrétien	22	49%	32	22%	37	39%	5	31%	96	32%
Musulman	23	51%	112	78%	57	59%	11	69%	203	67%
Animiste	0	0%		0%	2	2%	0	0%	2	1%
Ethnie										
bariba et assimilés	20	44%	71	49%	42	44%	8	50%	141	47%
dendi	5	11%	48	33%	13	14%	2	13%	68	23%
Fon	11	24%	6	4%	19	20%	2	13%	38	13%
Nagot et assimilés	8	18%	9	6%	11	11%	4	25%	32	11%
Autres ethnies	1	2%	10	7%	11	11%	0	0%	22	7%
Statut matrimonial										
Célibataire	22	49%	35	24%	52	54%	7	44%	116	39%
Divorcé	0	0%	2	1%	0	0%	1	6%	3	1%
Marié	23	51%	107	74%	44	46%	8	50%	182	60%
Statut professionnel										
Entrepreneur agricole	144	100%	45	100%	0	0%	0	0%	189	63%
Entrepreneur autre secteur	0	0%	0	0%	67	70%	3	19%	70	23%
Employé agricole	0	0%	0	0%	2	2%	0	0%	2	1%
Emploi autre secteur	0	0%	0	0%	6	6%	8	50%	14	5%
Étudiant	0	0%	0	0%	11	11%	3	19%	14	5%
Chômeur	0	0%	0	0%	10	10%	2	13%	12	4%
Formation agricole										
Sans formation agricole	0	0%	0	0%	96	100%	0	0%	96	32%
Formation sur le tas	0	0%	144	100%	0	0%	0	0%	144	48%
Formation modulaire de courte durée	12	27%	0	0%	0	0%	2	13%	14	5%
Centre professionnels de formation agricole	7	16%	0	0%	0	0%	1	6%	8	3%
Lycée agricole	20	44%	0	0%	0	0%	5	31%	25	8%
Formation agricole universitaire	6	13%	0	0%	0	0%	8	50%	14	5%
Éducation										
Non scolarisé	2	4%	30	21%	15	16%	0	0%	47	16%
Niveau Primaire	2	4%	34	24%	14	15%	1	6%	51	17%
Niveau Secondaire	29	64%	62	43%	32	33%	5	31%	128	43%
Niveau Universitaire	12	27%	18	13%	35	36%	10	63%	75	25%
Parents entrepreneurs agricoles										
Oui	23	51%	127	88%	63	66%	3	19%	216	72%
Non	22	49%	17	12%	33	34%	13	81%	85	28%
Statut professionnel antérieur										
Entrepreneur dans un autre secteur	6	13%	33	23%	2	2%	3	19%	44	15%
Employé autre secteur	19	42%	5	3%	6	6%	8	50%	38	13%
Étudiant	5	11%	19	13%	24	25%	3	19%	51	17%
Employé agricole	0	0%	19	13%	0	0%	0	0%	19	6%
Sans emploi	14	31%	68	47%	32	33%	2	13%	116	39%
Occasionnels	1	2%	0	0%	32	33%	0	0%	33	11%
	Variables quantitatives									
	Moy.	Écart Type	Moy.	Écart Type	Moy.	Écart Type	Moy.	Écart Type	Moy.	Écart Type
Taille du ménage	6	5	7	5	2	5	3	6	5	5
Age	28	4	29	4	26	4	30	4	28	4

de cette catégorie sont scolarisés (84%) et 66% ont des parents entrepreneurs agricoles. C'est le profil de jeunes où on retrouve la plus grande proportion de femmes (45% de la catégorie). Celles-ci conduisent des microentreprises génératrices de revenus dans les domaines de l'artisanat et du commerce. Ils sont en majorité (59%) des musulmans. La taille de leur ménage est de 02 personnes. Ils sont en moyenne âgés de 26 ans.

DISCUSSION

L'étude a permis d'identifier quatre profils des jeunes en lien avec le secteur agricole: les agro-entrepreneurs qualifiés les agro-entrepreneurs praticiens, les agronomes non pratiquants et les non entrepreneurs agricoles relatifs. Les agro-entrepreneurs praticiens et les agro-entrepreneurs qualifiés ont respectivement des profils similaires aux entrepreneurs tournés vers l'agrobusiness sans formation agricole et aux entrepreneurs tournés vers l'agrobusiness avec formation agricole identifiés par ACED (2017) au sud du Bénin. Cette étude tout comme nos résultats met en exergue quatre profils de jeunes dont deux impliqués dans l'entrepreneuriat agricole: ceux ayant une formation agricole et ceux n'ayant pas suivi une formation agricole. L'étude a montré que 79% des jeunes entrepreneurs agricoles ont des parents entrepreneurs contrairement aux agronomes non pratiquants qui ne sont que 19% à avoir des parents entrepreneurs agricoles. Ces résultats se rapprochent du constat fait par Simon (2013) en Bretagne (France) selon lequel, les jeunes agriculteurs sont issus à 72 % de l'environnement familial proche du cédant. Le constat met en évidence l'influence parentale chez les jeunes entrepreneurs issus d'un milieu agricole dans l'orientation de leur carrière professionnelle. L'influence des parents sur l'engagement de leur descendance à entreprendre a été abordée par Gbaguidi *et al.*, (2017) qui distinguent à cet effet, les entrepreneurs de deuxième et de première génération. L'engagement dans l'entrepreneuriat des entrepreneurs de deuxième génération a été influencé par les parents entrepreneurs alors que les entrepreneurs de première génération n'ont subi aucune influence parentale dans le processus de création de leur entreprise.

Une minorité de l'ensemble des jeunes enquêtés (20%) a une formation en agriculture. Cela marque un faible engouement des jeunes pour l'agriculture tout comme souligné par Alladatin *et al* (2018). Ce faible engouement des jeunes pour la question de l'agriculture contraste avec les potentialités du secteur. Le difficile accès aux financements, au foncier, aux intrants et aux équipements de production, la pénibilité du travail dans le secteur agricole caractérisé par une technologie peu développée sont souvent mis en cause (MAEP, 2017). Tous ces facteurs ont une incidence négative sur l'attractivité du secteur agricole.

Les résultats de l'étude ont par ailleurs mis en évidence la reconversion professionnelle du groupe des «agronomes non pratiquants». Ces derniers biens qu'ayant une qualification professionnelle en agriculture s'orientent vers d'autres secteurs. Cela pose la problématique de l'adéquation de la formation-emploi (Tingbe-Azalou et Ahodekon, 2016). Cette situation amène Baba-Moussa (2017) à suggérer une articulation de l'éducation formelle et l'éducation non formelle, afin définir des modèles inspirants de parcours formation-insertion inspirants pour les jeunes.

CONCLUSION

Les jeunes ont été regroupés en quatre profils d'entrepreneuriat agricole: les agro-entrepreneurs qualifiés, les agro-entrepreneurs praticiens, les non entrepreneurs agricoles relatifs et les agronomes non pratiquants. La diversité de profil entrepreneurial des jeunes dans le secteur agricole montre que ces derniers ne sont pas un groupe homogène. Pour être efficace, les actions d'appui à l'entrepreneuriat agricole doivent tenir compte des spécificités de chaque profil. Il est alors impérieux de prendre en compte ces données pour une intervention optimale des acteurs de développement qui promeuvent l'entrepreneuriat agricole au niveau de la jeunesse.

RÉFÉRENCES

- ACED (2017). Analyse des profils des jeunes dans le secteur agricole au Bénin: Les impératifs de capacités. Rapport d'étude (ACED). ACED. https://www.aced-benin.org/wp-content/uploads/2020/04/aced_profil_des_jeunes_web.pdf
- Ajzen M., Fishbein I. (1980). Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research. Reading, MA, Addison Wesley.
- Ajzen I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In J. Kuhl, J. Beckman (Eds.), Action-control: From cognition to behavior, pp. 11-39. Heidelberg: Springer.
- Akrong R., Hundie B.K. (2022). Economic analysis of youth participation in agripreneurship in Benin. *Heliyon*, e08738.
- Aldrich H.E., Kenworthy A. (1999). The accidental entrepreneur: Campbellian antinomies and organizational foundings. Variations in organization science: In honor of Donald T. Campbell, 19-33.
- Alladatin J., Moumouni I., Gnanguènon M. A., Dahoué L.M. (2018). Caractéristiques socio-démographiques et conditions de vie des jeunes agriculteurs et agricultrices: Quelles perspectives au Bénin? <https://hdl.handle.net/20.500.12177/1752>
- Baba-Moussa A.R. (2017). La prise en compte de la relation entre formation et emploi dans la réforme de l'éducation au Bénin: Contribution à l'élaboration d'un nouveau modèle éducatif. *International Review of Education*, 63: 631-656.
- Baumol W.J. (1993). Formal entrepreneurship theory in economics: Existence and bounds. *Journal of Business Venturing*, 8: 197-210.
- Behanzin P., Agbandji L., Dossou G. (2019). Analyse des déterminants de l'insertion professionnelle des jeunes au Bénin. *Moroccan Journal of Entrepreneurship, Innovation and Management*, 4: 1-21.
- Boris L.K.O. (2017). Agricultural entrepreneurship and informality in Sub-Saharan Africa: Insights from Benin. *Moroccan Journal of Entrepreneurship, Innovation and Management*, 2: 63-73.
- Boukhari M., Abedou A. (2016). Le profil entrepreneurial: Facteur discriminant du développement économique. *Les cahiers du Cread*, 116: 127-154.
- Carter N.M., Gartner W.B., Reynolds P.D. (1996). Exploring start-up event sequences. *Journal of Business Venturing*, 11: 151-166.
- Coordination Sud (2014). Former les jeunes ruraux pour développer les agricultures familiales. *Les Notes de la C2A*, 19.
- Cova B., Guercini S. (2016). Passion et entrepreneuriat: Vers un entrepreneur tribal? *Revue de l'Entrepreneuriat*, 15: 15-42.
- Cyriaque E. (2018). Les obstacles à la formalisation des entreprises des jeunes dans 3 pays de l'Afrique de l'Ouest (Bénin, Sénégal, Guinée). <https://www.bcpafrique.org/>
- Dew N. (2009). Serendipity in entrepreneurship. *Organization Studies*, 30: 735-753.
- Doubogan Y.O. (2016). Déterminants de l'entrepreneuriat féminin au Bénin. *Revue des Etudes Multidisciplinaires en Sciences Economiques et Sociales*, 2.

- Knight F. (1921). Risk, Uncertainty, and Profit. New York: Houghton Mifflin Co.
- FAO (2014). Les jeunes et l'agriculture: Principaux enjeux et solutions concrètes.
- Gbaguidi L., Bio N'Goye C.G., Djodjo G. E. (2017). Motivations intergénérationnelles des femmes entrepreneures: Étude de cas au Bénin en Afrique de l'Ouest, XXVIe. Conférence Internationale de Management Stratégique Lyon 7-9 juin 2017, XXVI^{ème}.
- Grandval F. (2019). Ils l'ont fait: Être jeune et entreprendre dans le secteur agricole. CTA.
- Guichard R., Servel L. (2006). Qui sont les innovateurs? Une lecture socio-économique des acteurs de l'innovation. *Sociétal*, 3: 26-31.
- Henricks M. (2002). Not just a living: The complete guide to creating a business that gives you a life. Basic Books.
- INSAE (2015). Enquêtes de transition de l'école vers la vie active (ETVA) 2015, Rapport de synthèse.
- Jaouen A. (2010). Typologie de dirigeants de très petite entreprise. *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, 23: 133-152.
- Kolvreid L., Moen Ø. (1997). Entrepreneurship among business graduates: Does a major in entrepreneurship make a difference? *Journal of European Industrial Training*, 21: 154-160.
- Krueger Jr, N.F., Reilly M.D., Carsrud A.L. (2000). Competing models of entrepreneurial intentions. *Journal of Business Venturing*, 15: 411-432.
- Laaksonen L., Ainamo A., Karjalainen T.-M. (2011). Entrepreneurial passion: An explorative case study of four metal music ventures. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*, 13: 18-36.
- MAEP (2017). Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA 2017- 2025).
- MAEP (2021). Recensement National de l'Agriculture: Principaux résultats du module de base (p. 229p). Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche, Direction de la Statistique Agricole. <https://instad.bj/actualites/308-resultats-du-recensement-national-de-l-agriculture-rna>
- Parquet M., Le Coq J.-F. (2017). Installation des jeunes agriculteurs et pluriactivité au Costa Rica. *Cahiers agricultures*, 26: 15004.
- Robichaud Y., McGraw E., Cachon J.-C., Haq R. (2013). L'influence des motivations entrepreneuriales sur la performance des PME. *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, 26: 409-428.
- Sabri, M. (2017). Les Déterminants De L'entrepreneuriat Chez Les Jeunes. *OSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 19: 7-17.
- Shah, S.K., Tripsas M. (2007). The accidental entrepreneur: The emergent and collective process of user entrepreneurship. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 1: 123-140.
- Shah S., Tripsas M. (2012). When do user innovators start firms? A theory of user entrepreneurship. Revolutionizing innovation: users, communities, and open innovation, MIT Press, Forthcoming, Harvard Business School Entrepreneurial Management Working Paper, 12-078.
- Simon B. (2013). L'installation en agriculture. La construction de l'intention entrepreneuriale. *Économie rurale. Agricultures, Alimentations, Territoires*, 334: 23-38.
- Tingbe-Azalou A., Ahodekon S.C.C. (2016). Problématique de l'adéquation formation-emploi au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 18: 79-82.

Inventaire des poissons capturés par la pêche aux claies au Sud-Ubangi (RD Congo)

J. B. BOSANZA, J-G. WEMBODINGA, N. NDOMBA, K.N. NGBOLUA, N-F. NYONGOMBE

(Reçu le 14/11/2022 Accepté le 26/01/2023)

Résumé

La présente étude avait pour but d'inventorier les espèces de poissons capturés par la technique de pêche aux claies du type «Ndobo» en vue de détecter parmi ces espèces sauvages, et ce, à partir des données de la littérature sur leur comportement, celles ayant des potentialités piscicoles et ainsi proposer les stratégies de leur domestication. Il se dégage de cette étude que 19 espèces de poissons inventoriées sont réparties en 13 genres et 10 familles dont la plus représentée est celle de Claridae avec 31,6% d'espèces. Seulement 6 espèces (soit 31,6%) font déjà l'objet d'élevage parmi lesquelles, du point de vue économique, 3 espèces sont couramment élevées en RDC à savoir *Parachanna obscura*, *P. insignis* et *Clarias gariepinus*. Les observations morphologiques et les appréciations organoleptiques poussent à considérer que trois espèces sont potentiellement piscicoles à savoir *Clariallabes* sp. et deux autres du genre *Clarias*, communément appelées «ngolo» (en lingala) et spécifiquement Limongo et Okolo (en Boba). D'où la nécessité de procéder à leur domestication et élevage en étang en vue d'étudier leurs performances zootechniques et économiques. Ceci pourrait permettre d'enrichir localement l'ichtyofaune piscicole en nouvelles espèces sauvages et ainsi diversifier la production.

Mots clés: Pêche, claies, Ndobo, Poisson, Bomboma

Inventory of fish caught by enclosure fishing in Sud-Ubangi (DR Congo)

Abstract

The aim of this study was to inventory the different fish species fished by using enclosure "Ndobo" in the Bomboma sector, to detect potential breeding species. The study found that 19 fish species belonging to 13 genera and 10 families dominated by Claridae with 31.6%. Only 6 species (about 31.6%) are already breeding by the pisciculturist. From an economic point of view, 3 listed species are among the species commonly bred in Democratic Republic of Congo, namely *Parachanna obscura*, *P. insignis* and *Clarias gariepinus*. Physical form (dimension et weight) and organoleptiques observations makes three species potential candidates for fish farming: two of *Clarias* genera namely Limongo in Boba or Ngolo in Lingala and Okolo in Boba or Ngolo en Lingala and one of *Clariallabe* genera (Motepa in Boba/Mongbangele in Lingala). Hence, there is a need to domesticate and to bred in ponds these species and evaluate their economic and zootechnic performances. That will enable to enrich piscicultural fauna with new species and then to diversify the fish production.

Keywords: Fishing, enclosure, Ndobo, Fish, Bomboma

INTRODUCTION

Les activités anthropiques, les engins de pêche utilisés et la pression de plus en plus croissante, poussent à entreprendre des études beaucoup plus poussées pour sauvegarder les habitats des poissons et de les conserver pour les générations avenir. Les études antérieures ont démontré que l'expansion démographique des années avenir et les projections alimentaires sont controversées de façon à présumer que la terre ferme ne saura nourrir le monde, il faudrait recourir à la mer, aux océans, fleuves, et autres cours d'eau pour subvenir aux besoins de la population mondiale (Mujinga et al., 2009; Raven et al., 2009). Le poisson est une source des nutriments complets par excellence. Avec des acides aminés essentiels et des acides gras polyinsaturés, ainsi que des vitamines et oligoéléments; il ne contient pas du cholestérol. Cette réalité est perçue par des communautés riveraines de façon empirique depuis des générations. Ceci explique bien l'importance culturelle de la pêche (Mamonekene et Musibono, 2010). Ceci étant, les poissons constituent des sources non négligeables de protéines (au même titre que la viande), de revenus et de travail soutenant ainsi les ménages et faisant partie de nœuds d'éclosion du développement (Kpogue et al., 2013). Ils sont une opportunité d'affaires tant pour la pêche que pour l'aquaculture et l'industrie y relative (Bosanza et al., 2019). En effet, l'explosion démographique croissante occasionne la surexploitation des forêts et exerce une pression sur les

écosystèmes naturels et la biodiversité de la République Démocratique du Congo. Dans le cas particulier des écosystèmes aquatiques, la raréfaction des poissons et la concurrence ont exacerbé les conflits inter-ethniques dans certaines provinces et les méthodes artisanales de pêche, séculairement pratiquées, sont loin de pallier à cette situation d'insuffisance alimentaire en produits halieutiques (Bosanza et al., 2017; Bosanza et al., 2018).

A ce jour, elle reste essentiellement artisanale, sans véritable gouvernance et orientée vers la cueillette (Minader, 2010; Zanga, 2013). En plus, 80% des stocks mondiaux des poissons sont maintenant considérés comme pleinement exploités, surexploités ou en voie de reconstitution. La pêche traditionnelle a toujours été une activité de cueillette ou on prélève du poisson sans contribuer à sa régénération. Par conséquent, il est très peu probable que la pêche sera capable de fournir plus de poissons à l'avenir qu'aujourd'hui. L'aquaculture apparaît donc comme la seule solution pour augmenter la disponibilité en produits aquatiques (Teletchea, 2015) et la pisciculture ou l'élevage des poissons apparaît aujourd'hui la solution pour tirer une meilleure partie de notre terre et de notre eau.

La République Démocratique du Congo est dotée de nombreux plans d'eau d'une superficie de 86 000 km², soit 3,5% du territoire national. Le réseau hydrographique congolais est constitué d'un énorme réseau fluvial, des plaines inondées et des grands lacs ainsi que d'une façade maritime.

¹ Institut Supérieur d'Études Agronomiques de Bokonzi, Sud-Ubangi, RD Congo

² Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lodja, RD Congo

³ Faculté des Sciences Agronomiques, Institut Supérieur de Développement Rural de Kindu, RD Congo

⁴ Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

⁵ Faculté des Sciences Agronomiques, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

Grâce à la densité de son réseau hydrographique et l'abondance de ses ressources halieutiques très diversifiées, la République Démocratique du Congo offre d'énormes possibilités de développement de la pêche (Minader, 2010). Cependant, les statistiques montrent que la République Démocratique du Congo a beaucoup régressé du point de vue de ses performances productives jusqu'à ne plus être capable de satisfaire à la demande alimentaire. Et pourtant, elle dispose d'un vaste réseau hydrographique: ses eaux intérieures – rivières et lacs – permettraient la production annuelle de plus de 700 000 tonnes de poissons alors que la production annuelle est estimée à moins de 200 000 tonnes (MINADER, 2010). La pêche est principalement concentrée sur quelques espèces de poissons qui représentent un pourcentage important du poids total de la capture. Plus de 90% de la production sont l'œuvre des pêcheurs artisanaux qui récoltent les poissons sans respect des normes requises (MECND, 2016).

Même si la chasse et la pêche ne fournissent plus suffisamment à cause sans doute de la dégradation de l'environnement consécutive aux méthodes traditionnelles abusives d'exploitation des forêts et des cours d'eaux, elles demeurent les principales sources des produits alimentaires d'origine animale dans la plupart de provinces du pays. Certains chercheurs affirment même que les protéines d'origine animale proviennent essentiellement de la pêche (50%) et de la chasse (25%) et secondairement des insectes (10%) et de l'élevage (15%) (Okitayela, 2010). La pêche constitue un moyen de subsistance pour une bonne partie de la population congolaise.

Ainsi, bien que saisonnière et autrefois considérée comme une pêche alimentaire ou de subsistance, la pêche aux claires appelée localement «Ndobo», qualifiée d'artisanale suite à sa technologie moins développée, fait aujourd'hui l'objet d'insertion dans le circuit de commercialisation des poissons à l'échelle tant nationale qu'internationale.

En outre, même si la République Démocratique du Congo est l'un des réservoirs mondiaux de la biodiversité tant floristique que faunique (PFBC, 2005), l'aquaculture, encore timide, ne s'appuie que sur quelques espèces des Cichlidés (*Tilapias*), des Claridés (Silures ou poissons-chats) et des Channidés du genre *Parachanna* (Mongusu en lingala ou poissons serpents en français) (Mamonekene & Musibono, 2010; Musibono, 2013). Cette aquaculture repose principalement sur la pisciculture familiale de subsistance dans laquelle la culture de *Tilapias* et de poissons chats est prépondérante malgré les potentialités d'élevage d'autres espèces aquacoles (MINADER, 2010; ANAPI, sd). A titre illustratif, la plupart des pisciculteurs identifiés à Kindu et ses environs ne sont axés que sur la Tilapiaculture et un peu sur la Clariaculture. Or, d'autres espèces comme celles des genres *Synodontis* et *Distichodus* sont disponibles mais ne reçoivent pas assez d'attention de la part des éleveurs bien qu'ils peuvent diversifier les espèces piscicoles pour une gestion durable des écosystèmes aquatiques.

Face aux préoccupations précédentes et considérant que la plupart des espèces de poissons élevés au monde sont encore très proches de l'état sauvage (Vandeputte et Prunet, 2002), il devient impérieux de rechercher des solutions durables pour améliorer localement la production en poisson et essayer tant soit peu de pérenniser et d'accroître celles des espèces ayant une potentialité piscicole. En

outre, il est impossible de sauvegarder une biodiversité si elle n'est pas connue.

C'est dans cette optique que cette étude, menée dans le secteur de Bomboma, cherche à inventorier les espèces de poissons capturés par ladite technique de pêche en vue de détecter, à partir des données de la littérature sur le comportement des poissons, celles à potentialité piscicole et ainsi proposer les stratégies de leur domestication.

Pour ce faire, il importe de répondre aux questions suivantes: (a) quelles sont les espèces de poissons capturées par ladite technique de pêche? (b) parmi ces espèces quelles sont celles qui constituent déjà l'ichtyofaune d'élevage dans la contrée et à potentialité piscicoles?

Tacitement, les espèces de poissons capturées par ladite technique de pêche sont celles reprises dans l'Atlas des poissons d'eau douce du bassin du Congo (Mamonekene et Musibono, 2010). En outre la timidité de la pisciculture en RD Congo nous pousserait à considérer que les pisciculteurs de la contrée élèvent les mêmes espèces de poissons que celles données par Musibono (2013).

Considérant que les poissons constituent une ressource naturelle renouvelable (Ngoy *et al.*, 2020) et dans le souci de promouvoir localement la production durable des poissons, l'objectif général de cette étude est de fournir les données sur les ressources locales en poissons sauvages capturés et domesticables.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Localisation

Le Secteur de Bomboma qui constitue le milieu où cette étude a été réalisée est situé dans le territoire de Kungu (figure 1), province de Sud-Ubangi en République Démocratique du Congo.

Le site d'étude est localisé dans le marché primaire de poisson se trouvant dans le groupement de Motuba.

Les coordonnées GPS indiquent que ce milieu se trouve à 2°20' et 3°15' de latitude Nord, 18°40' de Longitude Est et 350m d'altitude.

Selon le Ministère du plan (2005), le climat de cette contrée est en général tropical du type AW suivant la classification de Köppen; particulièrement une zone climatique du type AW3, caractérisée par une saison sèche qui dure 70 à 80 jours. La pluviométrie annuelle est de 1800 mm. La température est de 20,7°C minimum et 30,7°C maximum, la moyenne journalière étant de 25,7°C. L'humidité relative est de 87%. Les moyennes annuelles des températures maxima journalières se situent aux environs de 30°C.

Les sols appartiennent au type des ferrasols sur roches non définies couvrant la moitié du Nord des provinces de l'Ubangi et de la Mongala. Ces sols sont des sables limono-argileux et des limons sableux.

Comme le site est situé dans la cuvette centrale, la végétation forme des forêts ombrophiles sempervirentes, caractérisées par la diversité de leurs essences, la densité de leurs peuplements, la dimension de leurs arbres et l'enchevêtrement des lianes. Les plus rencontrées sont celles à *Gilbertiodendron dewevrei* et à *Brachystegia laurentii*.

Concernant son hydrographie, le site d'étude étant situé dans le territoire de Kungu, ce dernier est traversé par des sources d'eau ayant donné naissance à la rivière Moanda,

Comme dans la contrée, il n'existe pas d'infrastructures modernes de transformation ni de conservation, la conservation des poissons vivants dans les récipients contenant l'eau est pratiquée sur les sites mêmes de production; ces poissons sont vendus sur place au niveau de campements ou acheminés dans le marché proche. Quant aux poissons destinés à la commercialisation dans les marchés éloignés, le fumage est le mode de conservation le plus pratiqué.

Pour réaliser ce travail, la démarche méthodologique a consisté en la technique documentaire, en l'enquête par questionnaire complétée par l'observation in situ.

Collecte des données

La technique documentaire a consisté à parcourir les documentations disponibles se rapportant à l'ichtyologie : les indicateurs sur les poissons de la République Démocratique du Congo pour recueillir les informations pertinentes permettant l'identification des espèces de poissons vendues aux marchés ciblés par cette étude.

L'enquête face-à-face, dans les sites retenus a consisté à interviewer un échantillon des pêcheurs et vendeurs des poissons en procédant par la technique de l'échantillonnage par convenance et en boule de neige c'est-à-dire la sélection des individus est d'abord déterminée par la facilité d'accès, leur disponibilité et leur coopération; ensuite, la rencontre du premier enquêté nous amener à rencontrer d'autres jusqu'à atteindre la taille de l'échantillon voulu (KINKELA, 2013). Nous avons choisi la méthode d'enquête par échantillonnage non probabiliste en faisant appel à des répondants volontaires suite au manque d'une base de sondage sûre. Elle nous a servi à sélectionner des unités pour des interviews approfondies.

Pour faciliter les interviews, en fonction de types d'acteurs ciblés par cette étude (pêcheurs et vendeurs des poissons), deux questionnaires préalablement établis (renfermant les différentes variables sur les caractéristiques des poissons) ont été administrés aux enquêtés sélectionnés par interview face à face enquêteur-enquêté.

Enfin, l'identification des poissons à l'espèce nécessite presque toujours la capture et la manipulation des spécimens. La clé est basée sur les critères morphologiques les plus évidents possibles et vise l'identification rapide des spécimens (DESROCHES, 2010). Pour cette étude, la technique a consisté, d'une part à collecter sur terrain, les spécimens vivants des espèces ichtyologiques citées par les enquêtés, et d'autre part à identifier systématiquement

ces espèces par l'observation directe des photographies proposées dans la littérature sur leurs caractéristiques morphologiques et phénotypiques servant de clés d'identification (Teugels et Adriaens, 2003; Musibono, 2013; MRAC, 2014; Kowozogono *et al.*, 2021).

Traitement statistique des données

Pour les espèces de poissons capturés, le répertoire systématique des poissons suivant la classification binominale de Liné (familles, genres et espèces) en y ajoutant les noms vernaculaires donnés par les enquêtés), leur disponibilité leur appréciation organoleptique et leur taille. L'abondance relative d'une famille correspond au nombre d'espèces d'une même famille, pondéré au nombre total d'espèces inventoriées. Elle a été déterminée à l'aide de la formule ci-après:

$$\text{Abondance relative (\%)} = (\text{Nombre d'espèces d'une même famille}) / (\text{Nombre total d'espèces identifiées}) \times 100$$

La compilation des informations recueillies a été faite selon la structuration de la fiche du questionnaire d'enquête et présentées sous forme des fréquences absolues. Grâce au tableur Excel, les résultats sur les fréquences relatives des modalités de différentes variables d'étude ont été déterminés sous forme de pourcentage selon la formule suivante:

$$\text{Fréquence relative (\%)} = \text{fréquence absolue} / \text{taille de l'échantillon} \times 100$$

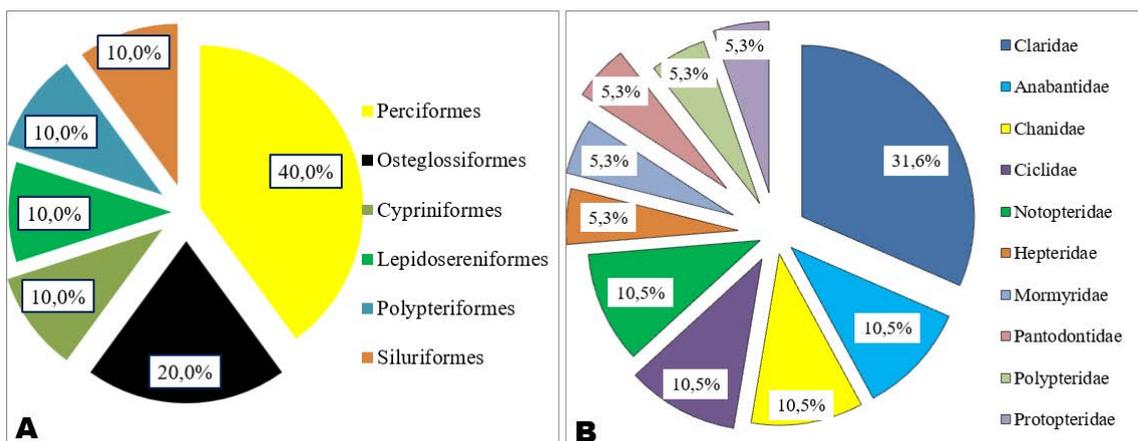
Des graphiques pour l'illustration de certaines variables sont générés par le tableur Microsoft Excel (xlsx).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le répertoire des espèces de poissons capturées et identifiées aux lieux de la pêche et dans les marchés primaires où elles sont vendues ainsi que les indicateurs relatifs à leur disponibilité et leur appréciation sont présentés dans le tableau 2.

Au regard de résultat du tableau 2, il se dégage au total 19 espèces réparties en 13 genres, 10 familles et 6 ordres selon la clé d'identification donnée par Teugels et Adriaens, (2003) et reprise par Musibono (2013).

Au regard des résultats consignés dans la figure 2a, nous remarquons que l'ordre de *Perciformes* est le mieux représenté (soit 40% de familles). Il compte quatre familles dont *Anabatidae*, *Channidae*, *Cichlidae* et *Pantodontidae*. L'ordre des *Osteoglossiformes* (soit 20% de familles)



compte deux familles, à savoir: la famille de *Mormyridae* et la famille de *Notopteridae*. Les autres ordres (*Cypriniforme*, *Lepidoseréniforme*, *Polypteriforme* et *Siluriforme*) ont une famille chacun (soit 10% de familles).

A la lecture des résultats repris dans la figure 2b, fort est de constater que la famille de *Clariidae* est la mieux représentée avec cinq espèces (soit 31,6 % d'espèces) dont *C. buthypogon*, *C. gariepinus*, *C. sp.* et *C. sp.*, *C. sp.* Les familles d'*Anabantidae*, *Channidae*, *Cichlidae* et *Notopteridae* sont chacune représentée par deux espèces (soit 10,5% d'espèces). Les autres familles comptent chacune une espèce (soit 5,3% d'espèces).

Au regard de ces résultats, la supériorité spécifique des *Clariidae* (soit 31,6%) corrobore les indications antérieures selon lesquelles la proportion élevée de *Siluriformes* seraient due à leur abondance dans le plan d'eau africain d'une manière générale et dans celui du bassin du Congo en particulier où ils prédominent; à titre illustratif avec 28,6% de la richesse ichtyologique de Pool Malebo (Fleuve Congo) suivi des *Osteoglossiformes* (19,8%) (Kowzogono et al., 2022).

Wembodinga et al., (2013 et 2014) faisant un aperçu sur l'ichtyofaune de la province de Sankuru constatent que dans la rivière Lokenye, la famille de *Clariidae* compte deux genres dont *Clariallabes* et *Clarias*, et trois genres dont *Clariallabes*, *Channallabes* et *Clarias* dans la rivière Lomami. Ce dernier genre compte dans le deux écosystèmes aquatiques quatre espèces dont *C. buthypogon*, *C. gariepinus*, *C. platycephalus* et *C. angolensis*.

Nyongombe (1993) travaillant sur les poissons de la rivière Masendula dans la région de Kisangani, note une nette prévalence de la famille de *Clariidae* dans laquelle, il identifie 3 genres: *Channallabes*, *Clariallabes* et *Clarias*. C'est dans ce dernier genre qu'il récence 7 espèces parmi lesquelles, nous citons: *Clarias pachynema*, *Clarias buthypogon*, *Clarias angolensis*, *Clarias gabonensis*, *Clarias platycephalus*, *Clarias camerunensis* et *Clarias gariepinus*.

En rapport avec les données du tableau 1, l'analyse de la littérature sur la pisciculture a révélé que 6 espèces (soit 31,6%) font déjà l'objet d'élevage parmi lesquelles, du point de vue économique, 3 espèces sont couramment élevées en République Démocratique du Congo à savoir *Para-*

Tableau 2: Check-list des poissons capturés par la pêche aux claies du type «Ndobob» et indicateurs de leur disponibilité, de leur appréciation et de l'ichtyofaune d'élevage dans le Secteur de Bomboma en 2021

Ordre	Famille	Genre	Espèce	Noms vernaculaires	Disponibilité (%)			Appréciation (%)		
					D	MD	R	TA	A	MA
Perciformes	Anabantidae	Ctenopomum	<i>C. acutirosis</i>	Ekekete (Boba),	44,2	15,3	38,5	25,0	18,8	56,2
			<i>C. ocellatum</i>	Ebundu (boba), Ekolokoto (lingala)	46,2	23,0	30,8	23,5	23,5	52,9
	Chanidae	Parachanna	<i>P. insignis</i> **	Motola (Boba), Mongusu (Lingala)	0,0	50,0	50,0	73,7	26,3	0,0
			<i>P. obscura</i> *	Mokulu (Boba), Mongusu (Lingala)	0,0	60,0	40,0	73,7	26,3	0,0
	Ciclidae	<i>Microctenopoma</i>	<i>M. nanum</i> *	Mokenge (Boba), Kenge (Lingala)	57,2	14,3	28,5	51,7	31,0	17,2
		<i>Hemichromis</i>	<i>H. elongatus</i> *	Likile (Boba), Kpakala (Ngbaka)	30,0	30,0	40,0	26,7	13,3	60,0
	Pantodontidae	Pantodon	<i>P. bruchlolezi</i>	Eyanzu (Boba), Papillon (français)	0,0	25,0	75,0	10,0	50,0	40,0
Osteoglossiformes	Mormyridae	Cyphomyrus	<i>C. weeksii</i>	Mobongo (Boba), Mbongo (Lingala)	62,5	37,5	0,0	61,5	15,4	23,1
	Notopteridae	<i>Papyrocranus</i>	<i>P. after</i>	Lilembe (Boba et Lingala)	0,0	60,0	40,0	25,0	62,5	12,5
		<i>Xenomystus</i>	<i>X. nigri</i>	Lipelele (Boba), Lisanola (Lingala)	25,0	75,0	0,0	0,0	83,3	16,7
Siluriformes	Clariidae	Clarias	<i>C. bathypogon</i>	Mbeli (Boba)	66,7	33,3	0,0	33,3	45,5	21,2
			<i>C. gariepinus</i> **	Lipoto (Boba),	35,7	42,9	21,4	72,1	25,6	2,3
			<i>C. sp</i> ***	Okolo (Boba)	40,6	45,1	14,3	93,8	6,2	0,0
			<i>C. sp</i> ***	Monzumbe (Boba)	71,2	28,6	0,0	61,4	36,4	2,2
			<i>C. sp</i> ***	Limongo (Boba)	14,3	64,3	21,4	90,5	9,5	0,0
	<i>Clariallabes</i>	<i>C. sp</i>	Motepa (Boba)	42,8	28,6	28,6	63,6	18,2	18,2	
Cypriniformes	Hepteridae	Hepsetus	<i>H. odoe</i>	Nwenge (Boba), Mwenge (Lingala)	0,0	25,0	75,0	16,7	83,7	0,0
Polypteriformes	Polypteridae	Polypterus	<i>P. omatus</i>	Mokonga (Boba), Kongo (Lingala)	0,0	50,0	50,0	14,3	71,4	14,3
Lepidoseréniformes	Protopteriidae	Protopterus	<i>P. annectens</i> **	Nzombo (Boba et Lingala)	20,0	80,0	0,0	45,5	54,5	0,0

Légende: *Espèce faisant partie de l'ichtyofaune piscicole en République Démocratique du Congo et ailleurs;

Espèce faisant partie de l'ichtyofaune piscicole dans la contrée ciblée par l'étude (selon les différentes observations des étangs piscicoles et les entretiens avec les enquêtés); *Espèce à potentialité piscicole dans la contrée ciblée par l'étude.

D= Disponible; MD= Moins Disponible; R = Rare; TA = Très Apprécie; A = Apprécie; MA = Moins Apprécie.

channa obscura (Gunther, 1861), *P. insignis* (Sauvage, 1884) et *Clarias gariepinus*). Ce qui traduit la timidité de l'aquaculture congolaise qui ne s'appuie que sur quelques espèces des *Cichlidae* (Tilapias), des *Claridae* (silures ou poissons-chats) et des *Channidae* du genre *Parachanna* (poissons serpents) (Musibono, 2013).

Parmi ces 19 espèces répertoriées, 9 (soit 47,4%) sont très appréciées, 6 (soit 31,6%) sont appréciés, 3 (soit 15,8%) sont moins appréciées par les consommateurs et une autre restante (soit 5,3%) est indifférente. Cinq de ces 9 espèces très appréciées ne font pas encore l'objet d'élevage et parmi lesquelles 3 (Figure 3) présentent des intérêts piscicoles eu égard à leur morphologie.

Ainsi, considérant d'une part que, selon le type d'équipement de pêche utilisé et le lieu de capture, la pêche exerce des pressions de sélections sur la taille, l'âge et la maturité des poissons conduisant à l'épuisement des ressources halieutiques avec de nombreux impacts environnementaux (Kurien, 2000) et d'autre part en se focalisant sur les espèces non encore domestiquées: leurs observations morphologiques, leurs appréciations organoleptiques (allant de 63,6 à 98,3% de citations) et leurs disponibilités (allant de 14,3 à 42,2% de citations); trois espèces de la famille des *claridae* (Figure 3) sont potentiellement piscicoles dont l'une est du genre *Clariallabes* en l'occurrence *Clariallabes sp.* (Motepa en Boba ou Mongbangele en Lingala) et deux autres sont du genre *Clarias* à savoir *C. sp.* (Okolo en Boba ou Ngolo en Lingala) et *C. sp.* (Limongo en Boba ou Ngolo en Lingala). D'où la nécessité de procéder à leur domestication et élevage en étang en vue d'étudier leurs performances zootechniques et économiques. Ce qui pourrait permettre de d'enrichir localement l'ichtyofaune piscicole en nouvelles espèces sauvages et ainsi diversifier la production.

La proposition de ces trois espèces pour la pisciculture est appuyée d'une part par le fait qu'elles comptent parmi celles très appréciées par les consommateurs et d'autre part

par les bons résultats obtenus par nombreux chercheurs dans l'élevage d'autres espèces de *Claridae* notamment *Clarias gariepinus* et *C. ngamensis* en Afrique (Viveen *et al.*, 1987; Lacroix, 2004; Sangawa, 2020; Mfwana *et al.*, 2016; Ipungu *et al.* (2019).

En effet, nombreux études se sont focalisées sur *C. gariepinus*, espèce d'eau douce à tendance carnivore (tendance alimentaire à teneur élevée en protéines, accepte les aliments artificiels ainsi que les vers, les asticots ...). Il est doté d'un système de respiration aérienne qui lui permet de survivre dans une eau très pauvre en oxygène et il résiste bien aux manipulations (Mamonekene et Musibono, 2010; Musibono, 2013; Pruvot, 2018). Sa croissance est exceptionnelle: 3 g/individu/jour et plus; sa taille maximale observée à Bouaké est de 1,2 mètres (Lacroix, 2004). Selon Ipungu *et al.* (2019), au bout de 5 mois d'étude, avec des individus ayant un poids initial de 30 g et 22 cm de longueur corporel pour *C. gariepinus* et 30 g de poids initial et 20 cm de longueur corporel pour *C. ngamensis* ils ont obtenu un poids moyen de 82 g et 29 cm pour *C. gariepinus* et 60 g et 25 cm pour *C. ngamensis*. Selon Viveen *et al.* (1987), en récoltant le poisson 24 semaines après la mise en charge d'un are d'étang d'eau stagnante avec des 1000 *C. gariepinus* (de 1-3 g), il faut s'attendre aux résultats suivants: poids moyen 200 g, taux de survie 50% et production de 100 kg/are avec un quotient nutritif relatif d'environ 1,4. La même source indique que dans l'élevage mixte poisson-chat et tilapias avec complément alimentaire à base de tourteaux de coton, la récolte effectuée 25 semaines après la mise en charge d'un are d'étang d'eau stagnante avec 300 *C. gariepinus* (de 1-3 g) et 200 *Oreochromis niloticus* (de 5-15 g), a donné pour le poisson-chat: un poids moyen de 185 g, un taux de survie 65% et un production 36 kg/are; pour le Tilapia: un poids moyen de 80 g, taux de survie 103% (ce qui indique que le poisson-chat n'a pu contrôler complètement la reproduction du tilapia) et une production de 16,5 kg/are.



Figure 3: Espèces à potentialité piscicole: A. *Clariallabes sp.* (Motepa en Boba ou Mongbangele en Lingala) ; B. *Clarias sp.* (Okolo en Boba ou Ngolo en Lingala); C. *Clarias sp.* (Limongo en Boba ou Ngolo en Lingala)

CONCLUSION

Cette étude, menée dans le secteur de Bomboma, cherchait à inventorier les espèces de poissons capturées par la pêche aux claies du type «ndobo» en vue de détecter celles à potentialité piscicole dans le souci de promouvoir localement la production durable des poissons en fournissant les données sur les ressources locales en poissons sauvages capturés et domesticables. Les résultats obtenus indiquent que seulement 6 sur 19 espèces de poissons identifiées (soit 31,6%) font déjà l'objet d'élevage parmi lesquelles 3 sont couramment élevées en République Démocratique du Congo, en l'occurrence *Parachanna obscura* (Gunther, 1861), *P. insignis* (Sauvage, 1884) et *Clarias gariepinus* (Buchell, 1822). Les observations morphologiques, les indicateurs d'appréciations organoleptiques et de la disponibilité poussent à considérer que trois espèces sont potentiellement piscicoles dont l'une est du genre *Clariallabes sp.* (Motepa en Boba ou Mongbangele en Lingala) et deux autres – à identifier binominale – sont du genre *Clarias* à savoir *C. sp.* (Limongo en Boba ou Ngolo en Lingala), et *C. sp.* (Okolo en Boba ou Ngolo en Lingala). D'où la nécessité de procéder à leur domestication et élevage en étang en vue d'étudier leurs performances zootechniques et économiques. Ce qui pourrait permettre d'enrichir localement l'ichtyofaune piscicole en nouvelles espèces sauvages et ainsi diversifier la production.

RÉFÉRENCES

- Bosanza J.B., Mongeke M., Bobuya P., Bedi B., Maboga S., Bongo G., Ngbolua K.N. (2018). Effect of Nourishment and Organic Fertilization on the Growth of *Parachanna insignis* (Sauvage, 1884) (Channidae) Bred in no-Drained Ponds in Democratic Republic of the Congo. *International Journal of Animal and Biology*, 4: 32–38.
- Bosanza, Z.J.B., Mongeke, M.M., Bobuya N.P., Bedi N.B., Mukendi B., Manzongo B.D., Djolu D.R., Ngbolua K.N. (2017). Effet de nourrissage et de la fertilisation sur la croissance des *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (*Cichlidae*), en étangs semi-vidangeables dans le Sud Ubangi (République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 33: 162-176.
- Bosanza, Z.J.B., Mongeke, M.M., Dongo P.E., Bobuya N.P., Zwave K.N., Ngbolua K.N. (2019). Effets de nourrissage et de la fertilisation minérale sur la croissance du poisson serpent (*Parachanna insignis*) en étang. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 7:52-57.
- CAID (2017). Territoire de Kungu. Fichier du territoire (mise à jour le 31 mars 2017). Cellule d'Analyses des Indicateurs de Développement, Primate, République démocratique du Congo. <https://www.caid.cd>.
- Desroches J-F. (2010). Clé d'identification pratique des poissons d'eau douce du Québec. Cégep de Sherbrooke, 80p.
- Ipungu L., Kayuma M., Labe N.N., Malungu B., Binemo K., Ompey I., Ilunga N.B., Numbi, M., Kidinda M., Kapemba K., Ngoy K. (2019). Étude comparative de la croissance de *Clarias gariepinus* et *Clarias ngamensis* en élevage semi-intensif de la ferme Mwema à Lubumbashi. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41: 6805-6809.
- kinkela, S. (2013). Techniques de la collecte des données. Kinshasa, Notes de cours 2^{ème} grade Économie Agricole, Faculté de Sciences Agronomiques, UNIKIN, 35p. (Inédit).
- Kowozogono, R.K., Ngbolua, K.N., Lusasi, W.S., Inkoto, C.L, Zwa T.G., Iteku, J.B. (2021). Inventaire systématique des poissons frais vendus dans le marché Central de Yakoma (Province du Nord Ubangi) en République Démocratique du Congo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 9:730-736.
- Kpogue D.N.S., Mensah, G.A., Fiogbe E.D. (2013). A review of biology, ecology and prospect for aquaculture of *Parachanna obscura*. *Reviews Fish Biology and Fisheries*, 23: 41-50.
- Kurien J. (2000). 14 mesures pour le développement durable et équitable de la pêche artisanale à petite échelle. *La lettre d'information trimestrielle du groupe Pêche et Développement*, 52: 2-4.
- Lacroix E. (2004). Pisciculture en zone tropicale. GFA TeraSystems, Hambourg, Allemagne, 225p. <http://www.gfa.group.de>.
- Mamonekene V., Musibono D. (2010). Atlas des poissons d'eau douce du bassin du Congo.
- Mfwana I.D., Kasongo T.G., Ndele, M.B., Katema, M.B., Chocha M.A. (2016). Caractérisation et identification de deux espèces du genre *Clarias* (*C. gariepinus* et *C. ngamensis*) dans la région de Lubumbashi, RD Congo. *Int. J. of Innov. and Appl. Stud.*, 15: 760-767.
- MINADER (2010). Stratégie sectorielle de l'agriculture et du développement rural. RDC, 110p.
- Ministère de l'environnement, conservation de la nature et développement durable (2016). Stratégie et plan d'action nationaux de la biodiversité (2016-2020). RDCongo.
- Ministère du Plan (2005). Monographie de la Province de l'Equateur. DSRP, UPPE-SRP, CP-SRP/Equateur, RDC; 110p.
- MRAC (2014). La pêche et l'aquaculture en Afrique. Formation "FishBase et la Taxinomie des Poissons". Musée royal de l'Afrique centrale (MRAC, Tervuren).
- Mujinga W., Lwamba J., Mutala S., Hüsken S.M.C. (2009). Inventaire des espèces de poisson disponibles sur les marchés urbains de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.
- Musibono E.D. (2013). Cours de gestion des ressources aquatiques. 1^{er} et 2^{ème} grades faune et flore, Faculté des Sciences Agronomiques; UNIKIN. 85p. (Inédit).
- Nagifi D.V., Omasombo T.J., Guilome L., Edwine S., Krawczyk J., Laghmouchm (2013). Sud-Ubangi: Bassins d'eau et espace agricole. Bruxelles, 450p. www.samsa-editions.be
- Ngoy N.C., Doma T.A., Mulungu S.H., Kitenge K.G., Manga T. J. (2020). Inventaire de la Biodiversité Ichtyologique du Fleuve Congo à Kindu (Partie Lualaba). *Congosciences*, 8:104-110.
- Nyongombe U.N.F. (1993). Contribution à l'étude écologique et biologie des poissons de la rivière Masendula (affluent de la Tshopo) à Kisangani. Thèse Doctorat, IFA-Y'bi, 175p.
- Okitayela O. (2010). Limnologie, ichtyologie et pisciculture. Notes de cours 2^{ème} graduat. UNIKIN, 195p. Inédit.
- PFBC (2005). Les forêts du bassin du Congo. Évaluation préliminaire. CIRAD, COMIFAC, USAID, World Resources Institute, Université du Maryland; 256p.
- Pruvot E. (2018). Comment bien produire le poisson chat. Afrique Agriculture, <https://www.afrique-agriculture.org>.
- Raven P.H., Berg, L.R., Hassenzähl D.M. (2009). Environnement. Bruxelles: De Boeck, 687p.
- Sangawa M.H. (2020). Performances de croissance juvénile de *Clarias gariepinus* élevés en happas à Kindu. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8(4).
- Teletchea F. (2015). Les poissons d'aquaculture: un groupe d'espèces en cours de domestication. Université de Lorraine – UR AFPA, Nancy.
- Teugels G.G., Adriaens D. (2003). Taxonomy and phylogeny of Clariidae: an overview. In Arratia G., Kapoor B.G., Chardon, M. and Diogo, R. (eds): Catfishes: 465-487.
- Vandeputte M., Prunet P. (2002). Génétique et adaptation chez les poissons: domestication, résistance au stress et adaptation aux conditions de milieu. *INRA Prod. Anim.*, 15: 365-371.
- Viveen W.J.A.R., Richter C.J.J., van Oordt P.G.W.J., Janssen J.A.L., Huisman E.A. (1985). Manuel pratique de pisciculture du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*). Ministère des Affaires Étrangères, La Haye, Pays-Bas.
- Wembodinga N.J., Ambale Y.I., Nyongombe U.N.F. (2013). Aperçu sur l'ichtyofaune du Sankuru (cas de la rivière Lokenye dans le territoire de Lodja). *Revue Shalom de Développement*, 1: 37-46.
- Wembodinga N.J., Pongombo S.C., Nyongombe U.N.F. (2014). Étude sur l'ichtyofaune du Sankuru: cas de la rivière Lomami dans le territoire de Katakombé. *Revue Shalom de Développement*, 2:1-17.
- Zanga N. (2013). Towards Aquatic Assessment of Lake Tumba, DR Congo. Unpublished Dissertation for MSc degree, Department of Aquatic Sciences and Assessment, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 46 pp.

Commercialisation des poissons capturés par la pêche aux claies au Sud-Ubangi, République démocratique du Congo

J. B. BOSANZA¹, J. BOKOLO¹, T. ONADAMBO², N. NDOMBA³, K.N. NGBOLUA⁴

(Reçu le 18/01/2023 Accepté le 27/02/2023)

Résumé

Une étude relative à la commercialisation des poissons capturés par la pêche aux claies a été menée entre août 2021 et novembre 2022 dans le Sud-Ubangi, en République démocratique du Congo pour évaluer le niveau de rentabilité du commerce en gros. Les résultats ont montré que le fumage est le mode de conservation le plus pratiqué pour les poissons destinés à la commercialisation dans les marchés éloignés. Le coût de commercialisation en gros d'un kilogramme de poissons fumés de Bomboma à Zongo est en moyenne de 6222 FC/Kg (± 1344 FC) soit 2,8 \$/kg (au taux de 1\$ = 2200 FC). Ce commerce génère un profit moyen de 1600 FC/Kg de poissons (± 1905) (équivalent de 0,73 \$/kg). Les plus gros bénéfices sont réalisés par les grossistes dont les gains nets sont compris entre 5003 FC/kg et 6060 FC/kg. Mais cette catégorie ne représente que 4% des répondants. Le prix de vente accuse une variation à la hausse de 3060 FC le kg (± 1898 FC) (équivalent de 1,39 \$), soit un taux d'accroissement moyen de 75% ($\pm 57,5\%$) du prix de vente bord capture qui est en moyenne de 4762 FC/kg (± 1263) soit 2,16 \$. Cette augmentation n'est pas profitable à tous les grossistes car 26,5% d'entre eux enregistrent une rentabilité négative suite au coût élevé de transport. En conséquence, le revenu brut engendrés par cette pêche n'est pas équitablement répartis entre les deux premiers maillons de ladite filière: la part revenant à la capture (pêcheur) représente en moyenne 62,9% ($\pm 18,2\%$) contre 37,1% ($\pm 18,3\%$) pour la vente en gros, en majeure partie dominée par le coût de transaction. Autrefois considérée comme une pêche de subsistance, elle constitue une source non négligeable des revenus et peut faire l'objet d'insertion dans le circuit de commercialisation à l'échelle tant nationale qu'internationale.

Mots clés: Répartition, Revenu, Claies, Halieutique, Profitabilité, Bomboma

Marketing of fish caught by enclosure fishing in South Ubangi, Democratic Republic of the Congo

Abstract

A study relating to the marketing of fish caught by fishing with racks was carried out between August 2021 and November 2022 in Sud-Ubangi province, in the Democratic Republic of Congo to evaluate the level of profitability of the wholesale trade. The results showed that the smoking is the most practiced method of conservation for fish intended for sale in distant markets. The cost of wholesale marketing of one kilogram of smoked fish from Bomboma to Zongo is on average 6,222 FC/kg ($\pm 1,344$ FC) or 2.8\$/Kg (at the rate of 1\$=2,200 FC). This trade generates an average profit of 1,600 FC/kg of fish ($\pm 1,905$ FC) (equivalent to 0.73 \$/Kg). The biggest profits made by wholesalers whose net earnings are between 5,003 FC and 6,060 FC/kg. but this category represents only 4% of respondents. The selling price shows an upward variation of 3,060 FC per kg ($\pm 1,899$ FC) (equivalent to \$1.39) showing an average increase of 74.7% ($\pm 57.5\%$) in the selling price at catch site which is on average 4,762 FC/kg ($\pm 1,263$ FC) or 2.16\$. This increase is not beneficial to all wholesalers because 26.5% of them record negative profitability due to the high cost of transport. So the gross income generated by this fishery is not equitably distributed between the first two chain links of the sector: the share going to the capture (fisherman) represents on average 62.9% ($\pm 18.2\%$) against 37.1% ($\pm 18.3\%$) for the wholesale, mainly dominated by the transaction cost. Thus, once considered as subsistence fishing, this seasonal activity is a significant source of income and can therefore be included in the marketing circuit both nationally and internationally.

Keywords: Distribution, Income, Racks, Fishery, Profitability, Bomboma

INTRODUCTION

La pêche désigne l'activité qui consiste à capturer les organismes aquatiques. Elle englobe même la gestion, la transformation et la commercialisation des poissons. Ainsi, le produit de la pêche peut être inséré dans le système de commercialisation à l'échelle tant nationale qu'internationale. Par analogie avec la culture des végétaux, la pêche peut être comparée à la cueillette tandis que la pisciculture représente la culture d'un champ. La pêche traditionnelle a toujours été une activité de cueillette où on prélève du poisson sans contribuer à sa régénération. La pêche est une importante source d'aliment pour l'humanité. Elle assure, en outre, un emploi et procure des bénéfices économiques à ceux qui la pratiquent (Adjanke, 2011). Elle est une régulatrice de l'économie de plusieurs pays et source de diversification alimentaire en matière de protéines animal car le poisson demeure la protéine la plus accessible et la moins coûteuse pour les populations (Ipungu *et al.*, 2019).

Ceci étant, le poisson est une source importante de nutriment, vitamines et minéraux et pris uniquement avec certains produits végétaux, il constitue un aliment complet (Adjanke, 2011). Les poissons constituent donc des sources non négligeables de protéines (au même titre que la viande), de revenus et de travail soutenant ainsi les ménages et faisant partie de nœuds d'éclosion du développement (Kpogue *et al.*, 2013). Ils sont une opportunité d'affaires tant pour la pêche que pour l'aquaculture et l'industrie y relative (Bosanza *et al.*, 2019).

Selon Kato-Kale (2009), dans l'exercice des fonctions qui les caractérisent, les agents économiques effectuent une multitude d'opérations dans chacune desquelles on trouve toujours deux aspects indissociables: toute dépense faite par un agent constitue une recette pour un autre agent, et vice versa. De cette évidence, il résulte que toute opération économique implique une relation et le circuit économique est engendré par la réunion de toutes ces relations, étant entendu que l'on ne s'intéresse qu'aux relations intervenant entre agents qui appartiennent à des catégories différentes.

¹ Institut Supérieur d'Études Agronomiques de Bokonzi, Gemena, Sud-Ubangi, RD Congo

² Faculté des Sciences Agronomiques, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

³ Faculté des Sciences Agronomiques, Institut Supérieur de Développement Rural de Kindu, RD Congo

⁴ Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

En effet, au sortir d'une unité quelconque de production, une partie de la production est destinée à l'autoconsommation et une autre partie est commercialisée. La commercialisation couvre toutes les opérations depuis la fabrication ou la production d'un produit jusqu'à sa destruction ou son utilisation finale par les consommateurs (Ad De Veld, 2005; Nkikela, 2013; Mpanzu, 2015).

Ainsi, dès que la production et la consommation deviennent des maillons distincts de la filière, chacun ayant ses propres acteurs, alors la commercialisation s'installe inéluctablement comme troisième maillon et elle devient un passage obligé entre les consommateurs et les producteurs: sans eux, il peut y avoir une pénurie artificielle des produits qui ne seront pas disponibles pour les consommateurs, même s'ils sont abondants au niveau de la production (Mpanzu, 2012). Composé d'un ensemble des canaux ou «intermédiaires» utilisées pour distribuer un produit, le circuit de distribution traduit alors l'itinéraire parcouru par un produit à son stade de consommation du producteur au consommateur. Sa connaissance est nécessaire car les coûts de distribution sont fonction de sa longueur: plus le circuit s'allonge, plus les coûts de distribution augmentent (Kinkela, 2013a). Biloso (2008) ajoute que, pour favoriser la commercialisation, l'approche filière peut être très utile car elle permet d'avoir une vue d'ensemble des principaux intervenants, ainsi que de leurs interactions, dans toute la chaîne de commercialisation. Il est évident que dans le programme d'amélioration de la commercialisation, le critère essentiel devrait être celui de l'efficacité économique, celle-ci atteint son maximum lorsqu'on arrive à faire passer le produit du producteur au consommateur au moindre coût possible tout en assurant le service indispensable aux deux parties (Mpanzu, 2015). Tel devrait être le cas de la commercialisation des poissons dans la Province du Sud-Ubangi.

En effet, parmi les techniques de pêche qualifiée de coutumière suite aux matériels utilisés et à leur technologie moins développée (Bolakonga, 2017), la pêche aux claies appelée «Ndob» dans le secteur de Bomboma, est pratiquée par un bon nombre de pêcheurs se trouvant surtout dans le groupement de Lokombo, Motuba, Nzumbele et Bokonzi. Cette pêche périodique permet d'attraper un nombre varié d'espèces de poissons dominés par celles de la famille de Claridae communément appelés «Ngolo» (en lingala, langue vernaculaire en RDC). Autrefois considérée comme une pêche alimentaire ou de subsistance, elle fait aujourd'hui l'objet d'une importante activité dans le circuit de commercialisation des poissons à l'échelle tant nationale qu'internationale. Ainsi, le poisson, surtout transformé et essentiellement destiné à la vente fait l'objet d'un circuit de distribution très complexe, faisant intervenir de multiples intermédiaires et spécifiques selon chaque type de produit. Ceci dévoile sans doute que cette pêche constituerait une source non négligeable des revenus pour les acteurs qui s'en occupent. Autrement dit, la filière halieutique occuperait une place importante parmi les sources de revenus des ménages des pêcheurs dans le secteur de Bomboma et de toutes les catégories de distributeurs des poissons au niveau provincial et national; voire international.

Cependant, en République Démocratique du Congo, l'enclavement des zones de production prive les populations de l'accès aux échanges et les distances séparant les

zones rurales de centres urbains d'importante consommation deviennent le cadre d'activité d'une multitude d'intermédiaires dont la structure, le comportement et les performances en termes de gestion de l'information et de pouvoir de marchés, accès aux services des marchés, coûts de transactions et marges réduisent la profitabilité des producteurs (Mastaki, 2006).

Ainsi, cette étude se charge de répondre aux préoccupations de savoir si cette activité est profitable aux différents maillons de la filière halieutique et si le revenu engendré est équitablement réparti entre ces maillons (de la capture à la distribution).

D'emblée, nous pensons que cette activité est rentable financièrement et que le revenu brut engendré par cette filière halieutique n'est pas équitablement réparti entre les différents maillons, de la capture à la distribution.

Cette étude analyse la commercialisation des poissons et s'assigne comme objectif de fournir aux acteurs qui y sont intéressés, les informations sur les coûts et revenus engendrés par la filière de production halieutique par la pêche aux claies appelée localement «dob» en vue d'estimer le niveau de la profitabilité de ce maillon.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

Le secteur de Bomboma se trouve dans le Territoire de Kungu, Province du Sud-Ubangi en République Démocratique du Congo. Selon le GPS, le milieu d'étude est compris entre 2°20' et 3°15' de l'altitude Nord et 18°40' longitude Est. Il est composé de seize groupements parmi lesquels Bokonzi, Motuba et Nzumbele qui constituent les sites de cette étude. Une fraction importante de la population active, notamment dans les groupements concernés par cette étude se livre aussi aux activités des pêches périodiques entre autres la technique de pêche appelée «Ndob», les filets maillants, les sennes, les filets dormants, les hameçons, les nasses et claies. Certains pêcheurs, notamment les femmes, pratiquent l'écopage des étangs naturels et parfois l'empoisonnement des eaux (Ministère de Plan, 2005).

Dans les marchés primaires [Motuba (2°21'50"N et 18°35'37" E), Nzumbele (2°19'52.7"N, 18°39'26"E et Liboko] et secondaire [Bokonzi (2°24'41.2"N et 18°38'26"), Saba-Saba], les poissons sont vendus à l'état frais (poissons vivants) ou fumés; en détail (tête par tête ou en colis appelé localement «Mopiko») ou en unités de vente de contenances diverses et non standardisées (généralement dans les marmites, les bassins, les paniers, etc.). Les collecteurs, après achat, rassemblent les poissons dans des sacs d'un poids variant de 53 à 60 kg avec une moyenne 56,2 kg ($\pm 2,5$ kg) pour former le lot de voyage. Ces poissons sont évacués vers les marchés de consommation dans les grandes agglomérations au niveau provincial (principalement: Dongo, Gemena et Zongo), national (Kinshasa, Mbandaka) et international (Bangui en République Centrafricaine et Brazzaville en République Populaire du Congo).

Le marché de Dongo, situé dans le secteur de Dongo, se trouve à 52 km du lieu où se pratique cette pêche, à la frontière entre la République Démocratique du Congo et la République Populaire du Congo. La ville de Gemena, à environ 250 km du lieu de production, est le chef-lieu de la

province du Sud-Ubangi. Elle se situe à 3°17' de l'attitude Nord et 19°17' longitude Est à plus ou moins 500 m d'altitude. Quant au marché de Zongo, il se trouve à environ 360 km du site de capture. C'est une ville frontalière entre la République Démocratique du Congo et la République Centrafricaine; en face de Bangui (la capitale de la République centrafricaine), séparée par la rivière Ubangi large d'1 km et ayant les coordonnées géographiques suivantes: 4°21' Nord et 18°36' Est, 365 mètres d'altitude (Nagifi *et al.*, 2013).

Matériel d'étude

Le matériel de cette étude est constitué principalement de poissons de la famille des Claridae, appelés communément et localement «Ngolo» (plus capturés que ceux des autres familles), des pêcheurs et vendeurs qui sont impliqués dans la filière halieutique relative à la pêche aux claies ou «Ndob» pratiquée dans le secteur de Bomboma. En effet, la technique de la pêche du type «Ndob» (appellation en langue vernaculaire) est une sorte de la pêche aux claies qui couvre une période d'environ 6 mois et qui consiste à la construction d'un enclos en forme de guitare, possédant en aval deux ouvertures munies des dispositifs particuliers pour permettre l'entrée des poissons et empêcher leur sortie. La partie en aval de la structure est prolongée d'un col étroit dont l'extrémité rétrécis est bien aménagée pour servir de pêcherie. Les poissons y entrent la nuit et la récolte se fait la journée à l'endroit le moins profond à l'aide d'équipement varié comprenant le javelot ou «Mosuki» et les épousettes de formes variables appelées localement «Mwanya et Etokéle» (Bosanza *et al.*, 2023).

Méthode

Comme l'étude concerne la commercialisation en gros des poissons capturés par la pêche aux claies du type «Ndob» pour évaluer le niveau de la rentabilité de chaque maillon de cette filière halieutique, nous avons recouru à la méthode analytique ou par filière, utilisée pour la première fois par Jefferys en Angleterre, recommandée par la FAO pour nos pays et en vigueur de nos jours. C'est une méthode de mesure par laquelle le produit est suivi au cours de son acheminement du producteur au consommateur (ou utilisateur final) (Mpanzu, 2012). Cette méthode suppose la conduite d'une enquête qui consiste à suivre tout en relevant tous les frais encourus, les dépenses réellement effectuées par les intervenants suite à l'exercice des activités de fonction de commercialisation nécessaire à l'acheminement de la denrée agricole du producteur au consommateur.

Ceci étant, après avoir parcouru les documents pour recueillir les informations pertinentes permettant l'analyse de différents paramètres de cette étude, la collecte des données a fait usage d'une méthodologie basée sur l'enquête face-à-face associée aux observations au moyen d'un questionnaire élaboré et adressé aux pêcheurs et aux vendeurs grossistes.

N'ayant pas les statistiques sur les types d'acteurs à enquêter dans la zone d'étude, la technique de l'échantillonnage en grappe de neige a été adoptée (Kinkela, 2013b). Pour faciliter l'interview relative à la collecte des données qui ont servi à l'élaboration de ce travail, les enquêtés ont été sélectionnés selon la facilité d'accès, leur disponibilité et leur coopération.

Les paramètres d'étude ont porté sur la nature du produit commercialisé et l'analyse de différents aspects de la commercialisation en l'occurrence: le circuit commercial,

l'estimation des coûts, du produit brut en valeur, de transaction, de la part de revenu de chaque catégorie maillon ciblé par l'étude (à savoir le pêcheur et les grossistes) et de la rentabilité de la vente en gros de poissons «Ngolo».

Le coût de distribution ou le coût de transaction de produits issus de cette technique de pêche est obtenu par le rapport:

$$\text{Coût unitaire (en FC/kg)} = \frac{\text{Coût global de transaction (en FC)}}{\text{Quantité totale vendue (en kg)}}$$

L'estimation du produit brut a concerné la valeur monétaire au niveau de lieu de capture (prix de vente bord production équivalant au revenu brut du producteur) et de vente en gros des poissons (recette de vente en gros ou revenu brut de vendeur en gros).

Le profit est reconnu par son caractère différentiel: différence entre le prix de revient et le prix de vente (Kato-Kale, 2009). C'est la combinaison de deux notions: le chiffre d'affaire (ensemble des ventes) et le prix de revient (ensembles des dépenses) (Isangu, 2014). Pour cette étude, le profit ou marge nette de la vente en gros est obtenu à partir de la formule:

$$\text{Marge nette Vente Gros} = \text{Recette totale (Coût de transaction + Prix d'achat)}$$

Son expression en pourcentage de coût de transaction ajouté de prix d'achat traduit la rentabilité financière (RF) soit:

$$\text{Rentabilité Financière (\%)} = \frac{\text{Marge Nette Vente en Gros (en FC)}}{\text{Coût d'Achat + Coût de Transition (en FC)}} \times 100$$

L'estimation de la part de revenu de chaque maillon de la filière (en %) a été obtenue par les rapports suivants:

$$\text{Part de Revenu du Pêcheur (en \%)} = \frac{\text{Prix de Vente bord Capture (en FC)}}{\text{Prix de Vente en Gros (en FC)}} \times 100$$

$$\text{Part de Revenu du Grossiste (en \%)} = \frac{\text{Marge Nette de Vente en Gros (en FC)}}{\text{Prix de Vente en Gros (en FC)}} \times 100$$

$$\text{Part de la Transaction (en \%)} = \frac{\text{Coût de Transaction de Vente en Gros (en FC)}}{\text{Prix de Vente en Gros (en FC)}} \times 100$$

Enfin, pour les coûts et la rentabilité, compte tenu de la sensibilité aux valeurs extrêmes de la moyenne arithmétique aux valeurs extrêmes (valeur maximum et valeur minimum), la préférence a été surtout donnée à la moyenne pondérée puisqu'elle permet de refléter l'importance de chaque observation du jeu de donnée et peut donc permettre une description plus fidèle de la réalité suivant les critères observés. Celle-ci a été obtenue à l'aide de la formule: $\bar{x} = \frac{\sum f_i X_i}{n}$ où f_i représente la fréquence de la classe i , représente la valeur centrale de la classe i et n représente la taille de l'échantillon (Mumba, 2022).

Pour ce faire, les données ont été groupées en classes suivant la règle de Yuile selon laquelle le nombre des classes (k) est obtenu par la formule suivante: $k = 2,5 \times \sqrt[4]{n}$ où n traduit la taille de l'échantillon.

Les analyses statistiques (moyenne, écart type, etc.) des données collectées ont été effectuées à l'aide du tableur Excel (version 2010) sous Microsoft Windows 8. Les graphiques ont été aussi générés par ce même tableur.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les poissons capturés généralement en milieu rural, sont vendus dans les marchés locaux et urbains. Les données de cette étude se rapporte à la vente en gros des poissons «Ngolo» dans de la ville de Zongo: une ville frontalière entre la République Démocratique du Congo et la République Centrafricaine. Les résultats des observations, enquêtes et analyses de tous les paramètres envisagés dans cette étude sont présentés sous forme de tableau et graphique dans les points ci-dessous.

État des poissons commercialisés

Dans la zone de capture, il n'existe pas d'infrastructures de transformation ni de conservation des poissons. Ceci étant, pour la vente de poissons frais aux clients qui sollicitent les récupérer les jours du marché, la conservation des poissons vivants est pratiquée sur les sites mêmes de capture: des centaines de poissons sont maintenus vivants dans des grands récipients (marmites surtout) contenant de l'eau ou dans des corbeilles spécifiques de diverses formes appelées localement «*Esoko, Epenza, ekokolo, Mopila et elunga*» qu'on place au fond d'un étang ou d'un cours d'eau en vue de protéger les poissons contre les fortes chaleurs et la prédation.

Cette technique est légèrement différente de celle qu'a relevé Bolakonga (2017) dans certains villages de la Tshopo où, des pêcheurs conservent les poissons pendant 10 à 14 jours dans l'eau, après les avoir capturés: 10-15 poissons vivants sont attachés chacun sur un nœud d'une corde munie d'une pierre jetée dans l'eau pour soutenir et stabiliser ladite corde au poids des poissons.

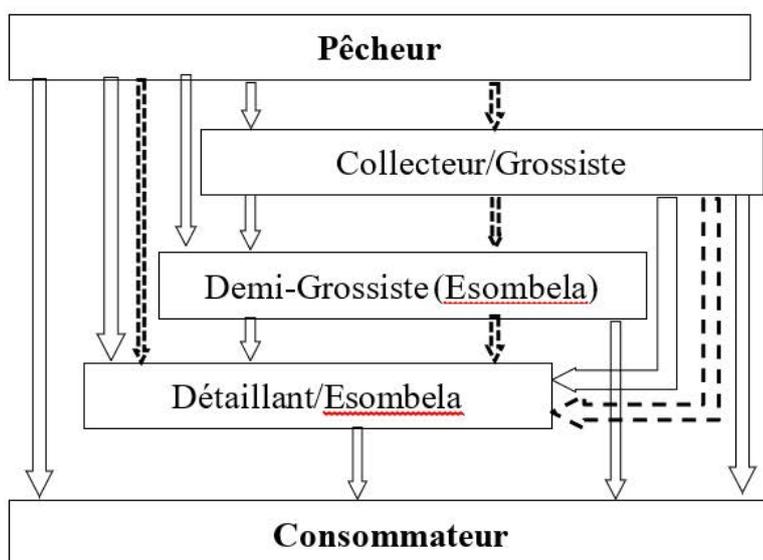
Quant aux poissons destinés à la commercialisation dans les marchés éloignés, le fumage des poissons entiers est le mode de conservation le plus pratiqué: les techniques utilisées sont rudimentaires et consommatrices de bois. Selon Diaw *et al.* (1989), le fumage appelé métorah, technique qui prédomine dans de nombreux pays africains (Guinée, Nigeria, Cameroun, Ghana) où l'on ne relève pas moins de

15 modes de préparation du poisson fumé en usage dans la baie du Cameroun et sur le littoral maritime dont 6 modes de préparation du poisson entier (sans préparation, en boulettes, recourbé queue contre tête, recourbé en cercle, la queue dans la bouche, roulé en spirale, recourbé en cercle, la queue contre le museau. A la différence du poisson frais, essentiellement destiné au marché local, la transformation artisanale génère des flux commerciaux plus lointains. Compte tenu de l'état de route délabré, la moto demeure le moyen de transport le plus utilisé pour les marchés éloignés.

Circuits de commercialisation

La commercialisation des poissons capturés se réalise sous deux formes: la vente en frais (des poissons vivants ou morts) destiné essentiellement aux marchés locaux et celle des poissons transformés (uniquement fumés) qui alimentent des circuits plus longs en direction des marchés intérieur et extérieur. Néanmoins, le pêcheur a plusieurs choix pour assurer la commercialisation de ses produits en les engageant dans des circuits plus ou moins longs, faisant intervenir différents acteurs de la filière des produits halieutiques. Il se dégage quatre types de circuits de distribution à savoir: la vente directe (sans intermédiaire), le circuit court (avec un intermédiaire), circuit moyen (avec deux intermédiaires) et le circuit long (avec au moins trois intermédiaires), comme l'illustre la figure 1A.

En effet, la vente directe correspond à la commercialisation sans intermédiaire entre le producteur et le consommateur final des produits. Pour le pêcheur, cette vente directe n'est pas réglementée et ne s'effectue dans un cadre précis c'est-à-dire elle se fait directement à n'importe quels endroits, sans restriction de volume, ni exigence de certaines conditions d'hygiène, et le poisson est vendu vivant, morts frais ou fumé. Le choix pour un producteur de se lancer dans l'activité de vente directe peut correspondre à plusieurs stratégies: une activité régulière ou ponctuelle, permettant d'écouler tout ou partie des volumes pêchés



 *Transfert de propriété dû à la vente des poissons*
 *Relation de confiance pour la vente des poissons*

(A)



(B)

Figure 1: Circuit de distribution de poissons capturés par la pêche aux claies (A) et marché primaire à Motuba (B)

ou activité de diversification pratiquée car elle apporte un revenu complémentaire. Comme cette activité demande un investissement personnel en temps et en énergie important de la part du producteur, ce sont surtout les femmes de ces derniers qui s'en occupent (Figure 1B).

Le circuit classique de commercialisation des produits de la pêche est la mise en vente par l'intermédiaire d'un regroupement surtout des mamans appelées localement «maman bisombela».

Une fois ses poissons débarqués dans le lieu de vente, le collecteur a à sa disposition plusieurs choix pour assurer l'écoulement de ses poissons. C'est à ce niveau que ces derniers s'engagent dans des circuits plus ou moins longs, faisant intervenir différents acteurs de la filière. Au cours de ce processus de commercialisation, quelques relations de confiance, plutôt individuelles, s'établissent entre les différents acteurs qui y sont impliqués notamment entre les collecteurs et les pêcheurs, les collecteurs et les demi-grossistes, les collecteurs et les détaillants, les demi-grossistes et les détaillants. Il apparaît clairement deux types de relation de transfert de propriétés des poissons mis en vente: acquisition par l'achat et acquisition par confiance.

Le premier type consiste en une espèce de commerce triangulaire où la revendeuse «Esombela» fidélise un grossiste en prenant son produit tout en s'arrogeant l'exclusivité de l'achat. Elle prend le poisson à un prix relativement bas pour enchérir sur les consommateurs, sur quasiment le même lieu de vente.

Le second type, assez similaire au premier mais où une revendeuse «Esombela» prend une quantité relativement importante de poisson auprès d'un collecteur des poissons fumés sur lesquels elle tire un certain bénéfice avant de remettre le montant préalablement convenu au collecteur venu du lieu de capture.

Cette situation est similaire à ce qu'a soulevé Bolakonga (2017) dans la Tshopo où il n'existe pas, à proprement parlé, d'intégration horizontale ni verticale entre différents maillons de la chaîne de valeur.

Coûts commerciaux

Dans la zone d'étude, pareil à la majorité des producteurs, les pêcheurs ne tiennent aucune comptabilité et ne savent pas déterminer ou estimer exactement le capital financier qu'ils utilisent. Ce qui pose de difficultés sur l'évaluation des différentes charges liées aux activités effectuées par le pêcheur lui-même et sa famille (dès la prospection du site de pêche jusqu'à la capture et transformation des poissons) y compris les divers matériels et équipements utilisés. Toutefois, les rares pêcheurs qui recourent à une main d'œuvre rémunérée uniquement pour la mise en œuvre de la structure de pêche (Ndobo) payent un montant forfaitaire variant de 100 000 à 150 000 FC avec une moyenne de 125 000 FC (± 19 003 FC).

Le coût de transaction ou d'échanges qui se sont ajoutées au prix payé aux pêcheurs va des taxes sur le commerce, à des

Tableau 1: Coût unitaire de commercialisation de poissons de Bomboma à Zongo en 2021

X ou Coût unitaire (FC/Kg)	Xi ou Point milieu (FC/Kg)	f ou Nombre des grossistes	Proportion (%)	Fréquence Cumulée (%)	fXi
[3 357 – 4 307]	3 833	5	10,2	10,2	19 165
[4 308 – 5 258]	4 784	6	12,2	22,4	28 704
[5 259 – 6 210]	5 735	9	18,4	40,8	51 615
[6 211 – 7 161]	6 686	17	34,7	75,5	113 662
[7 162 – 8 112]	7 637	10	20,4	95,9	76 370
[8 113 – 9 063]	8 588	1	2,0	98,0	8 588
[9 064 – 10 014]	9 540	1	2,0	100	9 540
Total	-	49	100		307 644
				Moyenne pondérée	6 278

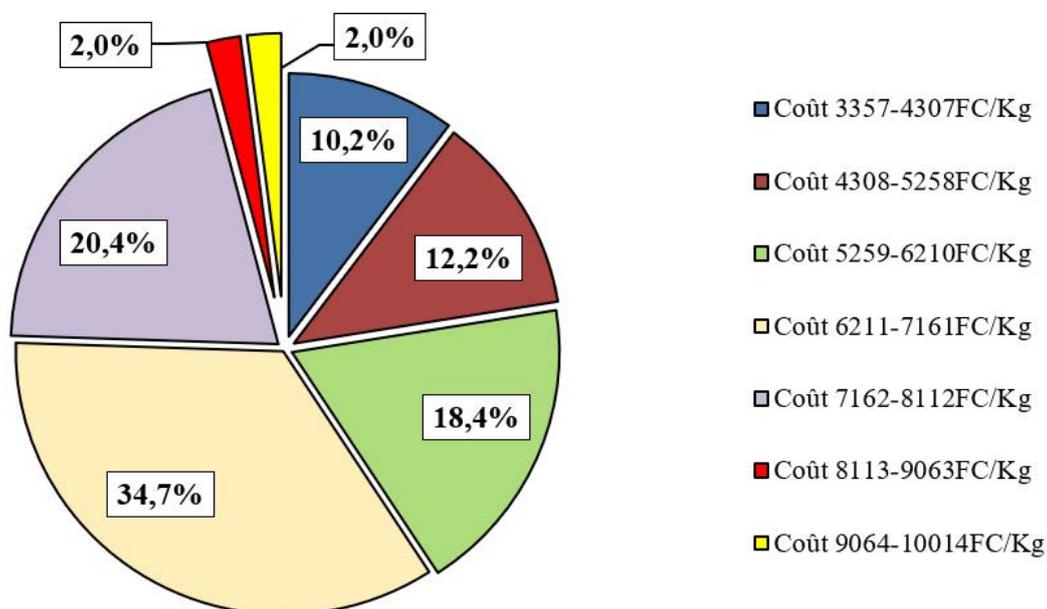


Figure 2: Illustration des proportions de grossistes par classe de coûts de l'activité commerciale

coûts de transports, en passant par les marges de plusieurs intermédiaires d'autant plus élevées qu'elles doivent à la fois rémunérer ces derniers et tenir compte des conditions difficiles du transport, sources de pertes importantes. Similairement aux pêcheurs, les vendeurs n'ont pas la culture de tenir la comptabilité de leurs activités afin d'orienter la prise de décision efficace de demeurer ou quitter la filière. Cette situation ne les met pas à l'abri des risques de travailler à perte.

Pour cette étude, les valeurs relatives à la répartition des grossistes en fonction de coût de l'activité commerciale (coût d'achat et de transaction pour distribuer 1 kg de poisson) de Bomboma à Zongo sont résumées dans le tableau 1.

Le coût de commercialisation en gros d'un kilogramme de poissons de Bomboma à Zongo varie de 3 357 à 10 014 FC. Soit une moyenne pondérée de 6 278 FC/kg légèrement supérieur à la moyenne arithmétique qui est de 6222 FC/kg (± 1344 FC). Les coûts les plus fréquents (soit 35% de grossistes) se situent entre 6 211 et 7 161 FC comme illustré par la figure 2.

De l'analyse des données collectées, il se dégage que le coût de transaction est estimé en moyenne à 58,6% ($\pm 17\%$) du prix de vente en gros, soit un minimum de 36,0% et un maximum de 96,7%. Ce coût de transaction est surtout influencé par le moyen de transport utilisé par les vendeurs à savoir la moto. Ainsi, l'impact du transport dans le prix de vente en gros varie d'un vendeur à l'autre et représente en moyenne 82,1% ($\pm 4,9\%$) de coût de transaction, avec un minimum de 69,1% et un maximum de 90,4%.

Par rapport au prix de vente en gros, l'influence de transport va de 32,7% à 144,7% avec une moyenne de 59,8% ($\pm 21,4\%$) de Bomboma à Zongo. En se référant à la classification réalisée par Wickham relative à l'impact

du transport sur les biens et services (Mpanzu, 2015), la moyenne obtenue confirme son influence non négligeable dans le prix de vente, réduisant notablement les marges nettes de vendeurs à ce stade de vente. C'est comme a affirmé Nkikela (2012) pour le cas de la RDC, le coût de transport exerce une influence plus déterminante dans la fixation du prix de détail. Car pour certaines denrées, ce coût avoisine plus de 50% du prix de détail.

Rentabilité de la vente en gros des poissons fumés

La Rentabilité Financière (RF) étant l'expression de la marge nette en pourcentage de coût de transaction ajouté de prix d'achat, les valeurs relatives aux résultats obtenus par les grossistes en fonction de coût de l'activité commerciale (coût d'achat et de transaction pour distribuer 1 kg de poisson «Ngolo» de Bomboma à Zongo) et de chiffre d'affaire de la vente en gros des poissons sont regroupées en classes résumées dans le tableau 2.

Les résultats de ce tableau montrent que l'activité de commercialisation des poissons fumés de Bomboma à Zongo génère un profit moyen pondéré de 1 596 FC/kg de poissons. Ce qui correspond à une moyenne arithmétique de 1600 FC/kg de poissons (± 1905). Les plus gros bénéficiaires sont réalisés par les grossistes dont les gains nets sont compris entre 5 003 FC et 6 059 FC le kg. Mais cette catégorie est moindre car ne représente que 4% des répondants.

Il ressort du tableau 3 que le Taux de Rentabilité Financière dans la commercialisation en gros de poissons de Bomboma à Zongo varie de -20 à 124%. Soit une moyenne pondérée de 31,1%, légèrement supérieure à la moyenne arithmétique qui est de 30,2% ($\pm 36,6$). Les taux le plus fréquent (soit 26,5% de grossistes) se situe entre -20 et 0%.

Tableau 2: Résultat de commercialisation de poissons fumés de Bomboma à Zongo en 2021

Classes de Résultats unitaires (FC/Kg)	Xi ou Point milieu (FC/Kg)	f ou Nombre des grossistes	Proportion (%)	Fréquence Cumulée (%)	fXi
[-1330,1 – -273,5]	-802	7	14,3	14,3	-5 613
[-274,5 – 780 ,0]	253	14	28,6	42,9	3 539
[781,0 – 1 835,5]	1 308	7	14,3	57,1	9 158
[1 836,5 – 2 891,1]	2 364	8	16,3	73,5	18 910
[2 892,1 – 3 946,6]	3 419	4	8,2	81,6	13 677
[2 847,6 – 5 002,1]	3 925	7	14,3	95,9	27474
[5 003,1 – 6 058,7]	5 531	2	4,1	100,0	11 062
Total		49	100	-	78 207
				Moyenne pondérée	1 596

Tableau 3: Répartition des grossistes par classes de rentabilité financière de la commercialisation de poissons fumés

Classes de Rentabilité Financière (%)	Xi ou Point milieu (%)	Fréquence	Proportion (%)	Fréquence Cumulée (%)	fXi
[-20 – 0]	-9,6	13	26,5	26,5	-124
[1 – 21]	10,9	12	24,5	51,0	131
[22 – 41]	31,3	8	16,3	67,3	250
[42 – 62]	52,1	4	8,2	75,5	209
[63 – 83]	83,0	8	16,3	91,8	664
[84 – 103]	93,4	3	6,1	98,0	280
[104 – 1 24]	114,2	1	2,0	100	114
Total	49	100	-		1 523
				Moyenne pondérée	31,1

Dans l'ensemble, la commercialisation des poissons est dominée par les grossistes qui accusent une rentabilité positive soit 73,5% d'enquêtés contre 26,5% qui enregistrent une rentabilité négative. La plus grande rentabilité n'est enregistrée que par 2% de grossistes et se situe entre 104 et 125%.

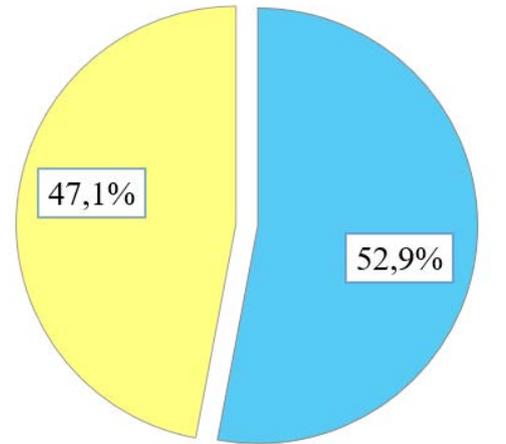
Répartition des revenus

L'étude a révélé qu'il est très délicat d'évaluer les revenus tirés de la filière du poisson fumés car les acteurs connaissent rarement les charges supportées, leurs gains et, même dans ce cas-là, ne les dévoilent pas volontiers.

Le graphique prouve à suffisance que le revenu brut engendré par la filière halieutique n'est pas équitablement réparti entre les différents maillons, de la capture à la distribution de poissons. Pour illustrer cette répartition inéquitable, la part revenant à la production ou capture est traduite par le prix de vente de poisson bord capture à Bomboma (précisément dans le groupement de Bokonzi et Motuba) tandis que celle de la vente en gros est différentielle c'est-à-dire issue de prix de vente en gros à Zongo, diminué prix de vente bord capture. Ainsi, par rapport au lieu de vente d'un sac de 56,3 kg de poisson «Ngolo», la part du pêcheur (premier maillon de la filière) représente en moyenne 62,9% ($\pm 18,2$) de revenu total brut traduit par prix de vente en gros à Zongo; avec des valeurs extrêmes: 100% pour le maximum et 33,3% pour le minimum. La part revenant à la vente en gros (deuxième

maillon de la filière) équivaut à 37,1% ($\pm 18,3$) avec un maximum de 54% et un minimum de -24,9%.

En considérant isolément la part de revenu brut du deuxième maillon de la filière, en l'occurrence la vente en gros (Figure 5), il apparaît clairement que celle-ci est en majeure partie dominée par le coût de transaction qui représente une moyenne de 52,9% contre 47,1% pour la marge nette du grossiste.



■ Marge nette grossiste ■ Transaction

Figure 5: Importance de la transaction sur le revenu de la vente en gros

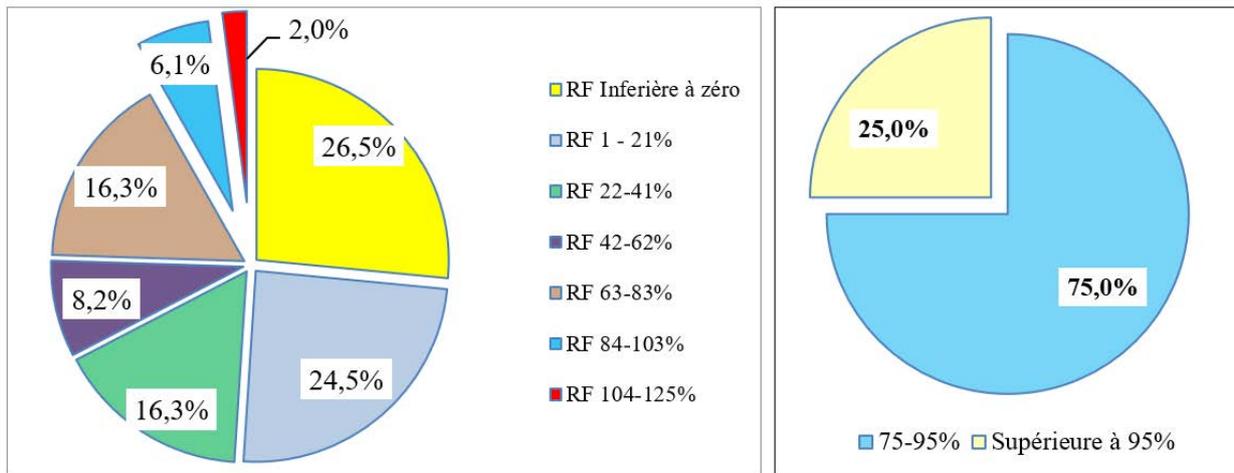


Figure 3: Répartition des vendeurs en gros des poissons par classes de rentabilité financière

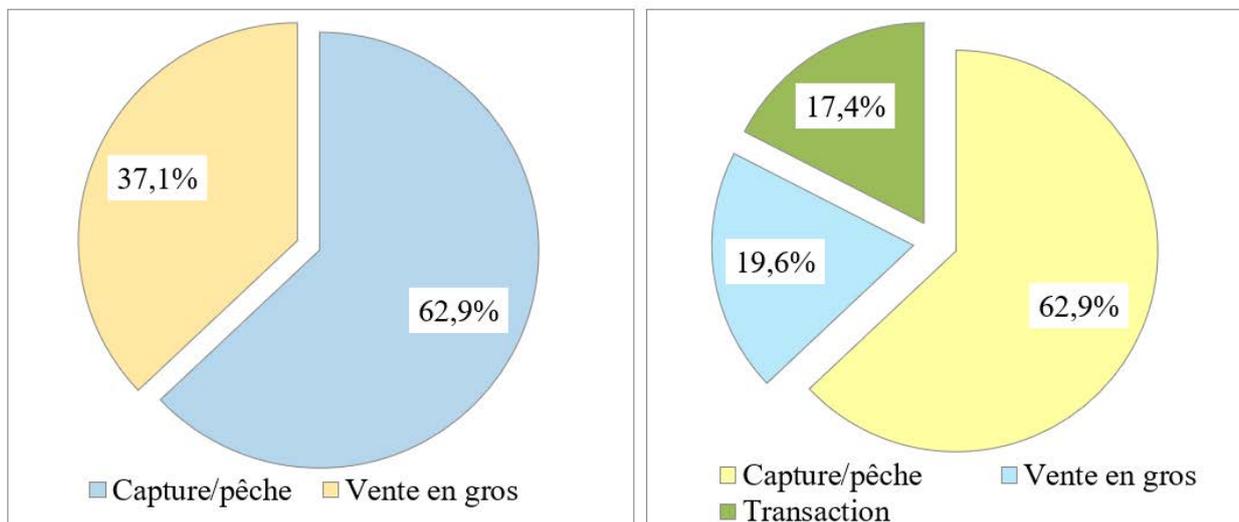


Figure 4: Répartition de revenu brut par maillon de la filière halieutique

Ce coût de transaction ou de distribution représente en moyenne 19,8% ($\pm 7,4\%$) du revenu global de la filière, atteint un Maximum de 41,6% pour certains grossistes et un minimum 10,4% pour d'autres. En outre, en décomposant ce coût de transaction, on s'aperçoit que le coût de transport est très important et représente 82,1% ($\pm 4,9$) de coût de transaction et 58,8% ($\pm 17,0$) du prix de vente en gros. Ce qui montre l'influence non négligeable de prix de transport dans la commercialisation des poissons.

Aussi, interprétant l'impact du transport dans le prix de vente, Wickam cité par Kinkela (2013a), et Mpanzu (2015) soulignent que si le prix de vente est supérieur à 20%, c'est un élément important du prix de détail.

Évolution des prix de vente

Le rôle que doit exercer le prix est perçu différemment selon les opérateurs économiques. Obtenir un prix rémunérateur pour son produit est l'objectif de toute entreprise. Acheter au meilleur prix un produit donné constitue un idéal pour le consommateur. Le négociant ou l'intermédiaire se soucie relativement peu du niveau des prix, ce qui l'intéresse, c'est l'écart entre le prix auquel il achète la marchandise au producteur et celui auquel il revend cette marchandise au consommateur (Mpanzu, 2015).

Dans le cadre de cette étude, la formation de prix de vente des poissons est fonction de plusieurs éléments notamment le lieu de vente, l'unité de mesure, l'état du produit (frais, transformé), la taille du poisson, l'espèce transformée, le nombre d'intermédiaires et le décalage entre l'offre et la demande.

Le prix de vente des poissons fumés de marché primaire (à Bomboma) au marché ciblé pour la vente en gros (à Zongo) accuse une variation à la hausse de 3 060 FC le kg ($\pm 1898,6\text{FC}$) (équivalent de 1,39 \$) soit un taux d'accroissement moyen de 74,7% ($\pm 57,5\%$) de prix de vente bord capture qui est en moyenne de 4 762 FC le Kg ($\pm 1 263\text{FC}$) (soit 2,16 \$ au taux de 1\$=2 200 FC). Cet accroissement est nul pour certains vendeurs et atteint 200% pour d'autres.

En dépit de ces chiffres encourageant, cette augmentation n'est pas profitable au vendeur suite au coût élevé de transport et due aux modalités de fixation de prix de vente. En effet, privés souvent d'autonomie pour la vente de leurs marchandises et pour éviter des tracasseries au niveau du marché, certains grossistes font recours aux intermédiaires appelées localement «maman Bisombela» qui, ne connaissant pas le coût de transaction, proposent un prix de vente sans tenir compte de différentes charges car voulant à tout prix tirer un certain bénéfice.

Ce phénomène est assez similaire à celui que Bolakonga (2017) qualifie de «sima ya mukongo» (derrière le dos) où une revendeuse prend une quantité relativement importante de poisson auprès d'un collecteur des poissons fumés sur lesquels elle tire un certain bénéfice avant de remettre le montant préalablement convenu au collecteur venu du lieu de capture. Cette variation de prix prouve à suffisance ce qu'a relevé Mastaki (2006) en ces termes : les imperfections du système de commercialisation, se traduisant par des asymétries d'information et des coûts de transactions, des concentrations de pouvoir de marché et l'absence des règles transparentes de fonctionnement, des stratégies sociales de survie, sont incapables d'induire une bonne coordination des filières. Mpanzu (2015) renchérit

en ces termes: l'idéal dans les échanges est que les parties en présence puissent négocier et établir des relations sur des bases légales, ce qui n'est pas toujours le cas dans la mesure où dans la plus part des cas, l'une des parties détient plus d'information sur les marchés ; plus d'alternative d'échanges, plus de moyens matériels et financiers que l'autre partie, rendant ainsi la réalisation des conditions d'échanges égales difficiles.

Un bon service d'information sur le marché est indispensable pour que le système de commercialisation puisse fonctionner de manière économique et avec précision. Un ingrédient vital recherché par les petits fermiers pour accroître leur pouvoir sur le marché est l'information. Certainement une de raisons de leur position défavorable est leur connaissance limitée sur le prix agricoles et le circuit alternatif de vente. Une commercialisation efficace implique l'apprentissage de nouvelles compétences, de nouvelles techniques et de nouveaux modes d'obtention de l'information. Les technologies de communication modernes ont permis d'améliorer la distribution de l'information, en particulier grâce aux SMS par téléphone portable et à la croissance rapide de stations de radio FM dans de nombreux pays en développement, qui permettent de mettre en place des services d'information plus localisés.

CONCLUSION

L'objectif général de ce travail était d'évaluer le niveau de rentabilité du commerce en gros afin de fournir aux acteurs intéressés à la commercialisation des poissons capturés par la pêche aux claies du type «Ndobo». Pour y parvenir, la collecte des données a fait usage d'une méthodologie basée sur l'enquête face-à-face au moyen d'un questionnaire élaboré et adressé aux pêcheurs et aux vendeurs grossistes. Au regard des analyses effectuées, il apparaît clairement que pour la vente de poissons frais est locale et la conservation des poissons vivants est pratiquée sur les sites où les poissons sont maintenus vivants dans des grands récipients (marmites surtout) contenant de l'eau ou dans des corbeilles spécifiques placées au fond d'un étang ou d'un cours d'eau. Quant aux poissons destinés à la commercialisation dans les marchés éloignés, le fumage est le mode le plus pratiqué. Quatre types de circuits de distribution existent: la vente, le circuit court, circuit moyen et le circuit long. Le coût de commercialisation en gros d'un kilogramme de poissons fumés de Bomboma à Zongo varie de 3 357 à 10 014 FC. Soit une moyenne de 6222 FC/kg ($\pm 1344\text{FC}$). Les coûts les plus fréquents (soit 35% de grossistes) se situent entre 6 211 et 7 161 FC.

Le coût de transaction est estimé en moyenne à 58,6% ($\pm 17\%$) du prix de vente en gros et est surtout influencé par les frais de transport dont l'impact du transport dans le prix de vente en gros, variant d'un vendeur à l'autre, représente en moyenne 82,1% ($\pm 4,9\%$) de coût de transaction.

Quant au profit, les résultats obtenus montrent que l'activité de commercialisation génère un profit moyen pondéré de l'ordre de 1 596 FC/kg de poissons. Ce qui correspond à une moyenne arithmétique de 1599 FC/kg de poissons ($\pm 1904,7$). Les plus gros bénéfices sont réalisés par les grossistes dont les gains nets sont compris entre 5 003 FC et 6 059 FC le Kg. Mais cette catégorie est moindre car ne représente que 4% des répondants. Le prix de vente

des poissons fumés de marché primaire (à Bomboma) au marché ciblé pour la vente en gros (à Zongo) accuse une variation à la hausse de 3 060 FC le kg ($\pm 1898,6FC$) (équivalent de 1,39 \$) soit un taux d'accroissement moyen de 74,7% ($\pm 57,5\%$) de prix de vente bord capture qui est en moyenne de 4 762 FC le kg ($\pm 1 263 FC$). Cet accroissement est nul pour certains vendeurs et atteint 200% pour d'autres. En dépit de ces chiffres encourageant, cette augmentation n'est pas profitable à tous les vendeurs suite au coût élevé de transport. Ce qui fait que le revenu du producteur soit nettement supérieur à celui du vendeur en gros. Par rapport au lieu de vente d'un sac de 56,3 kg de poisson «Ngolo», la part du pêcheur (premier maillon de la filière) représente en moyenne 62,9% ($\pm 18,2$) de revenu total brut traduit par prix de vente en gros à Zongo; avec des valeurs extrêmes: 100% pour le maximum et 33,3% pour le minimum. Contre 37,1% ($\pm 18,3\%$) pour la vente en gros (deuxième maillon de la filière) avec maximum 54% et minimum -24,9%. Ce qui confirme les hypothèses selon lesquelles cette activité est rentable financièrement et que le revenu brut engendré par cette filière halieutique n'est pas équitablement réparti entre les différents maillons, de la capture à la distribution

Enfin, cette étude a montré que ce type de pêche, bien que saisonnière, est une activité qui contribue à l'amélioration des conditions de vie de la population par la création d'emplois à plusieurs niveaux: capture, distribution, transport, manutention, etc. dans différents endroits car le poisson, capturé généralement en milieu rural est vendu sur les marchés frontaliers (Dongo, Zongo, Libenge) et ceux de chefs-lieux des provinces (Gemena dans le Sud-Ubangi, Mbandaka dans l'Equateur). Il fait aussi l'objet d'exportation dans les pays voisins dont la République Populaire du Congo (Brazzaville) et surtout la République Centrafricaine (Bangui). Ceci étant, autrefois considérée comme une technique de pêche de subsistance, cette technique de pêche saisonnière peut faire l'objet d'insertion dans le circuit formel de commercialisation à l'échelle tant nationale qu'internationale et constitue de ce fait une source non négligeable des revenus pour les acteurs intéressés à cette filière halieutique.

RÉFÉRENCES

Ad De Veld. (2005). Commercialisation: le marketing pour les producteurs artisanaux. Série Agrodok n° 26, Wageningen, Pays-Bas, 79p.

Adjanke, A. (2011). Formation en pisciculture: production d'alevins et gestion de ferme piscicole. Coordination togolaise des organisations paysannes et de producteurs agricoles. Lomé.

Biloso, M.A. (2008). Valorisation des produits forestiers non ligneux des plateaux de Bateke en Peripherie de Kinshasa (RD/Congo). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. Faculté des Sciences; École Inter facultaire de Bioingénieurs; Université Libre de Bruxelles (167p).

Bolakonga, I.A.B. (2017). Filières agricoles dans la Province de la Tshopo. Filières: pêche et riz. In Filières Agricoles en République Démocratique du Congo: Maïs, riz, bananes plantains et pêche. pp67-1132. Kinshasa: Konrad Adenauer.

Bosanza J. B., Wembodinga J. G., Ndomba N., Ngbolua J. P., Nyongombe N.-F. (2023). Inventaire des poissons capturées par la pêche aux claies au Sud-Ubangi (RD Congo). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vet.*, 11:128-134.

Bosanza Z.J.B., Mongeke M.M., Dongo P.E., Bobuya N.P., Zwave K.N., Ngbolua K.N. (2019). Effets de nourrissage et de la fertilisation minérale sur la croissance du poisson serpent (*Parachanna insignis*) en étang. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7: 52-57.

Diaw M.C., Cormier-Salem, Gaye, A., Kebe, M.C., Chaboud, C. (1989). La valorisation des produits de la pêche: la transformation artisanale et les circuits commerciaux du poisson frais et transformé. Les systèmes de production et de distribution dans le secteur de la pêche en Casamance. Rapport technique, Institut Sénégalais de Recherche Agricoles, Dakar.

Ipungu L., Kayuma M., Labe N.N., Malungu B., Binemo K., Ompey I., Ilunga N.B., Numbi M., Kidinda M., Kapemba, K., Ngoy K. (2019). Étude comparative de la croissance de *Clarias gariepinus* et *Clarias ngamensis* en élevage semi intensif de la ferme Mwema à Lubumbashi. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41: 6805-6809.

Isangu M.F.P. (2014). Gestion et économie financière des entreprises agricoles et agroindustrielles. Notes de cours, Isav Kimwenza. 253p. (Inédit).

Kato-Kale, L.L. (2009). Economie politique. Édition bémaf. 102p.

Kinkela S. (2013a). Commercialisation des produits agricoles. Kinshasa, Notes de cours 2^{ème} grade Économie agricole, Faculté de Sciences Agronomiques, UNIKIN, Inédit 80p. (Inédit).

Kinkela S. (2013b). Techniques de collecte des données. Kinshasa, Notes de cours 2^{ème} grade Économie Agricole, Faculté de Sciences Agronomiques, UNIKIN, 99p. (Inédit).

Kinkela, S. (2012). Fondement de marketing. Notes de cours 1^{er} grade Faculté des Sciences Agronomiques, UNIKIN, 115p. (Inédit).

Kpogue D.N.S., Mensah G.A., Fiogbe E.D. (2013). A review of biology, ecology and prospect for aquaculture of *Parachanna obscura*. *Reviews. Fish Biology and Fisheries*, 23: 41-50.

Mastaki N.J.-L. (2006). Le rôle des goulots d'étranglement de la commercialisation dans l'adoption des innovations agricoles chez les producteurs vivriers du Sud-Kivu (Est de la RD Congo). Thèse, FUSAGX, 250 p.

Ministère du Plan (2005). Monographie de la Province de l'Equateur. DSRP, UPPE – SRP, CP-SRP/Equateur, R.D.C; 110p.

Mpanzu B.P. (2012). Commercialisation des produits vivriers paysans dans le Bas-Congo (RD/Congo): contraintes et stratégies des acteurs. Dissertation de Docteur en Sciences agronomiques et Ingénierie biologique. Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech. 229p.

Mpanzu B. (2015). Commercialisation des produits agricoles. Notes de Cours 2^{ème} grade Économie Agricole; Faculté de Sciences Agronomiques, UNIKIN, 74p. (Inédit).

Mumba D.A. (2022). Biométrie, statistiques et théorie d'échantillonnage. Séminaire de 3^{ème} Cycle pour DEA; Faculté des Sciences Agronomiques/UPN.

Nagifi D. V., Omasombo T., J., Guilome L., Edwine S., Krawczyk J., Laghmouchm (2013). Sud-Ubangi: Bassins d'eau et espace agricole. Bruxelles: Samsa édition, 450p.

Recalage d'images avec la corrélation d'images basée sur la méthode de Fourier

L. RASMY¹, I. SEBARI¹, L. EL BOUKHARY¹, H. LEGHMID¹, M. ETTARID¹

(Reçu le 03/01/2023 Accepté le 14/02/2023)

Résumé

Le recalage d'images est une technique importante dans de nombreuses applications de vision par ordinateur, telles que la fusion d'images, le suivi d'objets, la reconnaissance de visages, la détection de changements, etc. Les composantes principales du processus de recalage à savoir l'espace des primitives, la mesure de similarité, la stratégie de recherche et d'optimisation, jouent un rôle fondamental dans l'estimation de la meilleure transformation spatiale pour recaler les images multi-dates, qui influence directement la précision et la robustesse de ces méthodes. Cet article se concentre principalement sur les méthodes classiques et récentes de recalage d'images, y compris les principes fondamentaux. L'objectif spécifique de cette revue consiste à décrire les méthodes de corrélation d'images basées sur la méthode de Fourier, d'exposer les méthodes sub-pixellique existantes dans le domaine fréquentiel et d'esquisser un résumé sur les études comparatives des méthodes sub-pixelliques de fournir une source de référence complète aux chercheurs impliqués dans le recalage d'images avec la corrélation d'images basée sur la méthode de Fourier.

Mots clés: recalage sub-pixellique, mise en correspondance, corrélation de phase, transformée de Fourier

Fourier-based image correlation for image registration

Abstract

Image registration is an important technique in many computer vision applications, such as image fusion, object tracking, face recognition, change detection, etc. Registration of multi-date images is based on primitive space, similarity measure, search and optimization strategy. Each component plays a fundamental role in estimating the best spatial transformation, which has a direct impact on the robustness and accuracy of these methods. In this paper, we will be discussing classical and recent image registration methods, including their fundamental principles. This review provides a comprehensive reference resource for researchers involved in image registration with Fourier-based image correlation by describing Fourier-based image correlation methods, describing existing subpixel techniques in the frequency domain, and summarizing comparative studies of subpixel techniques.

Keywords: sub-pixel registration, matching, phase correlation, Fourier transform

INTRODUCTION

Un des défis majeurs de l'imagerie satellitaire et aérienne est l'analyse et le traitement de plusieurs images dans un référentiel commun. Ce processus, connu sous le nom de recalage, consiste en la «mise en correspondance» de deux images d'une même scène, prises à des instants différents, à partir de différents points de vue, ou par différents capteurs. En effet, il s'agit d'aligner géométriquement l'image à recaler dite image source sur l'image cible, ceci est réalisé en déterminant la transformation qui fournit la correspondance la plus précise entre ces deux images. En effet, le problème de recalage est un point primordial pour la détection des changements et la qualité de recalage dicte la validité et la fiabilité de l'application. Il existe plusieurs approches de recalage dans la littérature. Ces dernières se basent sur la définition de différents critères, dont le choix peut garantir ou non la validité du recalage. La technique de recalage d'images est un problème classique et fait l'objet de recherches actives. Bien que des recherches considérables aient été menées, des défis importants restent à relever. Il existe donc un besoin crucial de développer un algorithme de recalage d'images précis, robuste et efficace, qui nécessite une supervision minimale ou nulle de la part de l'opérateur pour recaler des images multi-temporelles.

Une revue des techniques de recalage d'images les plus courantes a été réalisée dans (Brown, 1992; Eastman et Netanyahu, 2011; Shah et Mistry, 2014; Zitová et Flusser, 2003). Les méthodes existantes peuvent être divisées en deux grandes catégories: les techniques iconiques basées sur le niveau de gris et les techniques géométriques basées sur les primitives géométriques. Plusieurs études ont

examiné les améliorations en termes de précision et de fiabilité, ainsi que les moyens d'atténuer les limites des deux groupes de techniques de recalage.

D'une part, les techniques géométriques comportent deux étapes. Tout d'abord, la méthode extrait les primitives de l'image source et de l'image cible. Ensuite, les points correspondants sont mis en correspondance pour obtenir une correspondance correcte et la transformation optimale du modèle entre la paire d'images. L'espace des primitives comprend les coins, les bords et les régions de l'image source et de l'image cible. Comme les coins sont invariants par rapport à la géométrie de l'image, ils permettent d'obtenir des résultats plus précis (Zitová et Flusser, 2003). Les méthodes basées sur les primitives ponctuelles détectent d'abord un ensemble de points d'intérêt candidats en appliquant un détecteur aux deux images (Barazzetti *et al.*, 2017; Lowe, 2004; Yong Li *et al.*, 2008; Harris et Stephens, 1988). Les auteurs passent en revue différents détecteurs des primitives et suggèrent une combinaison de plusieurs détecteurs pour obtenir les meilleures performances. La comparaison entre les détecteurs a montré que les performances diminuent avec l'augmentation des effets de changement de points de vue. Bien que la répétabilité soit la mesure la plus couramment utilisée pour évaluer la précision des points d'intérêt extraits, leur distribution spatiale joue un rôle crucial dans le processus de recalage. Ils doivent être les plus largement répartis sur l'ensemble de l'image pour assurer un recalage précis (Mikolajczyk et Schmid, 2005). L'algorithme le plus populaire est le détecteur de coins de Harris (Harris et Stephens, 1988) qui reste une technique de référence. Le succès du détecteur de Harris réside dans

¹ Science Géomatique et Ingénierie Topographique, IAV Hassan II, Rabat, Maroc

son efficacité à détecter des points d'intérêt stables et répétables dans divers types de déformations de l'image (Zhu *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2014). Une fois les points d'intérêt détectés, la correspondance des primitives est ensuite effectuée en comparant les descripteurs locaux tels que la transformée des primitives invariants à l'échelle (SIFT) ou les descripteurs robustes accélérés (SURF). Le descripteur SIFT a été mis au point par Lowe (2004) pour assurer l'invariance des caractéristiques aux variations d'échelle, de rotation et d'illumination de l'image. L'opérateur SIFT peut trouver des correspondances ponctuelles optimales entre les images malgré les erreurs résultant de petites distorsions géométriques (Ye et Tang, 2013). Le recalage basé sur l'algorithme SIFT souffre d'une faible précision et d'une vitesse lente pour les images de télédétection (Wang *et al.*, 2020, Dong *et al.*, 2018).

D'autre part, les techniques iconiques calculent une mesure de similarité en utilisant les valeurs brutes des pixels de l'image pour un petit modèle dans l'image source et la comparent avec une région similaire dans l'image cible. Par conséquent, un examen des travaux connexes indique que les algorithmes classiques sont très sensibles aux changements d'intensité des pixels introduits par les distorsions locales, les différences d'éclairage, les ombres et les changements d'angle de vue, en plus de l'utilisation d'images multi-capteurs. Les mesures de similarité standard sont la corrélation croisée avec ou sans pré-filtrage, et les propriétés d'invariance de Fourier, comme la corrélation de phase (PC) utilisée comme mesure de similarité (Li *et al.*, 2020). Arya a proposé un algorithme de corrélation normalisé basé sur les M-estimateurs qui réduit l'effet du bruit (Arya, 2007). Les M-estimateurs dans la corrélation d'intensité se sont avérés plus performants que la mesure d'information mutuelle (MI) pour les images médicales (Kim *et al.*, 2004). Georgescu et Meer (2007) ont proposé la mise en œuvre d'un algorithme de descente de gradient utilisant les M-estimateurs et une correction radiométrique. Plusieurs schémas de recalage d'images dans les principaux systèmes terrestres de satellites ont été étudiés (Eastman *et al.*, 2007). Le recalage a été effectué sur une base de données d'images de points de contrôle soigneusement sélectionnés. La corrélation normalisée a été utilisée dans les régions locales après application de la correction topographique et du processus de masquage des nuages.

Récemment, les chercheurs ont commencé à accorder de l'importance à l'application de la corrélation de phase dans le recalage d'images (Konstantinidis *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2019; Ye *et al.*, 2020; LePrince *et al.*, 2007) ont construit

un système de recalage automatisé, appelé COSI-Corr, basé sur la corrélation de phase. Scheffler *et al.* (2017) ont développé une méthode de recalage utilisant le masquage des nuages, appelée AROSICS, basée sur la corrélation de phase. Le recalage de Fourier dans le domaine fréquentiel est adapté pour traiter des images qui ont été à la fois translattées, pivotées et mises à l'échelle les unes par rapport aux autres. Chen *et al.* (1994) ont proposé un algorithme de correspondance basé à la fois sur la transformée de Fourier invariante par translation et sur la transformée de Mellin invariante par échelle pour faire correspondre des images qui ont subi une rotation et une mise à l'échelle. Abdelfattah et Nicolas (2005) ont démontré une meilleure précision de la transformée de Fourier-Mellin invariante (FMT) par rapport à une corrélation standard pour le recalage d'images radar interférométriques à ouverture synthétique.

Récemment, plusieurs efforts ont été consacrés à l'amélioration des performances des méthodes de recalage basées sur la corrélation de phase. Cependant, une revue unifiée et approfondie de ces développements n'a pas été faite pour résumer et discuter de ce sujet, à l'exception de quelques évaluations des performances, comme Tong *et al.*, (2019) et Alba *et al.*, (2015). Il est donc impératif de faire le point sur la littérature actuelle afin de guider les recherches futures sur ce sujet.

L'objectif de cette revue est de donner un aperçu du processus de recalage des images ainsi qu'une analyse détaillée de la méthode de corrélation d'images basée sur la méthode de Fourier. Ces méthodes sont décrites en fonction des principales lois qui les sous-tendent et un aperçu des méthodes sub-pixellique et hybrides actuellement disponibles est présenté. Le résultat final sera bénéfique pour les développements ultérieurs des méthodes de recalage d'images basée sur la corrélation de phase.

Caractéristiques des méthodes de recalage

Le recalage d'images est le processus d'alignement de deux ou de plusieurs images de la même scène prises à différents moments, depuis différents capteurs ou à partir de différents points de vues (Figure 1). Cette technique consiste à trouver la transformation spatiale T optimale permettant d'aligner une image source $I_S(x,y)$ avec une image cible $I_R(x,y)$ (Brown, 1992):

$$I_S(x,y) = I_R(T_x(x,y), T_y(x,y))$$

Où T_x et T_y sont les valeurs singulières de la transformation spatiale f .

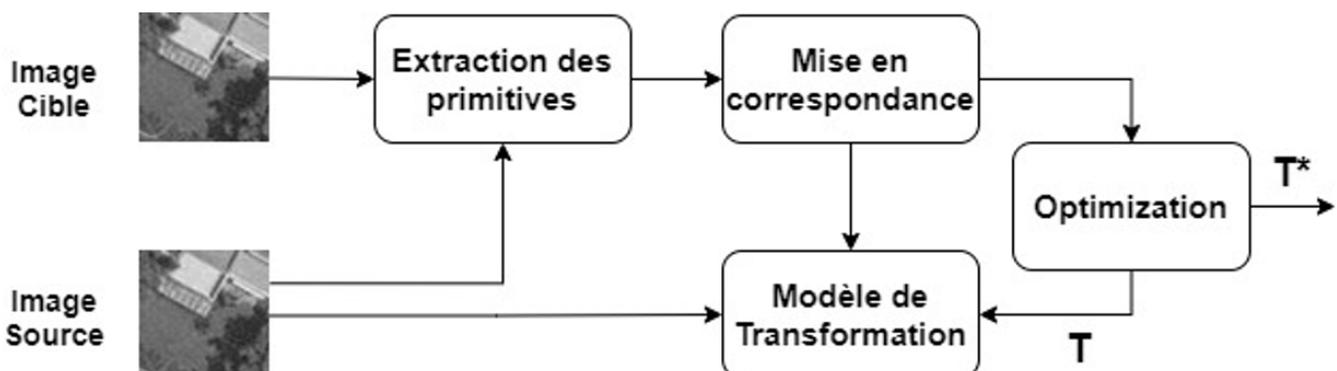


Figure 1: Schéma global d'un système de recalage

Les méthodes de recalage se distinguent par la nature des primitives et le critère de similarité permettant de trouver la meilleure correspondance, ainsi que par la stratégie de recherche et d'optimisation capable de réduire le coût des calculs nécessaires à la mise en correspondance des primitives et d'estimer les paramètres optimaux de ce modèle. L'estimation de la meilleure transformation spatiale pour recaler les images multi-dates peut être décomposée en trois composantes principales: l'espace des primitives, la mesure de similarité, la stratégie et l'espace de recherche (Brown, 1992). Ces critères sont déterminants dans la performance et la précision de recalage des images et dépendent de la connaissance des sources de distorsions. Il convient alors de choisir la méthode rigoureuse et efficace parmi différentes alternatives dans l'ensemble du processus de recalage. Chacune des composantes est décrite plus en détail dans les trois sous-sections suivantes.

Espace des primitives

La première étape de recalage de deux images consiste à choisir l'espace des primitives à apparier dans la mise en correspondance. Elles jouent un rôle fondamental dans la procédure de recalage. On distingue les primitives géométriques telles que les points, les contours ou les régions et les primitives iconique basé sur l'intensité (des pixels). Les primitives doivent être visibles sur une série temporelle d'images, ce qui signifie que la stabilité dans le temps et l'invariance aux changements géométriques et radiométriques sont nécessaires (Barazzetti *et al.*, 2017). C'est pourquoi, les algorithmes automatiques doivent être capables de gérer ces différentes variations.

Afin de recaler des images multi-dates, il y a est donc nécessité de choisir des primitives qui permettent de réduire tout d'abord, le bruit du capteur et/ou d'autres distorsions telles que l'illumination solaire et les conditions atmosphériques. Ensuite, elles doivent être des objets distinctifs, qui sont

uniformément réparties sur l'image. Quant au coût de calcul, il est essentiel de le minimiser en réduisant la taille de l'espace de recherche des primitives (Brown, 1992). Les primitives géométriques sont utilisées pour établir la correspondance entre l'image source et l'image cible. Nous pouvons distinguer trois types de primitives géométrique: points, ligne et région. Les points sont les primitives les plus recherchées, car leurs coordonnées sont directement utilisées pour déterminer les paramètres de la fonction de transformation qui permet de recaler les deux images (Goshtasby, 2004). Les coins sont les primitives les plus stables pour l'appariement des images; ils sont invariants à la rotation, aux changements d'échelle, et des conditions de prise de vue ou d'occultation.

Les points d'intérêt sont appelés dans la littérature les points de contrôle (PC). Diverses méthodes ont été proposées pour détecter des points d'intérêts (Tableau 1). ils peuvent être classés en deux principales catégories: approche contours (Li *et al.*, 2008; Lowe, 2004) et approche intensité (Anuta, 1970; Bentoutou *et al.*, 2006; Harris et Stephens, 1988). La première approche basée sur le contour détecte d'abord les contours, puis recherche les points de courbures maximales ou des points d'inflexion le long de ces contours. La deuxième approche, qui est la plus utilisée, consiste à repérer les points où l'intensité varie fortement dans une ou plusieurs directions.

Le choix du détecteur approprié est crucial pour une mise en correspondance robuste. La robustesse d'un détecteur dépend de la source des distorsions entre l'image source et l'image cible. En effet, certains détecteurs peuvent être mieux adaptés que d'autres à certains types de distorsion. Étant donné que les images à recaler seront soumises à une ou plusieurs formes de distorsion géométrique et/ou radiométrique, il est impératif de sélectionner le détecteur optimal en fonction de son invariance aux changements d'intensité, à la distorsion géométrique et au bruit. L'éva-

Tableau 1: Caractéristiques des détecteurs les plus utilisés dans la littérature

Détecteur	Type	Description	Avantages
Détecteur de Harris et Stephens (Harris et Stephens, 1988)	Corners	Ce détecteur consiste essentiellement à maximiser la différence d'intensité dans toutes les directions pour un déplacement	Les coins sont révélés avoir une bonne invariance par rotation.
le détecteur de Harris-Laplace (Mikolajczyk et Schmid, 2004).	Corners	Mikolajczyk et Schmid propose une approche multi-échelle du détecteur de Harris, basée sur le Laplacien. Les points d'intérêt ainsi obtenus sont définis par leurs coordonnées et par leur échelle caractéristique.	Détecteur invariant à l'échelle.
Détecteur de David Lowe SIFT (Scale Invariant Feature Transform) (Lowe, 2004)	Blobs	L'algorithme consiste à détecter les extrema dans l'espace-échelle Gaussien. L'espace-échelle est défini comme la fonction produit de convolution entre la gaussienne et l'image.	Détecteur invariant à l'échelle, à la rotation et partiellement invariant aux changements d'illumination.
BRISK	Corners	Il consiste à extraire les coins en utilisant l'algorithme AGAST, puis les affines avec le score de coin FAST dans chaque couche de la pyramide de l'espace d'échelle.	Détecteur invariant à la rotation.
Détecteur fast-hessien (Bay <i>et al.</i> , 2006)	Blobs	Bay et al. proposent un détecteur, basé sur une approximation du filtrage gaussien, leur permettant de diminuer considérablement les temps de calculs.	Détecteur invariant à l'échelle.
Détecteurs Harris-affine et Hessian-affine	Corners	Mikolajczyk et Schmid proposent de coupler un détecteur multi-échelles avec une méthode de normalisation affine.	Détecteur invariant aux transformations affines et projectives.
Détecteur MSER	blobs	L'approche consiste à classifier l'image et à détermine une fonction d'intensité en se basant sur l'aire de chaque classe. Les régions d'intérêt correspondent donc à celles qui restent robustes aux différents seuillages de cette fonction d'intensité.	Détecteur invariant aux transformations affines et projectives.

luation d'un détecteur est basée sur deux critères majeurs, à savoir la répétabilité et la précision de la localisation (Goshtaby, 2012; Schmid *et al.*, 2010). Ces deux critères sont contradictoires car le lissage améliore la répétabilité mais dégrade la précision de localisation (Canny, 1986). Schmid *et al.* (2010) ont comparé divers détecteurs de coins et ont constaté que le détecteur de coins (Harris et Stephens, 1988) produit la meilleure répétabilité et le meilleur contenu d'information sur un large éventail d'images. Selon Goshtaby (2012), lorsque l'on compare la précision de localisation et la répétabilité des détecteurs de coins avec différents détecteurs de blob, les détecteurs de blob ont tendance à être plus performants que les détecteurs de coins. En termes d'invariance aux changements géométriques, SIFT a produit la meilleure précision de localisation, tandis que le détecteur Laws mask (Laws, 1980) a généré les points les plus répétables et homogénéisés parmi tous les détecteurs testés (Goshtaby, 2012).

Mesure de similarité

Le second critère à optimiser dans le processus de recalage est la mesure de similarité. Il consiste à calculer la similitude entre un ensemble de couples d'objets. De nombreuses mesures de similarité ont été développées à ce jour, elles fournissent des résultats d'appariement assez différents.

La mise en correspondance des primitives iconiques utilise des mesures de similarité comme la corrélation croisée CC (Cross Correlation), la somme des valeurs absolues et la corrélation de phase (Tableau 2). Par contre l'appariement des primitives géométriques est fondé sur la minimisation de la distance entre les descripteurs qui sont construits grâce aux attributs de la primitive géométrique tels que la position, l'échelle et les orientations principales. Une variété de mesures de distance sont définies dans la littérature, comme la différence absolue et la distance partielle de Hausdorff qui sont privilégiées pour les images de télédétection qui nécessitent des méthodes de calcul de distance robustes (Eastman et Netanyahu, 2011).

Le calcul de la mesure de similarité constitue le coût de correspondance E_c . La primitive qui maximise (ou minimise) E_c sera considéré comme l'homologue fiable à la primitive à apparier. Pour réduire l'effet des variations dans l'illumination entre l'image source et l'image cible, il est nécessaire de normaliser les mesures de similarité. La mesure de similarité optimale est choisie de manière à produire les meilleurs résultats d'appariement en présence des distorsions de l'image.

Espace de recherche

Une fois la correspondance entre les primitives est effectuée, on doit définir le type de la transformation pour aligner l'image source par rapport à l'image de référence. Le choix du type de la transformation des images dépend de la nature et la source des distorsions de l'image, et donc même si de nombreux types de distorsions puissent être présents dans l'image, la technique de recalage doit sélectionner la nature de la transformation qui supprimera uniquement les distorsions spatiales entre les deux images dues à la différence entre leurs acquisitions et non aux changements de la surface terrestre. Par conséquent, un recalage précis nécessite un choix adéquat de la transformation optimale qui modélise correctement les distorsions dans la géométrie des images (Brown, 1992).

Les fonctions, utilisées pour recaler les images de télédétection, peuvent être globale ou locale. D'une part, la transformation globale est appliquée de manière identique à tous les pixels de l'image. D'autre part, La transformation locale est basée sur les déformations locales. En effet, chaque segment de l'image possède son propre modèle de transformation. Les transformations locales sont généralement plus précises mais aussi plus exigeantes en termes de calcul (Fonseca et Manjunath, 1996). Si la transformation ne tient pas compte des distorsions de la scène ou si les informations sur la géométrie de prise de vues sont insuffisantes, l'alignement global peut être appliqué à l'aide d'une transformation polynomiale. Cependant, les transformations locales sont nécessaires dans le cas des distorsions

Tableau 2: Mesures de similarités utilisées dans le calage des images

Mesure de similarité	Avantages
Coefficient de corrélation normalisé (CCN) (Iwasaki et Fujisada, 2005) (Baillarin <i>et al.</i> , 2011; Sylvander <i>et al.</i> , 2000)	Ce coefficient est précis en présence de bruit blanc mais ne tolère pas les distorsions locales.
Corrélation de phase (De Castro & Morandi, 1987) (Gonzalez, 2011; Tong <i>et al.</i> , 2019; Priyanka, 2020)	Le PC est robuste au bruit corrélé, aux variation d'illumination et réduit le temps de calcul.
M-estimator (Huber, 1981; Arya, 2007; Kim <i>et al.</i> , 2004)	Cette approche est robuste en présence de bruit et d'occultations et fournit des résultats meilleures que celles obtenues par l'information mutuelle et CNN.
Information Mutuelle (Cole-rhodes <i>et al.</i> , 2003; Kern <i>et al.</i> , 2007; Chen et Chen, 2003; Cariou et Chehdi, 2008; Inglada <i>et al.</i> , 2008; Li <i>et al.</i> , 2020)	L'approche devrait s'appliquer au recalage des images acquises par des capteurs hétérogènes et à partir de différents angle de prise de vue.
Somme des différences au carré (Li <i>et al.</i> , 2020) (Cho <i>et al.</i> , 2003; Smith <i>et al.</i> , 1998; Olson, 2000)	Cette mesure donne un faible taux de de mise en correspondance en présence des zones d'occlusion et de changements de luminosité entre les deux images.
Somme des différences en valeur absolue (Hamzah <i>et al.</i> , 2017; Hamzah <i>et al.</i> , 2020)	Efficace pour identifier des correspondances entre des images sans distorsions locales.
Distance partielle de Hausdorff (Huttenlocher et Rucklidge, 1993; Mount <i>et al.</i> , 1999; Netanyahu <i>et al.</i> , 2004; Chen et Huang, 2007)	La distance de Hausdorff partielle convient mieux aux images de télédétection que la distance de Hausdorff standard.
Différence absolue (Hagedoorn et Veltkamp, 1999; Mount <i>et al.</i> , 1999)	Cette mesure est robuste contre les perturbations, l'occlusion et invariant aux transformations affines.

de perspective, ou des distorsions non linéaires dues au capteur (Tableau 3). Celles-ci peuvent être construites à partir d'une interpolation par morceaux.

Stratégie de recherche

En raison du coût de temps de traitement élevé associés à l'espace des primitives et le type des mesures de similarité, la dernière étape du processus de recalage consiste à améliorer l'efficacité des algorithmes en optimisant le choix de l'espace et de la stratégie de recherche. Cette dernière doit être conçue de manière à limiter le nombre des mesures de similarité et des primitives à calculer afin de trouver en un temps raisonnable la transformation spatiale optimale. Cette exigence est d'autant plus grande que la distorsion locale de l'image à recalcer est importante (Brown,

1992; Eastman et Netanyahu, 2011). Il existe diverses stratégies de recherche parmi lesquelles les techniques multi-échelles, la relaxation, la programmation linéaire, la programmation dynamique, les algorithmes génétiques et le gradient stochastique (Tableau 4).

Méthodes de recalage des images

Selon la nature des primitives choisies, deux approches se distinguent (Brown, 1992): le recalage géométrique et le recalage iconique. La première approche s'effectue en deux étapes. La première étape consiste à extraire les primitives géométriques (points, courbes, surfaces...) à l'aide des détecteurs. Dans la deuxième étape, les primitives géométriques sont ensuite appariées deux à deux en utilisant une description construite sur leurs voisins.

Tableau 3: Les caractéristiques des transformations spatiales utilisées dans le recalage des images. α : Rotation, (x_0, y_0) pixel de l'image source, (x_i, y_i) pixel de l'image cible et t_x, t_y translations

Type de la transformation spatiale	Formule	Avantages
Affine (Dai et Khorram, 1999)	Transformation avec 6 paramètres: $\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{13} \\ a_{23} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$	Suffisante pour faire correspondre deux images d'une scène prises sous le même angle de prise de vue.
Rigide	Transformation avec 3 paramètres : $\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$ Où α : Rotation, t_x et t_y	Cette transformation conserve notamment la colinéarité, les distances et les angles.
Projective	Transformation avec 9 paramètres: $x_i = \frac{a_{11}x_0 + a_{12}y_0 + a_{13}}{a_{31}x_0 + a_{32}y_0 + a_{33}}$ $y_i = \frac{a_{21}x_0 + a_{22}y_0 + a_{23}}{a_{31}x_0 + a_{32}y_0 + a_{33}}$	Cette méthode permet de transformer les données capturées directement à partir de photographies aériennes.
Thin Plate Splines (TPS) (Bentoutou et al., 2005) (Arévalo et González, 2008)	TPS ajuste une fonction de correspondance $f(x)$, entre les ensembles de points correspondants x_i et y_i , qui minimise la fonction d'énergie suivante: $E_{tps}(f) = \sum_{i=1}^k \ y_i - f(x_i)\ ^2$	Arévalo et al. ont trouvé que le TPS est mieux adapté pour les images non orthorectifiées, alors que les polynômes globaux du quatrième ordre sont plus adéquats pour les images orthorectifiées acquises sur un terrain à relief élevé à partir de différents angle de prise de vue.

Tableau 4: Stratégies de recherche utilisées dans le recalage des images

Stratégie de recherche	Avantages et exemples de référence
Technique multi-échelle	Le recalage précis des images bruitées est obtenu par une décomposition hiérarchique multi-échelle des images (Yan et al., 2013; Paquin et al., 2006).
Algorithme de relaxation	Approche pratique des transformations globales lorsque des distorsions géométriques locales sont présentes (Gang et Zhang, 2008).
Gradient stochastique	Le gradient stochastique apporte des améliorations significatives de la solution optimale par rapport aux méthodes en termes de précision et de robustesse (Li et Sato, 2007, Cole-rhodes et al., 2003; Daly et al., 2020; Hong et Zhang, 2005; Eastman et Moigne, 1998).
Algorithme génétique	Cette méthode permet de s'échapper des optima locaux et les chromosomes progressent vers un optimum global (Nguyen, 2017; Daly et al., 2020; Seixas et Conci, 2008).
Programmation linéaire	Pour résoudre le système de contraintes d'inégalité linéaire, utilisé pour trouver une transformation rigide pour la correspondance des points avec des limites d'erreur en forme de polygone à chaque point (Yang et al., 2017).
Programmation dynamique	Offre un système efficace pour faire correspondre les images dont les distorsions sont non linéaires, y compris les objets bruités ou primitives homologues manquantes (telles que les occlusions) (Dare et Dowman, 2001; Maître et Wu, 1987)

La deuxième approche s'appuie sur l'intensité du voisinage du pixel de l'image cible T_r et celle de chaque pixel de la zone de recherche dans l'image source T_s . Ce voisinage est appelé un *template* ou fenêtre de corrélation. Elle est souvent connue sous le nom de *template matching* ou de la mise en correspondance par la corrélation. La mise en correspondance est réalisée en calculant une mesure de similarité entre T_r et T_s . Afin d'améliorer la robustesse et la précision des techniques géométriques et iconiques, des méthodes hybrides combinant ces différentes approches ont été proposées dans la littérature (Rasmy *et al.*, 2021). Le recalage des images basé sur la méthode de Fourier est une technique de recalage iconique, qui est théoriquement plus précise, plus efficace et peu sensible au bruit ou à la variation du contraste. C'est pourquoi elle a suscité beaucoup d'intérêt dans les communautés de la vision par ordinateur, de la photogrammétrie et de la télédétection. En raison de ses avantages remarquables, la corrélation de phase a été recommandée dans de nombreux articles de synthèse et ouvrages sur le recalage d'images (Tong *et al.*, 2019).

La corrélation de phase est une méthode permettant de mesurer les déplacements entre plusieurs images, et elle a été utilisée pour la première fois pour le recalage d'images dans les années 1970. Ces dernières années, le recalage d'images par la transformée de Fourier a fait des progrès substantiels en termes de précision, de robustesse et d'efficacité. Malgré les efforts récents pour améliorer les performances, une revue unifiée de ces développements a reçu moins d'attention. Par conséquent, une revue de la littérature actuelle s'avère nécessaire pour résumer et décrire ce sujet en pleine expansion.

Dans cette revue, nous présentons un aperçu des théories fondamentales qui sous-tendent la méthode de Fourier, ainsi qu'une analyse des méthodes actuelles de recalage hybride et subpixelique et discutons des défis et des orientations futures de la recherche.

Principe de la corrélation de phase

Il convient de rappeler que la méthode de corrélation de phase fournit un pic net distinct au point de co-registation. Le principe de la corrélation de la phase est le suivant:

Soient et deux images qui diffèrent seulement d'une translation de vecteur (Δ_x, Δ_y) tel que:

$$i_2(x, y) = i_1(x - \Delta_x, y - \Delta_y) \quad (1)$$

Avec i_1 : L'image de référence et i_2 : L'image cible.

On note I_1 et I_2 leurs transformées de Fourier. D'après la propriété de translation «Theorem shift»:

$$I_2(\omega_x, \omega_y) = I_1(\omega_x, \omega_y) e^{-j(\omega_x \Delta_x + \omega_y \Delta_y)} \quad (2)$$

où w_x et w_y sont les composante de fréquence des colonnes et lignes de l'image.

On calcule le spectre de puissance croisé $[w_x, w_y]$ de ces deux images est défini comme suit:

$$Q(w_x, w_y) = \frac{I_1[w_x, w_y] I_2^*[w_x, w_y]}{|I_1[w_x, w_y] I_2^*[w_x, w_y]|} = e^{j(w_x \Delta_x + w_y \Delta_y)} \quad (3)$$

où * représente le conjugué d'un nombre complexe.

Le déplacement relatif des images peut donc être estimé à partir de la pente 2D de la phase du spectre croisé normalisé. En appliquant la transformée de Fourier inverse F^{-1} à (3), on obtient la fonction de corrélation suivante:

$$C(w_x, w_y) = \mathcal{F}^{-1}\{e^{j(w_x \Delta_x + w_y \Delta_y)}\} = \delta(x + \Delta_x, y + \Delta_y) \quad (4)$$

Le déplacement relatif des images peut alors être estimé à partir des coordonnées du pic de corrélation. Dans le cas d'un déplacement sub-pixelique, ce pic n'est plus une fonction delta de Dirac, mais une version sous-échantillonnée d'un noyau de Dirichlet (Feroosh *et al.*, 2002). Un traitement supplémentaire est alors nécessaire pour calculer les composantes du véritable vecteur de déplacement de l'image.

Recalage hybride basé sur la corrélation de phase

Ces dernières années, diverses approches hybrides combinant à la fois des méthodes basées sur les primitives iconiques et des méthodes basées sur les primitives géométriques ont été développées afin d'obtenir un recalage d'image fiable et précis. Dans Huang *et al.*, (2004), les auteurs ont proposé une méthode hybride de recalage d'images basée sur un détecteur entropique et une mesure de similarité robuste. Leur approche consiste en deux étapes: l'extraction des régions saillantes invariantes à l'échelle pour chaque image et l'estimation des correspondances en utilisant une correspondance conjointe entre plusieurs paires de caractéristiques de régions et le coefficient de corrélation entropique. Les résultats expérimentaux sur des images médicales ont montré que la méthode proposée présente une excellente robustesse au bruit de l'image. Dans (Mekky et Kishk, 2011), le concept de la pyramide hiérarchique basée sur les ondelettes est combiné avec MI et SIFT pour aligner les images médicales. Cette approche est comparée à différentes méthodes de recalage d'images, à savoir la corrélation croisée, le recalage hiérarchique basé sur MI, le recalage utilisant les caractéristiques SIFT et la technique de recalage hybride décrite dans Suri *et al.* (2009). L'idée de cette étude était donc d'étudier les performances de la méthode proposée avec les résultats obtenus par les mêmes algorithmes dans le domaine spatial. Les résultats expérimentaux ont montré que les méthodes de recalage proposées dans le domaine des ondelettes pouvaient atteindre de meilleures performances que celles dans le domaine spatial. Ezzeldeen *et al.* (2010) ont mené une étude comparative entre une technique basée sur la transformée de Fourier rapide (FFT), une technique basée sur les contours, une technique basée sur les ondelettes, une technique basée sur le réseau neuronal couplé par impulsion de Harris (PCNN) et une technique basée sur le moment de Harris pour les images de télédétection Landsat Thematic Mapper (TM) et SPOT. Il a été observé que la technique la plus appropriée était la FFT, bien qu'elle ait le RMSE le plus élevé, supérieur à 2, alors que la méthode qui a détecté le plus grand nombre de points de contrôle dans les deux images était la technique basée sur les ondelettes. Dans Feng *et al.*, (2019), un algorithme de recalage pour les images de télédétection à différentes résolutions spatiales (3,7, 16 et 30 m) en deux étapes a été proposé. Dans la première étape, les points correspondants sont détectés et mis en correspondance à l'aide de l'algorithme SIFT. Après avoir éliminé les valeurs aberrantes à l'aide de la méthode RANSAC (Random Sample Consensus),

une fonction de poids est introduite pour distribuer le poids aux différents points d'intérêt afin d'améliorer les performances du modèle projectif local. Ensuite, un deuxième recalage est appliqué en utilisant l'estimation de Huber et le tenseur de structure (ST) à l'échelle plus fine pour minimiser l'influence des aberrations restantes sur le modèle de transformation. Les résultats montrent que l'algorithme proposé peut atteindre une précision de recalage fiable pour des différents types de terrain. Dans (Zheng et Zheng, 2019), une autre approche basée sur la corrélation de phase et le détecteur affine de Harris a été proposée pour les images de bâtiments extérieurs. Tout d'abord, les zones de chevauchement des images de référence et des images cibles sont déterminées à l'aide des paramètres de translation récupérés par la corrélation de phase. Ensuite, les points d'intérêt sont détectés à l'aide du détecteur affine de Harris et mis en correspondance avec la corrélation croisée normalisée (CCN). Les résultats de l'expérience montrent que la méthode d'appariement des primitives atteint une précision d'environ 69,2 % pour 13 paires de points d'intérêt appariés.

Bien que la plupart des approches parviennent à un résultat raisonnable, leurs performances ont tendance à être fortement affectées par la présence de distorsions locales. La connaissance des caractéristiques de chaque type de distorsion locale doit être prise en compte pour concevoir et développer une approche de recalage robuste pour les images de télédétection à très haute résolution spatiale (THRS). De plus, le rééchantillonnage préalable de l'image cible avant d'effectuer le processus de corrélation introduisait une mesure erronée de la similarité et réduisait la précision de tous le processus de corrélation, et donc de tous le processus de recalage (Leprince *et al.*, 2007b).

Recalage subpixelique par la transformée de Fourier

La mise en correspondance précise des images est une étape cruciale du recalage d'images de télédétection multi-sources dont l'éclairage peut être très différent. Pour ces images, les algorithmes de mise en correspondance ne peuvent souvent atteindre la précision qu'au niveau du pixel en raison de l'effet du bruit et du type des distorsions dans les paires d'images. Il est donc nécessaire de développer des algorithmes de corrélation sub-pixelique qui améliorent la précision, la robustesse et l'efficacité de la mise en correspondance. En effet, pour traiter le bruit dépendant de la fréquence dû à l'illumination ou aux changements de capteurs, la corrélation de phase basée sur les propriétés invariantes de la transformée de Fourier est un bon candidat. Parmi les techniques de recalage sub-pixelique les plus développées sont les méthodes de Fourier utilisées dans de nombreuses applications telles que la détection des changements, la fusion des images, la stéréo-vision et le suivi des objets. Ces méthodes s'avèrent robustes et efficaces vis-à-vis du bruit corrélé (Gottesfeld, 1992; Foroosh *et al.*, 2002; Zitová et Flusser, 2003). La plupart de ces méthodes sont en fait des variantes de la méthode de corrélation de phase standard (Kuglin et Hines, 1975).

Plusieurs approches de corrélation de phase sub-pixelique ont été développées, qui sont généralement classées en deux grandes catégories: les méthodes mises en œuvre soit dans le domaine spatial au moyen du pic de corrélation net, soit dans le domaine fréquentiel au moyen des différences de phase. Les fonctions de corrélation (Rassouliha *et al.*, 2018) ou la décomposition des images (Moisan et Moisan, 2011) sont souvent utilisées pour réduire l'impact des effets de bord lorsqu'on utilise l'hypothèse de périodicité de la transformée de Fourier discrète. Le tableau 5 présente un résumé des méthodes de corrélation de phase subpixelique classées selon les deux catégories.

Tableau 5: Mise à jour du résumé des méthodes de corrélation d'images subpixelique basées sur la méthode de Fourier (Tong et al., 2019)

Classe	Solutions et modèles	Références
Domaine spatial	Centroïde du pic	(Druckmüller, 2009; Caron <i>et al.</i> , 2016; Michel et Rignot, 1994)
	Fonction quadratique	(Tian et Huhns, 1986; Abdou, 1998; Argyriou et Vlachos, 2004; Heid et Käab, 2012)
	Fonction gaussienne	(Abdou, 1998; Eckstein <i>et al.</i> , 2008; R <i>et al.</i> , 2014; Li <i>et al.</i> , 2016), (Lynch et Devaney, 2018)
	Dérivation sinc	(Foroosh <i>et al.</i> , 2002; Nagashima <i>et al.</i> , 2006; Chen et Yap, 2008; Ren <i>et al.</i> , 2009; Ma <i>et al.</i> , 2017; Zoetgnande <i>et al.</i> , 2019)
	Fonction de Dirichlet	(Takita <i>et al.</i> , 2003a; Takita <i>et al.</i> , 2004; Chen <i>et al.</i> , 2018)
	Fonction sinc modifiée	(Argyriou et Vlachos, 2007),
	Ondelette en chapeau mexicain modifiée	(Argyriou et Tzimiropoulos, 2016; Tzimiropoulos <i>et al.</i> , 2011; Ye <i>et al.</i> , 2018)
	Zero-padding	(Young et Driggers, 2005; Zhang <i>et al.</i> , 2011; Alba <i>et al.</i> , 2015)
	Multiplication matricielle	(Guizar-Sicairos <i>et al.</i> , 2008a; Wang <i>et al.</i> , 2012; Yousef <i>et al.</i> , 2015)
	Optimisation	(Roesgen, 2003; Guizar-Sicairos <i>et al.</i> , 2008a; Alba <i>et al.</i> , 2015)
Domaine fréquentiel	Ajustement plane	(Rassouliha <i>et al.</i> , 2018; Roesgen, 2003; Stone <i>et al.</i> , 2001; Malcolm <i>et al.</i> , 2002; Averbuch et Keller, 2002; González <i>et al.</i> , 2010; Llewellyn <i>et al.</i> , 2010; He <i>et al.</i> , 2011; Tong <i>et al.</i> , 2015; Ye, Tong <i>et al.</i> , 2018)
	Ajustement linéaire	(Hoge, 2003; Foroosh et Balci, 2004; Hoge et Westin, 2005; Keller et Averbuch, 2007; Estépar <i>et al.</i> , 2009; Xiaohua <i>et al.</i> , 2015; Wang <i>et al.</i> , 2017; Chen <i>et al.</i> , 2018; Dong <i>et al.</i> , 2018; Ye <i>et al.</i> , 2018)
	Estimation du signal en dents de scie	(Foroosh et Balci, 2004; Balci et Foroosh, 2006; Zuo <i>et al.</i> , 2012)
	Estimation de la fréquence	(Xu et Varshney, 2009)
	Optimisation	(Kim et Su, 1993; Puymbroeck <i>et al.</i> , 2000; Leprince <i>et al.</i> , 2007a; Abdou, 1998)

Calcul du déplacement subpixelique dans le domaine spatial

Dans la première approche, le déplacement sub-pixelique est estimé dans le domaine spatial à l'aide de la méthode de la transformée de Fourier inverse par interpolation, ajustement ou autres approches similaires aux méthodes de mise en correspondance traditionnelles. La fonction sinc est l'un des modèles d'ajustement les plus couramment utilisés (Hassan Foroosh et al., 2002) (Takita et al., 2003b; Argyriou, 2018). Argyriou a modifié la fonction sinc conventionnelle pour s'adapter à l'emplacement exact du pic sous-pixel en utilisant la pondération gaussienne, ce qui permet une meilleure approximation de la surface de corrélation bruyante (Argyriou et Vlachos, 2007). Une autre alternative réalisable, qui peut fournir des estimations précises de l'emplacement réel du pic consiste à minimiser la fonction de corrélation (Roengen, 2003; Guizar-Sicairos et al., 2008a; Alba et al., 2015). Les méthodes de recalage subpixelique dans le domaine spatial sont sensibles aux erreurs d'aliasing dispersées à la suite de la transformation inverse du spectre de puissance croisée (Foroosh et Balci, 2004). En revanche, ces artefacts sont évités dans la deuxième approche, qui peut estimer les décalages subpixelique directement dans le domaine fréquentiel.

Ajustement de Sinc (SincFit)

Foroosh et al. (2002) ont dérivé les expressions analytiques pour le spectre de puissance croisée normalisée de deux images sous-échantillonnées pour étendre la méthode à l'estimation du décalage subpixelique des images sous-échantillonnées. Le modèle est basé sur l'hypothèse que les images présentant des décalages subpixelique étaient en fait déplacées à l'origine par des valeurs entières, qui ont ensuite été réduites à des valeurs subpixelique en raison du sous-échantillonnage. Ils ont montré que dans le cas d'images sous-échantillonnées, la corrélation de phase ne contient pas un seul pic cohérent, mais plutôt plusieurs pics cohérents, les plus éminents étant largement juxtaposés. La transformée de Fourier inverse discrète de la PC donne un noyau de Dirichlet 2-D:

$$C(x, y) = \frac{1}{WH} \frac{\sin(\pi(Mx - x_p))}{\sin(\pi(Mx - x_p)/W)} \frac{\sin(\pi(Ny - y_p))}{\sin(\pi(Ny - y_p)/H)} \quad (5)$$

où W et H sont la largeur et la hauteur de l'image avant le sous-échantillonnage, x_p et y_p désignent les décalages entières avant le sous-échantillonnage, et M et N sont les échelles de sous-échantillonnage. La fonction de Dirichlet dans (12) peut être approximée par une fonction sinc comme suit:

$$C(x, y) \approx \frac{\sin(\pi(Mx - x_p))}{\pi(Mx - x_p)} \frac{\sin(\pi(Ny - y_p))}{\pi(Ny - y_p)} \quad (6)$$

En conséquence, en utilisant le pic principal (x_0, y_0) à valeur entière et un pic latéral concentré dans chaque direction (x_s, y_0) et (x_0, y_s), où $x_s = x_0 \pm 1$ et $y_s = y_0 \pm 1$, une solution analytique pour les décalages subpixelique ($\Delta x, \Delta y$) peut être fournie comme suit:

$$\Delta x = \frac{x_p}{M} = \frac{\pm R_x x_0 - x_s}{\pm R_x - 1}, R_x = \frac{C(x_0, y_0)}{C(x_s, y_0)} \quad (7)$$

$$\Delta y = \frac{y_p}{M} = \frac{\pm R_y y_0 - y_s}{\pm R_y - 1}, R_y = \frac{C(x_0, y_0)}{C(x_0, y_s)} \quad (8)$$

Il y a deux solutions dans chaque direction obtenue à partir de l'équation ci-dessus, et la solution est correcte lorsque $\Delta x - x_0$ ou $\Delta y - y_0$ est dans l'intervalle [-1;1] et a le même signe que $x_s - x_0$ ou $y_s - y_0$.

Sur la base de la méthode de Foroosh (Foroosh et al., 2002), plusieurs améliorations ont été apportées (Argyriou et Vlachos, 2007; Ren et al., 2009; Nagashima et al., 2006) resulting in long computation times. In this paper, we propose a Peak Evaluation Formula (PEF (Ma et al., 2017; Zoetgnande et al., 2019). Dans Argyriou et Vlachos (2007), une fonction esinc modifiée est utilisée pour ajuster l'emplacement subpixelique exact du pic. Cette modification consiste à appliquer une pondération gaussienne à une fonction sinc classique. Elle est définie comme suit:

$$esinc(x) = \exp(-x^2) \frac{\sin \pi x}{\pi x} \quad (9)$$

POC gradient minimization (GradPOC)

Une autre alternative de recalage subpixelique peut être effectué directement en déterminant l'emplacement du pic de la fonction de corrélation par optimisation non linéaire (Roengen, 2003; Guizar-Sicairos et al., 2008a; Alba et al., 2015). Elle consiste à trouver le maximum de la fonction de corrélation définie comme l'inverse de la transformée de Fourier du spectre de puissance croisée normalisée s'écrit de la manière suivante:

$$C(x, y) = \sum_{u=0}^{W-1} \sum_{v=0}^{H-1} Q(u, v) \exp \left\{ i2\pi \left(\frac{ux}{W} + \frac{vy}{H} \right) \right\} \quad (10)$$

Afin de trouver les extrema de C(x,y), on peut simplement trouver les zéros de sa dérivée C'(x,y). La dérivée de la fonction de corrélation est donnée par:

$$\nabla C(x, y) = \left[\frac{\partial C}{\partial x}(x, y), \frac{\partial C}{\partial y}(x, y) \right] \quad (11)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x}(x, y) = -\frac{2\pi}{W} \sum_{u=0}^{W-1} \sum_{v=0}^{H-1} u \operatorname{Im} \left\{ Q(u, v) \exp \left\{ i2\pi \left(\frac{ux}{W} + \frac{vy}{H} \right) \right\} \right\} \quad (12)$$

$$\frac{\partial C}{\partial y}(x, y) = -\frac{2\pi}{H} \sum_{u=0}^{W-1} \sum_{v=0}^{H-1} v \operatorname{Im} \left\{ Q(u, v) \exp \left\{ i2\pi \left(\frac{ux}{W} + \frac{vy}{H} \right) \right\} \right\} \quad (13)$$

où I_m désigne l'opérateur qui prend la partie imaginaire et W et H sont la largeur et la hauteur de l'image. La localisation du pic subpixelique peut être résolue en trouvant les zéros de $\nabla C(x, y)$. On peut aussi l'approximer en minimisant l'amplitude du gradient en valeur réelle (Alba et al., 2013). Cela se traduit mathématiquement par la résolution du problème d'optimisation non linéaire suivant:

$$(\Delta x, \Delta y) = \arg \min \|\nabla C(x, y)\|^2 \quad (14)$$

La plupart des méthodes d'optimisation nécessitent une bonne solution initiale, heureusement, l'estimation du déplacement à valeurs entières fournit déjà un point de départ approprié. Alba et al. (2013) ont trouvé que la recherche du minimum par la méthode de Simplexe de Nelder-Mead permet d'obtenir une meilleure résolution car elle évite le calcul de la dérivée de second ordre qui est très sensible au bruit (Alba et al., 2013). En effet, la dérivation augmente la valeur de la transformée de Fourier des hautes fréquences.

Calcul du déplacement subpixelique dans le domaine fréquentiel

Trois algorithmes ont été proposés: la méthode SVD (décomposition en valeurs singulières) (Hoge, 2003), la méthode d'ajustement 2D (Stone *et al.*, 2001) et l'optimisation non linéaire (Alba *et al.*, 2013; Leprince *et al.*, 2007a; Abdou, 1998; Puymbroeck *et al.*, 2000). Hoge a utilisé la méthode SVD, conformément au théorème d'Eckart-Young-Mirsky, pour déterminer les décalages sub-pixelique en trouvant l'approximation optimale de premier rang de la matrice du spectre de puissance croisée normalisé (Hoge, 2003). Dans Alba *et al.*, (2013), une optimisation non linéaire robuste a été proposée pour estimer les déplacements sub-pixeliques, par rapport au produit interne hermitien, en maximisant la norme de la projection du spectre croisé normalisé calculé des images sur l'espace continu défini par l'espace théorique. Dans Leprince *et al.*, (2007a), une autre méthode d'optimisation a été proposée, basée sur la norme de Frobenius, qui minimise la différence entre le spectre croisé calculé et le spectre croisé théorique. Plus récemment, dans Ye *et al.*, (2018), les auteurs ont combiné la mise en correspondance améliorée de PC avec un détecteur de caractéristiques de congruence de phase basé sur des blocs pour estimer précisément la translation d'images satellitaire multi-capteur. Dans Tong *et al.*, (2015), une autre approche s'est concentrée sur les effets d'aliasing sur l'estimation des déplacements en utilisant un ajustement 2D et l'estimateur de densité maximale du noyau (MKDE). Foroosh *et al.* (2002) ont étendu la méthode de corrélation de phase à une précision inférieure au pixel en utilisant des images sous-échantillonnées. Dans Guizar-Sicairos *et al.*, (2008a), les auteurs ont utilisé le suréchantillonnage, à l'aide de la multiplication matricielle, du spectre de puissance croisée normalisé dans le domaine des fréquentiel pour estimer le décalage subpixelique.

Pour améliorer la précision des algorithmes de recalage à l'échelle sub-pixelique, la méthode d'optimisation doit être initialisée de manière appropriée pour converger vers la solution optimale (Leprince *et al.*, 2007b). En outre, la conception ou la sélection de la méthode optimale de corrélation de phase de précision sub-pixelique pour un problème spécifique nécessite la prise en compte du type de primitives à extraire, de la stratégie de mise en correspondance et de la source de distorsion présente dans les images à recalage (Brown, 1992; Tong *et al.*, 2019).

Ajustement linéaire dans l'espace des fréquences (LinFit)

Si le terme d'interférence est ignoré, la matrice normalisée du spectre de puissance est théoriquement une matrice de rang un, puisque chaque élément dans $Q(u,v)$ est séparable, tel que:

$$Q(u, v) = e^{j(u\Delta x + v\Delta y)} = e^{ju\Delta x} e^{jv\Delta y} = q_x(u)q_y(v) \quad (15)$$

Ceci implique que le problème de la détermination des décalages subpixelique peut être simplifié en trouvant l'approximation optimale de rang un de la matrice normalisée du spectre de puissance croisée. Dans (Hoge, 2003), la meilleure approximation à bas rang a été obtenue par la méthode de décomposition en valeurs singulières (SVD) selon le théorème d'Eckart-Young-Mirsky. Cette technique permet de réduire le bruit des données et de séparer

les deux composantes horizontale et verticale du décalage entre les images. La décomposition en valeurs singulières de la matrice Q de taille $M \times N$ est la suivante:

$$Q(u, v) = U \Sigma V^T \quad (16)$$

où $\{.\}^T$ désigne la transposée complexe-conjuguée, U et V sont les vecteurs singuliers et Σ est la matrice diagonale des valeurs singulières non nulles σ .

Le vecteur singulier gauche dominant u_1 est le résultat de la résolution de $u_1^T u_1 = 1$, et correspond à la plus grande valeur singulière. Le changement de phase linéaire le long de u_1 correspond à la translation verticale Δx . En utilisant un ajustement par moindres carrés (LSF), la phase de u_1 est déballée (unwrapped) pour estimer Δx . La pente de la ligne ajustée, μ , correspond au décalage $\Delta x = \mu M / 2\pi$, pour le cas $v = q_x$, et $y = \mu N / 2\pi$ pour le cas $v = q_y$.

Optimisation non linéaire

Dans le domaine des fréquences, la fonction objective peut être formulée au moyen du spectre de puissance croisée normalisé mesuré $Q(\omega_x, \omega_y)$ et du spectre théorique $S(\omega_x, \omega_y) = e^{-i(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y)}$. Dans Leprince *et al.*, (2007b), une méthode d'optimisation subpixelique a été proposée qui consiste à minimiser la norme de Frobenius de la différence entre le spectre de puissance croisée mesuré et théorique. La fonction objective est la suivante:

$$\phi(\Delta x, \Delta y) = \sum_{\omega_x = -\pi}^{\pi} \sum_{\omega_y = -\pi}^{\pi} W(\omega_x, \omega_y) \times |Q(\omega_x, \omega_y) - e^{i(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y)}|^2 \quad (17)$$

où W est une matrice de pondération ou de masquage des fréquences.

Le problème d'optimisation peut être résolu par un algorithme de descente de gradient avec une initialisation appropriée.

Synthèse

Le choix de la méthode de recalage appropriée est dicté par les critères suivants: (1) le choix des meilleures primitives géométrique robuste au bruit, aux artefacts et aux changements liés à l'acquisition; (2) l'acquisition d'un nombre suffisant de points de contrôle répartis de manière homogène; (3) la sélection de la mesure de similarité la moins sensible au bruit; (4) la mise en oeuvre des techniques d'optimisation pour aboutir à une précision de localisation subpixelique des primitives; (5) le traitement des valeurs aberrantes inévitables; et (6) la possibilité de sélectionner la fonction de transformation appropriée pour chaque type de déformation géométrique entre les images. Parmi les nombreuses approches de recalage proposées récemment, la mise en correspondance basée sur la méthode de Fourier a fait des progrès significatifs et a suscité un grand intérêt de la part des chercheurs dans diverses applications, notamment dans le domaine de la télédétection, ce qui a conduit au développement d'un certain nombre de méthodes sub-pixeliques visant à améliorer la précision et la robustesse. Cette méthode est non seulement précise sur le plan théorique et efficace sur le plan informatique, mais elle présente également l'avantage d'être moins sensible au bruit et aux variations d'illumination entre les paires d'images multimodales. Ces caractéristiques lui permettent d'atteindre une précision subpixelique lorsqu'elle est combinée avec d'autres stratégies d'optimisation.

Les études comparatives (Tableau 6) des méthodes de mise en correspondance basée sur la méthode de Fourier (Tong *et al.*, 2019; Ye *et al.*, 2020). Rassouliha *et al.*, (2018) montrent que les méthodes de corrélation de phase calculées dans le domaine fréquentiel sont plus précises, mais plus lentes, tandis que dans le domaine spatial, elles sont plus efficaces, mais moins robustes. En effet, le manque de robustesse des méthodes de Fourier calculées dans le domaine spatial est dû à la transformation inverse du spectre de puissance croisée qui conduit à la dispersion des artefacts comme le bruit et l'aliasing/crénelage du spectre se produisant essentiellement dans les hautes fréquences. Les méthodes d'optimisation non linéaires et l'ajustement linéaire et plan dans le domaine fréquentiel produisent les meilleurs résultats. En ce qui concerne la méthode du centroïde du pic, bien qu'elle soit une interpolation simple, elle est sensible au bruit et souffre d'erreurs systématiques. Une autre approche a été adoptée par certains auteurs (Foroosh *et al.*, 2002; Argyriou et Vlachos, 2007; Nagashima *et al.*, 2006) consiste à approximer la fonction de corrélation par une fonction sinc. Cette approche a permis d'améliorer la précision de la mise en correspondance. De plus, la technique de suréchantillonnage du spectre de puissance croisée normalisé représente une autre alternative dont l'estimation des déplacements reste relativement modeste en termes de précision (Guizar-Sicairos *et al.*, 2008b; Li *et al.*, 2022). Comme inconvénient majeur, cette approche est caractérisée par un temps de calcul prohibitif. Pour réduire le temps de calcul et améliorer son efficacité, le suréchantillonnage local s'avère nécessaire.

Dans le cadre des études susmentionnées, des approches supplémentaires sont mises en œuvre dans le processus d'appariement afin d'améliorer la robustesse et la précision de l'estimation des déplacements à savoir le masquage de fréquence (Stone *et al.*, 2001; Leprince *et al.*, 2007b), la multi-résolution (Ruttimann *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2019; Gao et Li, 2021; Li *et al.*, 2022; Alba *et al.*, 2015).

CONCLUSION

Le recalage d'images est un élément clé et essentiel de l'analyse des images de télédétection multi-dates en vue de la fusion des données, de la détection des changements, de la cartographie temporelle, etc. Compte tenu de l'augmentation du taux de capture d'images par les systèmes satellitaires et de la complexité croissante des analyses temporels, il existe un besoin accru d'algorithmes de recalage subpixelique précis, entièrement automatiques et efficaces. Les méthodes de recalage subpixelique ont fait des progrès significatifs ces dernières années, en particulier un intérêt majeur a été accordé au développement des méthodes de recalage d'images basé sur la méthode de Fourier qui présente des avantages indéniables. Les composantes principales du processus de recalage constituent l'étape initiale de cette revue. Ensuite, les méthodes de mise en correspondance subpixelique hybrides et celles basées sur la méthode de Fourier ont été résumés selon deux catégories, à savoir le calcul du déplacement subpixelique dans le domaine spatial et dans le domaine fréquentiel. En outre, les progrès récents des méthodes de corrélation d'images basées sur la méthode de Fourier ont conduit au développement d'un certain nombre de méthodes subpixeliques visant à améliorer la performance et l'efficacité. Nous avons brièvement passé en revue les études comparatives des principales méthodes. Cet article a pour but de fournir aux chercheurs les innovations les plus récentes et de promouvoir d'autres recherches sur les méthodes de recalage d'images basés sur la corrélation de phase afin de développer de nouvelles variantes. Bien que des progrès substantiels aient été réalisés ces dernières années dans le domaine de la corrélation d'images basée sur la méthode de Fourier, des améliorations sont encore possibles et de nombreuses questions doivent être approfondies. Afin de sélectionner les algorithmes optimaux et d'évaluer les performances des différentes méthodes subpixelique, il convient de mettre en œuvre une plateforme des différents algorithmes de mise en correspondance basés sur la méthode de Fourier. Aussi, une base de données de référence accessibles au public s'avère utile afin d'aboutir à une comparaison fiable.

Tableau 6: Vingt et une paires d'images synthétiques ont été générées à partir de l'interpolation bicubique d'une image de référence avec des décalages subpixelique allant de -1 à 1 pixel avec un pas de 0,1 (Tong *et al.*, 2019), Six paires d'images ont été obtenues à partir de sources différentes: Boston, Aerial1, Aerial2, Face, MRI, et Bark (Alba *et al.*, 2015)

Classe	Auteurs	Méthodologie	Erreur moyenne absolue (Tong <i>et al.</i> , 2019)	RMSE (Alba <i>et al.</i> , 2013)	Caractéristiques
Domaine spatial	(Michel et Rignot, 1994)	Centroïde du pic	0.0785	0.067	Cette méthode est sensible aux bruits et souffre d'erreurs systématiques.
	(Foroosh <i>et al.</i> , 2002)	Dérivation sinc	0.0607	0.062	Ces méthodes sont plus précises à des niveaux de bruit légers ou modérés.
	(Vasileios <i>et al.</i> , 2007)	Fonction sinc modifiée	0.0484	-	
	(Alba <i>et al.</i> , 2013)	Optimisation	-	0.068	
Domaine fréquentiel	(Guizar-Sicairos <i>et al.</i> , 2008a)	Sur-échantillonnage	0.0890	0.095	L'estimation des déplacements reste relativement modeste en terme de précision (Alba <i>et al.</i> , 2015).
	(Stone <i>et al.</i> , 2001)	Ajustement plane	0.0144	-	Une longue latence est associée au calcul de l'angle de phase.
	(Hoge, 2003)	Ajustement linéaire	0.0143	0.189	Ces deux approches sont robustes au bruit et permettent d'atteindre une estimation sub-pixelique des déplacements.
	(Leprince, <i>et al.</i> , 2007a)	Optimisation	0.0182	-	

RÉFÉRENCES

- Abdelfattah R., Nicolas J.M. (2005). InSAR image co-registration using the Fourier–Mellin transform. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 2865–2876.
- Abdou I.E. (1998). Practical approach to the registration of multiple frames of video images. In K. Aizawa, R.L. Stevenson, Y.-Q. Zhang (Eds.), *Visual Communications and Image Processing '99*, 3653: 371–382.
- Alba A., Aguilar-ponce R.M., Viguera-Gomez J.F. (2013). Phase correlation based image alignment with subpixel accuracy. *Advances in Artificial Intelligence*, 7629: 71–182.
- Alba A., Viguera-Gomez J.F., Arce-Santana E.R., Aguilar-Ponce R.M. (2015). Phase correlation with sub-pixel accuracy: A comparative study in 1D and 2D. *Computer Vision and Image Understanding*, 137: 76–87.
- Anuta P.E. (1970). Spatial Registration of Multispectral and Multitemporal Digital Imagery Using Fast Fourier Transform Techniques. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 8: 353–368.
- Arévalo V., González J. (2008). An experimental evaluation of non-rigid registration techniques on QuickBird satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29: 513–527.
- Argyriou V., Vlachos T. (2004). Using gradient correlation for sub-pixel motion estimation of video sequences, In *2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 3: 329–332.
- Argyriou V. (2018). Asymmetric Bilateral Phase Correlation for Optical Flow Estimation in the Frequency Domain. *14th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*: 166–173.
- Argyriou V., Tzimiropoulos G. (2016). Frequency domain sub-pixel registration using HOG phase correlation. *Computer Vision and Image Understanding*, 155: 70–82.
- Argyriou V., Vlachos T. (2007). On the estimation of subpixel motion using phase correlation. *Journal of Electronic Imaging*, 16: 33018–33018.
- Arya K. V. (2007). Image registration using robust M-estimators. *Pattern Recognition Letters*, 28: 1957–1968.
- Averbuch A., Keller Y. (2002). FFT based image registration. In *2002 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 4: 3608–3611.
- Baillarin S., Bouillon A., Bernard M., Chikhi M., Image S., Image B.S., Masks Q. (2011). Using a three dimensional spatial database to orthorectify automatically remote sensing images. *Proceedings of the ISPRS Hangzhou 2005 Workshop*, 89–94.
- Balci M., Foroosh H. (2006). Subpixel Registration Directly from the Phase Difference. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2006: 1–11.
- Barazzetti L., Scaioni M., Gianinetti M. (2017). Automatic Co-registration of Satellite Time Series via Least Squares Adjustment. *European Journal of Remote Sensing*, 47: 55–74.
- Bay H., Tuytelaars T., Gool L. Van. (2006). SURF: Speeded Up Robust Features. *Lecture notes in computer science*, 3951: 404–417.
- Bentoutou Y., Taleb N., Kpalma K., Ronsin J. (2005). An automatic image registration for applications in remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: 2127–2137.
- Bentoutou Y., Taleb N., Kpalma K., Ronsin J. (2006). A Feature-Based Approach to Automated Registration of Remotely Sensed Images. *2nd International Conference on Information & Communication Technologies*, 1: 1835–1840.
- Brown L.G. (1992). A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys*, 24: 326–376.
- Canny J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *Ieee Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8: 679–698.
- Cariou C., Chehdi K. (2008). Automatic georeferencing of airborne pushbroom scanner images with missing ancillary data using mutual information. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46: 1290–1300.
- Caron J.N., Montes M.J., Obermark J.L., Caron J.N., Montes M.J., Obermark J.L. (2016). Extracting flat-field images from scene-based image sequences using phase correlation. *Review of Scientific Instruments*, 87: 063710.
- Chen H., Chen H. (2003). Mutual information based image registration for remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 3701–3706.
- Chen J., Xu W., Xu H., Lin F., Sun Y., Shi X. (2018). Fast Vehicle Detection Using a Disparity Projection Method. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19: 2801–2813.
- Chen L., Yap K.H. (2008). An effective technique for subpixel image registration under noisy conditions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 38: 881–887.
- Chen T., Huang T.S. (2007). Optimizing Image Registration by Mutually Exclusive Scale Components. In *2007 IEEE 11th International Conference on Computer Vision* (pp. 1–8).
- Chen Z., Liu B., Wang S., Liu E. (2018). Efficient subpixel registration for polarization-modulated 3D imaging. *Optics Express*, 26: 23040.
- Cho S., Chung Y., Lee J.Y. (2003). Automatic Image Mosaic System Using Image Feature Detection and Taylor Series. In *Proceedings of the 7th International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications*, 549–556.
- Cole-rhodes A.A., Johnson K.L., Lemoigne J., Member S. (2003). Multiresolution Registration of Remote Sensing Imagery by Optimization of Mutual Information Using a Stochastic Gradient. *IEEE transactions on image processing*, 12: 1495–1511.
- Dai X., Khorram S. (1999). A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37: 2351–2362.
- Daly A., Yazid H., Solaiman B., Ben Amara N.E. (2020). Multimodal Medical Image Registration Based on a Hybrid Optimization Strategy. In *2020 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)* (pp. 1–5).
- Dare P., Dowman I. (2001). An improved model for automatic feature-based registration of SAR and SPOT images. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56:13–28.
- De Castro E., Morandi C. (1987). Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-9*: 700–703.
- Dong Y., Jiao W., Long T., He G., Gong C. (2018). An extension of phase correlation-based image registration to estimate similarity transform using Multiple Polar Fourier Transform. *Remote Sensing*, 10: 1719.
- Dong Y., Long T., Jiao W., He G., Zhang Z. (2018). A novel image registration method based on phase correlation using low-rank matrix factorization with mixture of Gaussian. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56: 446–460.
- Eastman R.D., Moigne J.Le. (1998). Gradient Descent Techniques for Multitemporal and Multi-Sensor Image Registration of Remotely Sensed Imagery. *FUSION/2001, 4th International Conference on Information Fusion*, pp. 7–10.
- Eastman R.D., Moigne J.Le, Netanyahu N.S. (2007). Research issues in image registration for remote sensing. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1–8.
- Eckstein, A.C., Charonko J., Vlachos P. (2008). Phase correlation processing for DPIV measurements. *Experiments in Fluids*, 45: 485–500.
- Ezzeldeen R.M., Ramadan H.H., Nazmy T.M., Yehia M.A., Abdel-Wahab M.S. (2010). Comparative study for image registration techniques of remote sensing images. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 13: 31–36.

- Fan Y., Wang F., Wang H. (2022). A Transformer-Based Coarse-to-Fine Wide-Swath SAR Image Registration Method under Weak Texture Conditions. *Remote Sensing*, 14: 1175.
- Feng R., Du Q., Li X., Shen H. (2019). Robust registration for remote sensing images by combining and localizing feature- and area-based methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 151: 15–26.
- Fonseca L.M.G., Manjunath B.S. (1996). Registration Techniques for Multisensor Remotely Sensed Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62:1049–1056.
- Foroosh H., Zerubia, J.B., Berthod M. (2002). Extension of phase correlation to subpixel registration. *IEEE Transactions on Image Processing*, 11: 188–199.
- Foroosh H., Balci M. (2004). Sub-pixel registration and estimation of local shifts directly in the fourier domain. *2004 International Conference on Image Processing, 2004. ICIP'04*. 3: 1915–1918.
- Gang H., Zhang Y. (2008). Computers & Geosciences Wavelet-based image registration technique for high-resolution remote sensing images, *Computers & Geosciences*, 34:1708-1720.
- Gao C., Li W. (2021). Multi-scale PIIFD for Registration of Multi-source Remote Sensing Images. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2104.12572>.
- Georgescu B., Meer P. (2004). Point matching under large image deformations and illumination changes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26: 674–688.
- González P.J., Chini M., Stramondo S., Fernández J. (2010). Coseismic horizontal offsets and fault-trace mapping using phase correlation of IRS satellite images: The 1999 Izmit (Turkey) earthquake. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48: 2242–2250.
- Gonzalez R. (2011). Improving Phase Correlation for Image Registration. *Image And Vision Computing New Zealand*, 6 pp.
- Goshtaby. (2012). Image registration: Principles, tools and methods. Springer-Verlag; London.
- Goshtasby A.A. (2004). 2-D and 3-D Image Registration. 2-D and 3-D Image Registration. John Wiley & Sons.
- Guizar-Sicairos M., Thurman S.T., Fienup J.R. (2008). Efficient subpixel image registration algorithms. *Optics Letters*, 33:156-158.
- Hagedoorn M., Veltkamp R.C. (1999). Reliable and efficient pattern matching using an affine invariant metric. *International Journal of Computer Vision*, 31: 203–225.
- HajiRassouliha A., Taberner A.J., Nash M.P., Nielsen P.M.F. (2018). Subpixel phase-based image registration using Savitzky–Golay differentiators in gradient-correlation. *Computer Vision and Image Understanding*, 170: 28–39.
- Hamzah R.A., Hamid M.S., Kadmin A.F., Ghani S.F.A. (2017). Improvement of stereo corresponding algorithm based on sum of absolute differences and edge preserving filter. In *2017 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)* (pp. 222–225).
- Hamzah R.A., Wei M.G.Y., Anwar N.S.N. (2020). Development of stereo matching algorithm based on sum of absolute RGB color differences and gradient matching. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10: 2375–2382.
- Harris C., Stephens M. (1988). A Combined Corner and Edge Detector. *Proceedings of the Alvey Vision Conference*, 23.1-23.6.
- He B., Guijinwang Lin, X. Shi C., Liu C. (2011). High-Accuracy sub-pixel registration for noisy images based on phase correlation. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E94-D: 2541–2544.
- Heid, T., Käbb, A. (2012). Evaluation of existing image matching methods for deriving glacier surface displacements globally from optical satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118: 339–355.
- Hoge WS., Westin C. (2005). Identification of translational displacements between N-dimensional data sets using the high order SVD and phase correlation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 14: 884-889.
- Hoge W.S. (2003). A Subspace Identification Extension to the Phase Correlation Method, *IEEE transactions on medical imaging*, 22: 277–280.
- Hong G., Zhang Y. (2005). The image registration technique for high resolution remote sensing image in hilly area. *IEEE/ISPRS 3rd International Symposium*.
- Huang X., Sun Y., Metaxas D., Sauer F., Xu C. (2004). Hybrid image registration based on configural matching of scale-invariant salient region features. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*.
- Huber P.J. (1981). *Robust statistics. Data Handling in Science and Technology* (Vol. 20).
- Huttenlocher, D. P., Rucklidge, W. J. (1993). A Multi-Resolution Technique for Comparing Images Using the Hausdorff Distance. In *Proceedings Of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 705–706.
- Inglada, J., Alain, G., Inglada, J., Giros, A. (2008). registration To cite this version: On the Possibility of Automatic Multisensor Image Registration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 2104–2120.
- Iwasaki, A., Fujisada, H. (2005). ASTER geometric performance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: 2700–2706.
- Keller, Y., Averbuch, A. (2007). A projection based extension of the phase correlation method. *Signal Processing*, 87: 124–133.
- Kern, J.P., Pattichis, M.S., Member, S. (2007). Robust Multispectral Image Registration Using Mutual-Information Models, 45: 1494–1505.
- Kim, J., Fessler, J. A., Member, S. (2004). Intensity-Based Image Registration Using Robust Correlation Coefficients, 23:1430–1444.
- Kim S.P., Su W.Y. (1993). Subpixel accuracy image registration by spectrum cancellation. In *1993 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 5: 153–156.
- Konstantinidis D., Stathaki T., Argyriou V. (2019). Phase Amplified Correlation for Improved Sub-pixel Motion Estimation. *IEEE Transactions on Image Processing*. 28: 3089-3101.
- Laws K.I. (1980). Rapid Texture Identification. In T. F. Wiener (Ed.), *Image Processing for Missile Guidance*, 238: 376–381.
- Lee W., Sim D., Oh S.J. (2021). A CNN-based high-accuracy registration for remote sensing images. *Remote Sensing*, 13: 1482.
- Leprince S., Ayoub F., Klingner Y., Avouac J.P. (2007). Co-Registration of Optically Sensed Images and Correlation (COSI-Corr): An operational methodology for ground deformation measurements. *2007 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1943–1946.
- Leprince S., Barbot S., Ayoub F., Avouac J.P. (2007). Automatic, Precise, Ortho-rectification and Coregistration for satellite Image Correlation, Application to Ground Deformation Measurement. *IEEE J. Geosci. Rem. Sens.*, 45: 1529–1558.
- Li J., Liu Y., Du S., Wu P., Xu Z. (2016). Hierarchical and Adaptive Phase Correlation for Precise Disparity Estimation of UAV Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54: 7092–7104.
- Li K., Zhang Y., Zhang Z., Lai G. (2019). A Coarse-to-Fine Registration Strategy for Multi-Sensor Images with Large Resolution Differences. *Remote Sensing*, 11: 470.
- Li Q., Sato I., Murakami Y. (2007). Efficient stochastic gradient search for automatic image registration. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 6(2).
- Li T., Wang J., Yao K. (2022). Subpixel image registration algorithm based on pyramid phase correlation and upsampling. *Signal, Image and Video Processing*, 16: 1973-1979.
- Li X., Hu Y., Shen T., Zhang S., Cao J., Hao Q. (2020). A comparative study of several template matching algorithms oriented to visual navigation. In Q. Dai, T. Shimura, Z. Zheng (Eds.), *Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology VII*, 11550: 66–74.
- Li Yang, Wang J., Yao K. (2022). Modified phase correlation algorithm for image registration based on pyramid. *Alexandria Engineering Journal*, 61: 709–718.

- Li Y., Stevenson R.L., Gai J. (2008). Line segment based image registration. *Visual Communications and Image Processing 2008*, 6822, 68221H.
- Llewellyn G., Morgan K., Member S., Liu J. G., Yan H. (2010). Precise Subpixel *Disparity Measurement From Very Narrow Baseline Stereo*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48: 3424–3433.
- Lowe D.G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International journal of computer vision*, 60: 91–110.
- Lowe G. (2004). SIFT - The Scale Invariant Feature Transform. *International Journal*, 2: 91–110.
- Lynch C., Devaney N. (2018). Registration for images in the presence of additive and multiplicative fixed-pattern noise. *Applied Optics*, 57: 1824.
- Druckmüller M. (2009). Phase correlation method for the alignment of total solar eclipse images, *The Astrophysical Journal*, 706:1605–1608.
- Ma N., Sun P.F., Men Y.B., Men C.G., Li X. (2017). A Subpixel Matching Method for Stereovision of Narrow Baseline Remotely Sensed Imagery. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017: 1–15.
- Maitre H., Wu Y. (1987). Improving dynamic programming to solve image registration. *Pattern Recognition*, 20: 443–462.
- Malcolm D.T.K., Nielsen P.M.F., Hunter P.J., Charette P.G. (2002). Strain measurement in biaxially loaded inhomogeneous, anisotropic elastic membranes. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 1: 197–210.
- Mekky N.E., Kishk S. (2011). Wavelet-Based Image Registration Techniques: A Study of Performance. *International journal of computer science and network security*, 11: 188–196.
- Michel R., Rignot E. (1999). Flow of Glaciar Moreno, Argentina, from repeat-pass Shuttle Imaging Radar images: comparison of the phase correlation method with radar interferometry. *Journal of Glaciology*, 45: 93–100.
- Mikolajczyk K., Schmid, C. (2004). Scale & Affine Invariant Interest Point Detectors. *International Journal of Computer Vision*, 60: 63–86.
- Mikolajczyk K., Schmid C. (2005). A Performance Evaluation of Local Descriptors. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 27: 1615–1630.
- Moisan, L. (2011). Periodic plus smooth image decomposition. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 39: 161–179.
- Mount D.M., Netanyahu N.S., Moigne J. Le (1999). Efficient algorithms for robust feature matching. *Pattern Recognition*, 32: 17–38.
- Nagashima S., Aoki T., Higuchi T., Kobayashi K. (2006). A sub-pixel image matching technique using phase-only correlation. *2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications, ISPACS'06*: 701–704.
- Netanyahu N.S., Le Moigne J., Masek J.G. (2004). Georegistration of landsat data via robust matching of multiresolution features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42: 1586–1600.
- Nguyen T. (2017). Optimal Ground Control Points for Geometric Correction Using Genetic Algorithm with Global Accuracy. *European Journal of Remote Sensing*, 48:101-120.
- Olson C.F. (2000). Maximum-likelihood template matching. *In Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2000 (Cat. No. PR00662)*, 2: 52–57.
- Paquin D., Levy D., Schreiber E. (2006). Multiscale image registration Dana Paquin. *Mathematical biosciences and engineering*, 3: 389.
- Priyanka M. (2020). ScienceDirect Remote Sensing Image Registration Methodology: Review and Discussion Remote Sensing Image S. Registration Methodology. *Procedia Computer Science*, 171: 2390–2399.
- Puybroeck V., Binet R., Avouac J. (2000). Measuring earthquakes from optical satellite images. *Applied Optics*, 39: 3486-3494.
- Qin-Sheng Chen, Defrise M., Deconinck F. (1994). Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16: 1156–1168.
- Eastman R.D., Netanyahu N.S., Le Moigne J. (2011). Survey of image registration methods. *Image registration for remote sensing*, 21: 35-76.
- Ren J., Vlachos T., Zhang Y., Zheng J., Jiang J. (2014). Gradient-based subspace phase correlation for fast and effective image alignment. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25: 1558-1565.
- Rasmy L., Sebari I., Ettarid M. (2021). Automatic sub-pixel co-registration of remote sensing images using phase correlation and harris detector. *Remote Sensing*, 13: 2314.
- Ren J., Jiang J., Vlachos T. (2009). High-Accuracy Sub-pixel Motion Estimation from Noisy Images in Fourier Domain. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19: 1379-1384.
- Roesgen T. (2003). Optimal subpixel interpolation in particle image velocimetry. *Experiments in Fluids*, 35: 252–256.
- San José Estépar R., Westin C.F., Vosburgh K.G. (2009). Towards real time 2D to 3D registration for ultrasound-guided endoscopic and laparoscopic procedures. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 4: 549–560.
- Scheffler D., Hollstein A., Diedrich H., Segl K., Hostert P. (2017). AROSICS: An automated and robust open-source image co-registration software for multi-sensor satellite data. *Remote Sensing*, 9: 676.
- Schmid C., Mohr R., Bauckhage C., Schmid C., Mohr R., Bauckhage C. (2010). Evaluation of Interest Point Detectors. *International Journal of computer vision*, 37: 151-172.
- Seixas F. L., Conci A. (2008). Image registration using genetic algorithms. *Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 1145-1146).
- Shah U.S., Mistry D. (2014). Survey of Image Registration techniques for Satellite Images. *International Journal for Scientific Research & Development*, 1: 2448–2452.
- Smith P., Sinclair D., Cipolla R., Wood K. (1998). Effective Corner Matching. *In Proceedings of the Ninth British Machine Vision Conference*, 1-12.
- Stone H.S., Orchard M.T., Chang E., Martucci S.A., Member S. (2001). A Fast Direct Fourier-Based Algorithm for Subpixel Registration of Images. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39: 2235–2243.
- Suri S., Schwind P., Reinartz P., Uhl J. (2009). Combining mutual information and scale invariant feature transform for fast and robust multisensor SAR image registration. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference*, 2: 795–806.
- Sylvander S., Henry P., Bastien-thiry C., Meunier F., Fuster D. (2000). Vegetation Geometrical Image Quality. *Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*.
- Takita K., Aoki T., Sasaki Y., Higuchi T., Kobayashi K. (2003a). High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E86-A: 1925–1934.
- Takita K., Muquit M. A., Aoki T., Higuchi T. (2004). A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E87-A: 1913–1923.
- Th P., Ruttimann U.E., Unser M., Member S. (1998). A Pyramid Approach to Subpixel Registration Based on Intensity. *IEEE transactions on image processing*, 7: 27–41.
- Tian Q., Huhns M.N. (1986). Algorithms for Subpixel Registration. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 35: 220–233.
- Tong X., Xu Y., Ye Z., Liu S., Li L., Xie H., Stilla U. (2015). An Improved Phase Correlation Method Based on 2-D Plane Fitting and the Maximum Kernel Density Estimator. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12: 1953–1957.

- Tong X., Ye Z., Xu Y., Gao S., Xie H., Du Q., Stilla, U. (2019). Image Registration With Fourier-Based Image Correlation: A Comprehensive Review of Developments and Applications. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 1–20.
- Tzimiropoulos G., Argyriou V., Stathaki T. (2011). Subpixel Registration With Gradient Correlation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20: 1761–1767.
- Wang C., Jing X., Zhao C. (2012). Local Upsampling Fourier Transform for accurate 2D / 3D image registration. *Computers and Electrical Engineering*, 38: 1346–1357.
- Wang H., Zhao J., Zhao J., Dong F., Pan Z., Feng Y. (2017). Position detection method of linear motor mover based on extended phase correlation algorithm. *IET Science, Measurement and Technology*, 11: 921–928.
- Wang S., Wang X., Li J. (2020). GF-2 Panchromatic and Multispectral Remote Sensing Image Registration Algorithm. *IEEE Access*, 8: 138067–138076.
- Tong X., Ye Z., Xu Y., Liu S., Li L., Xie H., Li T. (2015). A novel subpixel phase correlation method using singular value decomposition and unified random sample consensus. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53: 4143–4156.
- Xu M., Varshney P.K. (2009). A Subspace Method for Fourier-Based Image Registration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6: 491–494.
- Xu Q., Chavez A.G., Bulow H., Birk A., Schwertfeger S. (2019). Improved Fourier Mellin Invariant for Robust Rotation Estimation with Omni-Cameras. *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*: 320–324.
- Yan F., Wang W., Liu S., Chen W. (2013). A Hierarchical Image Matching Method for Stereo Satellite Imagery. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W1: 157–162.
- Yang K., Pan A., Yang Y., Zhang S., Ong S. H. (2017). Remote Sensing Image Registration Using Multiple Image Features. *Remote Sensing*, 9: 581.
- Ye M., Tang Z. (2013). Registration of correspondent points in the stereo-pairs of Chang'E-1 lunar mission using SIFT algorithm. *Journal of Earth Science*, 24: 371–381.
- Ye Z., Kang J., Yao J., Song W., Liu S., Luo X., Tong X. (2020). Robust fine registration of multisensor remote sensing images based on enhanced subpixel phase correlation. *Sensors (Switzerland)*, 20: 1–21.
- Ye Z., Tong X., Member S., Zheng S., Guo C., Gao S., Xie H. (2018). Illumination-Robust Subpixel Fourier-Based Image Correlation Methods Based on Phase Congruency. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57: 1995–2008.
- Ye Z., Tong X., Xu Y., Gao S., Liu S., Xie H., Liu X. (2018). An improved subpixel phase correlation method with application in videogrammetric monitoring of shaking table tests. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 84: 579–592.
- Ye Z., Xu Y., Chen H., Zhu J., Tong X., Stilla U. (2020). Area-based dense image matching with subpixel accuracy for remote sensing applications: Practical analysis and comparative study. *Remote Sensing*, 12: 696.
- Young S.S., Driggers R.G. (2005). Super-resolution image reconstruction from a sequence of aliased imagery. *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XVI*, 5784: 114.
- Yousef A., Li J., Karim M. (2015). High-speed image registration algorithm with subpixel accuracy. *IEEE Signal Processing Letters*, 22: 1796–1800.
- Zhang X., Abe M., Kawamata M. (2011). Reduction of computational cost of POC-based methods for displacement estimation in old film sequences. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E94-A: 1497–1504.
- Zhang Z., Lu H., Li X., Li W., Yuan W. (2014). Application of Improved Harris Algorithm in Sub-Pixel Feature Point Extraction. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 6: 101–104.
- Zheng Y., Zheng P. (2019). Image Matching Based on Harris-Affine Detectors and Translation Parameter Estimation by Phase Correlation. In *2019 IEEE 4th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)* (pp. 106–111).
- Zhu Q., Wu B., Wan N. (2007). A sub-pixel location method for interest points by means of the Harris interest strength. *Photogrammetric Record*, 22: 321–335.
- Zitová B., Flusser J. (2003). Image registration methods: A survey. *Image and Vision Computing*, 21: 977–1000.
- Zoetgnande Y.W.K., Fougères A.J., Cormier G., Dillenseger J. L. (2019). Sub-pixel matching method for low-resolution thermal stereo images. *ArXiv*, 1–14.
- Zuo C., Chen, Q., Gu G., Sui X. (2012). Registration method for infrared images under conditions of fixed-pattern noise. *Optics Communications*, 285: 2293–2302.

