

1 **Title : Review of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) diversity and**
2 **development in Africa.**

3
4 **Abstract**

5 Cassava is an important agricultural product that contributes to the food and nutritional
6 security of African populations. The aim of this article is to provide a critical analysis of
7 recent work carried out, in order to formulate research perspectives for the valorization
8 of cassava. A literature search focused on relevant articles on cassava published in
9 international databases. The results reveal that cassava is of great socio-economic
10 importance, with diversified interests depending on the crops grown in the production
11 zones. Despite the constraints that rank its yields among the lowest in the world, Africa
12 remains the leading producer, accounting for over 64% of global output. *Cassava Mosaic*
13 *Disease* and *Cassava Brown Streak Virus* are the main viral diseases causing huge production
14 losses. Work on varietal improvement has accelerated with initiatives to promote high-
15 yielding cultivars and industrial processing, improving food and nutritional security,
16 income generation and employment opportunities. While these studies highlight the
17 genetic diversity within cassava populations, they also underline the challenges of
18 managing this diversity effectively. This work, made possible by the development of
19 numerous genetic linkage maps and the use of statistical approaches, has made it possible
20 to assess phenotypic variability in order to identify genes and/or Quantitative Trait
21 Locus associated with traits of interest to the breeder. With the emergence of new DNA
22 sequencing techniques, genome-wide association studies are increasingly used for genetic
23 trait analysis. For future research, this review highlights the importance of understanding
24 the genetic basis of resistance to effectively combat viral threats. Future research will also
25 aim to position cassava as a resilient crop, adaptable to contemporary challenges and
26 capable of supporting the continent's agro-industrial transformation. This summary
27 article highlights the scientific knowledge on cassava's assets and outlines the research
28 prospects that should focus on exploiting its diversity to enhance the value of this crop.
29

30 **Keywords:** Cassava, production, importance, diversity, agromorphology, genetics.

Introduction

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est un petit arbuste vivace cultivé généralement pour ses tubercules riches en féculs et pour ses feuilles riches en protéines, en vitamines et en sels minéraux (Ceballos & De la Cruz, 2012 ; Da Costa *et al.*, 2013). Cette plante alimentaire tropicale, pluriannuelle et originaire d'Amérique latine, fait partie de la famille des Euphorbiaceae et du genre *Manihot* (Allem, 2002; Blagbrough *et al.*, 2010). C'est l'une des cultures vivrières les plus importantes servant de denrée alimentaire principale pour plus de 800 millions de personnes à l'échelle mondiale (Delêtre, 2010 ; Chavarriaga-Aguirre, 2016; Gmakouba *et al.*, 2018; Kimbala *et al.*, 2023). Le manioc représente la cinquième production végétale dans le monde, après le maïs, le riz, le blé, la pomme de terre (Vernier *et al.*, 2018; FAO, 2023). Cette culture contribue à la sécurité alimentaire et nutritionnelle, améliore les revenus des ménages, et par conséquent, les conditions de vie des populations (Tize *et al.*, 2021 ; Kadjegbin, 2024). Le manioc est utilisé pour l'alimentation humaine et animale, dans l'industrie artisanale et textile (Younoussa *et al.*, 2013 ; FAO, 2013). Malgré son importance socio-économique et ses potentialités, le manioc est confronté à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques qui réduisent ses rendements (FAO, 2010 ; Kosh-Komba *et al.*, 2021). Ces contraintes dommageables constituent des menaces majeures pour les ressources génétiques de cette plante, dont certains cultivars sont en voie d'extinction (FAO, 2010 ; Singer *et al.*, 2021).

Dans une perspective de conservation et d'amélioration variétale visant à renforcer la productivité sur le continent, des études de caractérisation agromorphologique et/ou génétique des variétés de manioc ont été menées en Afrique (Asare *et al.*, 2011; N'zue Boni *et al.*, 2014; Djaha *et al.*, 2017; Gmakouba *et al.*, 2018). En Afrique centrale, ces études se sont limitées à l'échelle de quelques pays (Kombo *et al.*, 2012; Kosh-Komba *et al.*, 2014; Nadjiam *et al.*, 2016; Otabo *et al.*, 2016; Temegne *et al.*, 2016). Au Gabon, très peu d'études de diversité des cultivars locaux de manioc ont été réalisées. Pourtant, les travaux menés par Delêtre *et al.* (2011) en combinant des approches historiques, sociologiques, ethnobotaniques et de génétique moléculaire, avaient mis en exergue l'existence d'une diversité génétique. D'ailleurs, l'étude conduite par Abessolo-Meye (2013) avait rapporté la présence d'une diversité génétique dans chaque pays ainsi qu'à l'échelle de la zone CEMAC.

Cette revue analytique vise à faire une synthèse des travaux sur la diversité du manioc cultivé et d'examiner les défis pour mieux identifier les nouvelles orientations à la recherche sur le manioc africain.

Méthodologie

La rédaction de cette revue analytique a fait objet d'une recherche bibliographique dans plusieurs bases de données, à savoir: ScienceDirect, Google Scholar et ResearchGate, Agora, Hal. Archive, etc. Les mots-clés utilisés pour la recherche comprenaient les combinaisons suivantes: "Manihot esculenta Crantz", "agro-morphologie", "production et importance", "diversité génétique", "maladies et ravageurs", "Afrique", "Gabon". Par ailleurs, plus d'une centaine d'articles scientifiques, de thèses et de mémoires parus dans des revues à diffusion internationale ont été exploités. En outre, des informations pertinentes sur le manioc provenant des fiches techniques et des communications scientifiques ont été collectées et rapportées dans ce travail de synthèse.

Résultats & Discussion

1. Importance alimentaire, nutritionnelle et socioéconomique

1.1. Importance alimentaire et nutritionnelle

Le manioc est l'une des plus importantes cultures à l'échelle mondiale; elle sert de denrée alimentaire pour plus de 800 millions de personnes (Delêtre, 2010 ; Chavarriaga-Aguirre, 2016; Gmakouba *et al.*, 2018; Kimbala *et al.*, 2023). Il représente la cinquième

production végétale dans le monde, après le maïs, le riz, le blé, la pomme de terre (Vernier *et al.*, 2018; FAO, 2023). En Afrique, le manioc représente au regard de sa forte production, la première ressource alimentaire (FAOSTAT, 2021). Plus de 500 millions de personnes consomment près de 100 Kcal par jour (Kawano, 2003; Wassie, 2020). Le manioc est cultivé dans les régions tropicales et subtropicales principalement pour ses racines, puis secondairement, pour ses feuilles riches en vitamine et en fer, consommées comme légumes (Achidi *et al.*, 2005). Les racines de manioc sont riches en glucides, calcium, potassium, phosphore, magnésium, vitamines B et C. D'ailleurs, il a été rapporté qu'en moyenne, près de 90% du poids sec des racines de manioc sont constitués de glucides, de 4% de fibres brutes, de 3% de cendres, de 2% de protéines brutes et de 1% de matières grasses (Fakir, 2012). Le manioc a le potentiel de produire et de stocker plus de glucides que n'importe quelle autre céréale ou racine cultivée. Il peut donc soutenir efficacement le développement de l'industrie de l'amidon (El-Sharkawy & Tafur, 2010). Les composés cyanogénétiques prédominants dans les racines et les feuilles de manioc sont la linamarine (95%) et la lotaustraline (5%) (Zidenga, 2017). La teneur en substances cyanogénétiques dans le manioc varie de 1 à 1300 mg/kg de poids sec (Siritunga, 2004). La variation de la teneur de ces composés est fonction de plusieurs paramètres dont la variété, l'âge de la culture, l'organe de la plante, les conditions édapho-climatiques pendant la période de culture (Aloys & Hui, 2006).

Les communautés africaines qui cultivent le manioc ont toujours transformé les racines d'une manière ou d'une autre pour prolonger la durée de conservation et réduire les composés toxiques du cyanure, généralement par hachage, lavage et séchage, ou par fermentation (Mahungu & Lukombo, 2014 ; TAAT, 2022). La consommation du manioc sous ses différentes formes dérivées, suit une diversité de pratiques culinaires selon les régions, les cultures et les savoir-faire. En Afrique de l'ouest, le manioc est consommé sous forme de tapioca, d'amidon, de gari, de farine brute, d'atiékè, de fufu, de beignet, de galettes, de cossettes (Younoussa *et al.*, 2013, Lamah *et al.*, 2023). En revanche, en Afrique centrale, les populations consomment le manioc particulièrement sous forme de cossettes, de farine fermentée et non-fermentée, de chikwangue, de ntuka, de malemba, de lituma, de gari, d'oyoko, de fuku, de boissons. (Westby, 2002 ; TAAT, 2022 ; Mahungu *et al.*, 2022). Généralement dans ces deux régions d'Afrique, les racines de manioc doux peuvent être directement consommées en les faisant bouillir à l'eau (Mahungu & Lukombo, 2014). La farine de manioc est aussi utilisée comme substitut à la farine de blé pour la panification (FAO, 2008 ; Bokossa *et al.*, 2012). Les feuilles de manioc sont pilées, bouillies et utilisées comme légumes (salés ou sucrés) dans différents types de préparations (Vernier *et al.*, 2018).

Le manioc est également utilisé pour l'alimentation animale et l'industrie (amidon, carburant)(Fakir *et al.*, 2010). Les cossettes sont utilisées comme aliment pour le bétail (Dahouda *et al.*, 2009). Les pays asiatiques comme la Thaïlande produisent en majorité le manioc pour l'amidon et quelques pays africains comme le Nigéria et l'Afrique du Sud suivent la même dynamique. L'amidon de manioc est de bonne qualité, contrairement à l'amidon issu des autres cultures; il est très limpide, très visqueux et très digestible, avec une grande stabilité dans les aliments acides (Abessolo-Meye, 2013). L'amidon dérivé des racines de manioc est utilisé dans la production de divers produits tels que les confiseries, les édulcorants, les colles, les contreplaqués, le textile, le papier, les produits biodégradables, la glutamine monosodique et les médicaments, l'alcool, les sirops (Chisenga *et al.*, 2019).

Dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne, le manioc est une denrée de réserve pour lutter contre l'insécurité alimentaire et fait partie intégrante des régimes alimentaires des populations (Parmar *et al.*, 2017). Des travaux en République du Congo ont rapporté l'incorporation de la farine du manioc, rendu panifiable, dans la production du pain

(Vernier *et al.*, 2018). Dans le but d'améliorer les caractéristiques nutritionnelles du manioc, de grands efforts ont été réalisés sur la sélection et la création de variétés à faible teneur en cyanogène par la mutagenèse et le génie génétique (Amelework *et al.*, 2022). De nouvelles variétés biofortifiées riches en fer, en zinc et en vitamine A ont été développées et testées; elles contribuent à améliorer la qualité nutritionnelle du manioc pour les populations (Ghislain *et al.*, 2019).

1.2. Importance socio-économique du manioc

Le manioc est une source importante de revenus agricoles dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne (Djinodji, 2018). De par son caractère rustique, le manioc est une culture accessible aux petits producteurs qui manquent parfois de ressources pour des cultures plus exigeantes (Parmar *et al.*, 2017). L'impact économique de cette culture vivrière va au-delà de la simple subsistance. C'est une culture qui peut améliorer de manière significative les revenus des ménages, car il peut être transformé en divers produits, ce qui crée des opportunités de marché et d'emploi supplémentaires au sein des communautés rurales (Landa & Miyalou, 2019). L'utilisation des racines et des feuilles de manioc offre aux agriculteurs de multiples sources de revenus et permet l'amélioration de leurs moyens de subsistance (Borku *et al.*, 2025). En outre, l'expansion des industries basées sur le manioc stimule le développement industriel rural en créant des emplois dans les usines de transformation et les secteurs connexes (Otekunrin & Sawicka, 2019). Par ailleurs, les avantages socio-économiques du manioc résident particulièrement dans sa contribution à la réduction de la pauvreté. Il apparaît que, dans les zones de production de manioc, où les cultures vivrières constituent la principale source de revenus, le manioc est la principale culture vivrière génératrice de revenus (Spencer & Ezedinma, 2017). L'augmentation de la production du manioc offre des sources de revenus stables aux populations pour répondre à leurs besoins de base et atténue les risques auxquels elles sont confrontées (Misganaw & Bayou, 2020). L'étude du marché du manioc en Afrique a montré que l'indice maximal des prix à la consommation (IPC), est plus élevé en Afrique de l'Ouest (6818,69) qu'en Afrique de l'Est (3985,54) et en Afrique centrale (2481,26). Cela indique que le changement de prix le plus important, lié à la dynamique du marché, s'est produit en Afrique de l'Ouest (Borku *et al.*, 2025).

La quasi-totalité de la production de manioc en Afrique subsaharienne est auto-consommée (Kimwanga *et al.*, 2021), par conséquent, le manioc représente une faible part dans les devises internationales et ne peut être considéré comme un produit d'exportation (Fofiri et Temple, 2023). Cependant, une opportunité semble désormais se présenter pour l'exportation de produits à base de manioc, car les exportateurs asiatiques traditionnels peinent à satisfaire la demande, notamment sur le marché de l'Union Européenne, en raison de l'évolution des coûts de production et de l'avantage comparatif (FAO, 2020).

2. Production et contraintes de la filière manioc

2.1. Production du manioc dans le monde, en Afrique et en Afrique Centrale

2.1.1. Production du manioc dans le monde

Le manioc est cultivé sur plus de 28 millions d'hectares pour une production mondiale de 315 millions de tonnes (FAOSTAT, 2023). Le continent africain est le premier producteur avec 64,76% de la production mondiale, suivi de l'Asie avec 26,67% et l'Amérique avec 8,57% comme l'illustre les données de la FAO en 2021 (Figures 1 et 2).

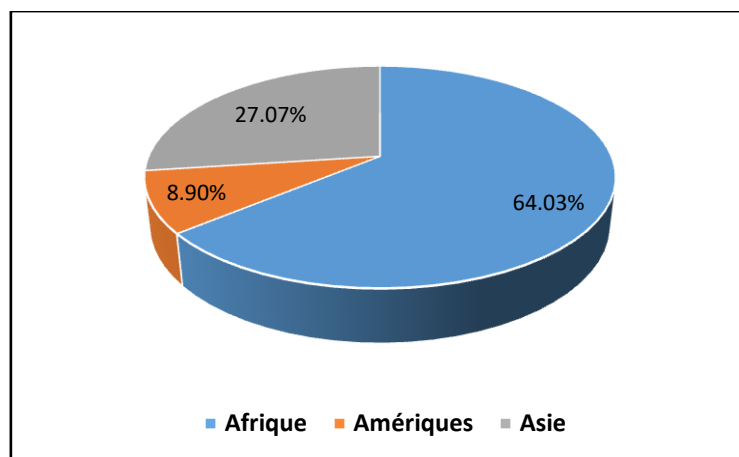


Figure 1. Répartition de la production mondiale de manioc
Source : FAOSTAT (2021).

Les données statistiques de la FAO révèlent que l'Afrique a un fort potentiel de production du manioc. Malgré tout, les producteurs de ce continent enregistrent des rendements plus faibles que ceux des producteurs d'Asie et d'Amérique latine (FAOSTAT, 2023). Les rendements moyens les plus élevés sont observés au Nigeria (11 t/ha), tandis qu'ils sont de 21 t/ha en Thaïlande, 18 t/ha en Indonésie et 14 t/ha au Brésil (FAOSTAT, 2023). Parmi les vingt (20) premiers producteurs mondiaux, douze (12) sont africains, deux (2) latino-américains et six (6) asiatiques (FAOSTAT, 2023). Au niveau mondial, les principaux producteurs de manioc sont le Nigeria (60 Millions de Tonnes MT), la République Démocratique du Congo (41 MT), la Thaïlande (29 MT), le Ghana (21 MT), le Brésil (18 MT) et l'Indonésie (18 MT).



Figure 2 : Carte de production du manioc par état et territoire (FAOSTAT, 2023)

2.1.2. Production du manioc en Afrique

Le manioc est cultivé dans trente-neuf pays en Afrique, de Madagascar dans le Sud-Est du continent, en passant par le centre jusqu'au Nord-Ouest du Sénégal (Delètre, 2010). La production africaine est de 204 000 tonnes (FAOSTAT, 2023). Cependant, le Nigeria est le premier producteur africain de manioc avec 60 Millions de Tonnes (MT). Il est suivi des pays tels que la République Démocratique du Congo (41 MT), le Ghana (22 MT), l'Angola (9MT), la Tanzanie (7,5MT), la Côte d'Ivoire (6,4 MT), le Cameroun (5 MT), le Bénin (4MT). Ces huit pays contribuent à près de 78% dans la production africaine de manioc (FAOSTAT, 2023). En termes de sous-région, l'Afrique de l'Ouest

est le plus grand producteur de manioc (96 223 919 T) devant l'Afrique centrale (52 019 759 T) et l'Afrique de l'Est (29 704 019 T).

2.1.3. Production de manioc en Afrique centrale

En Afrique centrale, le manioc est avant tout une culture de subsistance cultivée pour l'auto-consommation (Delêtre, 2010). Il participe également pour 29% de la production africaine de manioc. Dans cette sous-région, la République Démocratique du Congo (RDC) produit un peu plus du quart (71,8%) de la production ; c'est logiquement le premier producteur de manioc en Afrique centrale (FAOSTAT, 2021). Il est suivi de l'Angola (15,5%) et du Cameroun (7,8%)(FAOSTAT, 2021). La production de manioc des pays de la Communauté Economique et Monétaire d'Afrique Centrale (CEMAC) est dominée par le Cameroun qui est le premier producteur. Le Gabon n'occupe que la quatrième place. Le tableau 1 ci-dessous présente les productions de manioc en tonnes et en pourcentages en Afrique centrale.

Tableau 1 : Production du manioc en Afrique centrale

Pays	Production (tonnes)	Production (%)
République Démocratique du Congo	45 673 454	71,8
Angola	9 866 553	15,5
Cameroun	4 993 653,94	7,8
République du Congo	1 624 900,39	2,5
République Centrafricaine	821 510,18	1,3
Gabon	320 181,03	0,5
Tchad	295 061,52	0,5
Guinée-Equatoriale	73 705,31	0,1
Sao tomé et Principe	1 343,4	0,002

Source : FAOSTAT (2021)

Au Gabon en particulier, les rendements moyens dans les petites exploitations sont de 5t/ha (FAOSTAT, 2023). Toutefois, les travaux réalisés en station avec une combinaison de fumure organique (bouse de vache-fumure minérale NPK : 15-15-15) et l'utilisation des variétés améliorées ont donné des rendements moyens de l'ordre de 27t/ha (Ognalaga *et al.*, 2018). Malheureusement, il existe très peu de données disponibles sur le manioc au Gabon. Pourtant, c'est un aliment très consommé par plus de 80% de la population gabonaise (AGASA, 2020). C'est l'une des cultures stratégiques pour la relance du secteur agricole national, car il génère plusieurs revenus aux petits producteurs et contribue à la sécurité alimentaire et nutritionnelle (AGASA, 2020). Toutefois, le pays importe encore plus de 90 000 tonnes de manioc par an afin de combler le déficit par rapport à la demande (AGASA, 2020). L'importance de ce produit agricole pour les producteurs et les consommateurs montre qu'il existe de nombreuses opportunités pour la production et l'utilisation du manioc au Gabon

2.2. Contraintes liées à la production du manioc

La production du manioc est limitée par de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques. Les maladies et les ravageurs constituent les principales contraintes biotiques qui engendrent des pertes de rendements. Les maladies couramment rencontrées sur le manioc sont d'origine virale, fongique et bactérienne (Wydra et Verdier, 2002; Vernier *et al.*, 2018; Alonso Chavez *et al.*, 2022).

2.2.1. Principales contraintes biotiques

2.2.1.1. Les maladies virales du manioc

Ces viroses ont le plus fort impact sur la production et représentent une menace majeure pour la sécurité alimentaire. On distingue la mosaïque du manioc et la striure brune du manioc (Rey & Vanderschuren, 2017; Doungous *et al.*, 2022; Mouketou *et al.*, 2022; Bulonza *et al.*, 2023). Ces deux (2) maladies virales sont propagées à la fois par les boutures infectées et par un insecte vecteur (hémiptère), appelé mouche blanche ou aleurode (*Bemisia tabaci*; Aleyrodidae) (Casinga *et al.*, 2022 ; Bhaargaviet *et al.*, 2024).

● La mosaïque

La mosaïque (*Cassava Mosaic Disease*, CMD) se caractérise par une déformation et une forte décoloration des feuilles sous forme de panachure avec une réduction significative de la taille des racines provoquant des pertes allant de 50 à 90% selon le niveau de sensibilité de la variété (Otim-Nape *et al.*, 1994 ; Thresh *et al.*, 1997). Ces pertes varient d'une région de culture à une autre (Zinga *et al.*, 2008 ; Henry *et al.*, 2021). En République centrafricaine, l'enquête prospective menée par Zinga *et al.* (2008) a rapporté des pertes de rendement au niveau des tubercules de 49,1%, réduisant fortement l'effort des producteurs. La maladie de la mosaïque du manioc est causée par un éventail de virus qui appartiennent au genre *Begomovirus* et à la famille des Geminiviridae, communément appelé *Geminivirus* de la mosaïque du manioc (Legg & Fauquet, 2004; Zhou *et al.*, 1997). Les travaux de Legg *et al.* (2004) et ceux de Delêtre *et al.* (2011) menés au Gabon sur l'identification des virus responsables de la mosaïque du manioc ont mis en relief la présence de trois (3) espèces dont *African cassava mosaic virus* (ACMV), *East African cassava mosaic virus* (EACMV) et *East African cassava mosaic Uganda* (EACMV-Ug). Dans la perspective de gestion de ces maladies, des études (Mouketou *et al.*, 2022) ont rapporté que le développement des symptômes de la mosaïque diminuait non seulement avec l'augmentation de la température lors d'un traitement thermique, mais aussi avec les traitements aux extraits aqueux des boutures avant la phase de semis (Figure 2).



Figure 3 : Mode de traitement des boutures aux extraits aqueux

● La striure brune

La *Cassava Brown Streak Virus*, CBSV du manioc est une maladie virale qui se manifeste au niveau aérien par des taches chlorotiques qui s'observent le long des nervures des feuilles et par des stries nécrotiques brunes sur la tige (Vernier *et al.*, 2018). Cependant, les symptômes sur les racines tubéreuses sont des nécroses brunes des tissus amylacés et des constriction des racines (Hillocks *et al.*, 2002). Les pertes dues à cette virose sont de 100%, à cause des dommages importants des racines qui se nécrosent et deviennent inutilisables (Vernier *et al.*, 2018). A la faveur des échanges de boutures et changement climatique, cette virose s'est répandue dans d'autres pays de l'Afrique de

l'Est et du centre (Bigirimana *et al.*, 2004; Alicai *et al.*, 2007; Mbanzibwa *et al.*, 2011; Mulimbi *et al.*, 2012; Roux-Cuvelier *et al.*, 2014; Alicai *et al.*, 2016). La striure brune est causée par deux (2) virus du genre *Ipomovirus*, notamment : *Cassava Brown Streak Virus* et *Cassava Brown Streak Virus* Uganda (Monger *et al.*, 2010).

2.2.1.2. Les maladies fongiques

Ces maladies dues principalement aux champignons, affectent le manioc aux niveaux aérien et souterrain (FAO, 2010). On peut citer entre autres:

● Les nécroses foliaires du manioc

Ce sont des maladies fongiques causées par les genres *Cercospora*, et dont les symptômes sont visibles au niveau des parties aériennes. Elles ont globalement une incidence mineure sur la production (Hillocks & Wydra, 2001) mais peuvent causer des pertes de rendement d'environ 40% (Costa *et al.*, 2019). Ces pertes résultent de la réorientation de l'amidon des racines vers la reconstitution de la surface foliaire et des parties aériennes des plantes (Nascimento *et al.*, 2024). Trois espèces de champignon provoquent les taches foliaires sur le manioc. *Passalora vicosae* provoque des brûlures des feuilles, alors que *Passalora manibotisva* provoque l'apparition des taches blanches sur les feuilles (FAO, 2010). En outre, *Claroibulum henningsii* se manifeste par des taches brunes. Cette espèce est responsable de la nécrose foliaire la plus répandue dans les plantations ; elle apparaît dans la majorité des plantations au niveau des feuilles basales (Hillocks *et al.*, 2002). En général, ces nécroses foliaires sont favorisées par une température et une humidité relative élevées (Bandyopadhyay *et al.*, 2006).

● Les pourritures racinaires du manioc

Elles constituent une menace sérieuse pour la production du manioc dans les zones de culture (Makambila, 1994). Les symptômes des pourritures racinaires commencent dans le sol ; toutefois, leurs premiers symptômes ne sont pas discernables.

● Les nécroses racinaires

Elles se caractérisent par des pourritures molles ou sèches (Makambila, 1994). Les résultats des travaux de Makambila (1994) au Congo, de Bandyopadhyay *et al.* (2006) au Cameroun, de Mwangi *et al.* (2004) et Bakelana *et al.* (2020) en République Démocratique du Congo (RDC), de Kumulungui *et al.* (2012) au Gabon, attestent que cette maladie est bien présente en Afrique centrale.

● L'anthracnose

La *Cassava Anthracnose Disease*-CAD est présente dans toutes les zones tropicales (FAO, 2010), mais c'est dans les régions humides d'Amérique latine qu'elle est la plus commune. Cette maladie fongique est causée par un complexe de champignons parmi lesquels *Colletotrichum fructicola*, *C. tropicale*, *C. gloeosporioides*, *Colletotrichum theobromicola*, et *C. siamense*. L'établissement de ces pathogènes fait suite à l'affaiblissement de la plante par une punaise (*Pseudotheraptus devastans*) qui favorise les ouvertures par lesquelles entre le champignon. Les symptômes caractéristiques de l'anthracnose sont l'apparition des chancres (lésions fibreuses profondes) sur les jeunes tiges, le dessèchement de leurs extrémités, mais aussi, l'apparition des nécroses brunes sur les feuilles (Vernier *et al.*, 2018 ; Ehu *et al.*, 2019). L'anthracnose peut apparaître tout au long du développement de la plante, provoquant des chancres (lésions fibreuses) profonds sur les tiges, et les branches, ainsi que des taches sur les feuilles, le flétrissement, la rupture des tiges et, dans les cas les plus graves, la mort des plantes. Les pertes de rendement dues à l'anthracnose peuvent atteindre 90 % (Sangpueak *et al.*, 2018).

2.2.1.3. Les maladies bactériennes

Parmi les maladies bactérienne, on peut citer **la bactériose vasculaire** (*Cassava Bacterial Blight*, CBB) qui est la maladie bactérienne la plus dommageable sur le manioc (FAO, 2010). Elle est causée par la bactérie appelée *Xanthomonas phaseoli* *pv. manihoti* (Vernier *et al.*, 2018) et transmise par l'usage des boutures infectées et par les opérations culturales (outils de travail, sol, etc.). De plus, les pluies et les vents sont également impliqués dans la transmission de la bactériose du manioc (FAO, 2010). Les symptômes de cette bactériose sont généralement l'apparition de taches foliaires anguleuses d'aspect humide, des brûlures sur les feuilles, d'exsudats sur les tiges, de nécroses apicales, de flétrissements et de nécroses vasculaires avec des pertes fortement corrélées au nombre des plants atteints et de l'état sanitaire des boutures (Vernier *et al.*, 2018). Zárate-Chaves *et al.* (2021) suggèrent que les pertes de rendement en racines fraîches causée par CBB varie en fonction du niveau de résistance de la plante. Des pertes de rendement allant jusqu'à 100 %, avec une médiane d'environ 50 % ont été reportées dans les variétés sensibles, comparées à 76 % obtenues avec des variétés résistantes.

2.2.1.4. Les ravageurs

Il convient de signaler que plusieurs ravageurs attaquent le manioc (FAO, 2010). On distingue entre autres :

- **La cochenille** du manioc (*Phenacoccus manihoti*)

Elle apparaît sur les extrémités des tiges de manioc, à la face inférieure des feuilles et sur les tiges (FAO, 2010). En se nourrissant, la cochenille leur inocule une toxine qui induit de sévères perturbations du développement des plantes. L'action des cochenilles engendre la défoliation des pieds, la réduction des entre-nœuds, la mise en touffe des feuilles, la déformation de la tige et le dessèchement des feuilles (Vernier *et al.*, 2018). Actuellement observée dans les plantations de manioc, **la poudre blanche sur tige** est causée par d'autres types de cochenilles blanches qui s'agglutinent sur la tige de manioc, se nourrissent de la sève et provoquent le dessèchement de la tige et la chute des feuilles, ainsi que la pourriture des racines (FAO, 2010 ; Vernier *et al.*, 2018).

- **Les acariens verts** du manioc (*Cassava Green Mite*, CGM)

Ils sont largement répandus à travers le monde. Parmi toutes les espèces d'acariens verts, *Mononychellus tanajoa* est sans conteste l'espèce la plus dommageable, aussi bien en Amérique qu'en Afrique (Vernier *et al.*, 2018). Les symptômes caractéristiques de la présence des acariens verts sont l'apparition des petites taches chlorotiques jaunes sous forme de piqûres observées sur la face supérieure de la feuille, le rétrécissement des feuilles et la destruction des feuilles terminales (qui tombent), donnant aux extrémités des pousses un aspect de "cierge".

- **Les aleurodes** (Whiteflies)

Ils sont appelés aussi improprement mouches blanches. Ces insectes sont probablement les plus dommageables du manioc à la fois par leurs dégâts directs sur le feuillage, mais aussi, par le fait qu'ils transmettent des virus (FAO, 2010). Les agents causaux, notamment *Aleurotrachelus socialis* et *Trialeurodes variabilis*, provoquent des dégâts importants respectivement dans les zones de basse altitude (jusqu'à 1200 m) et dans celles de haute altitude (jusqu'au-dessus de 1000 m). Par contre, dans les régions tropicales et subtropicales, l'aleurode du tabac (*Bemisia tabaci*) est le vecteur de la mosaïque africaine du manioc (FAO, 2010). Les dégâts et symptômes provoqués par les aleurodes se produisent lorsqu'elles se nourrissent du phloème, les tissus conducteurs de la sève élaborée provoquant ainsi un enroulement, un jaunissement (chlorose) et une chute des feuilles. Les pertes de rendement peuvent dépasser les 50% (Vernier *et al.*, 2018).

- **Les nématodes**

Ils attaquent les racines et les rendent plus sensibles aux pourritures racinaires (FAO, 2010). Les nématodes à galles tels que *Meloidogyne incognita*, constituent un problème particulièrement grave en Afrique (Vernier *et al.*, 2018). En effet, les nématodes juvéniles et femelles étant endoparasites, occasionnent des galles qui désorganisent le fonctionnement racinaire. En revanche, les nématodes à lésions tels que *Pratylenchus branchyurus* (nématode spiralé), *Helicotylenchus erythrinae* et *Rotylenchulus reniformis* (nématode réniforme), attaquent le système racinaire de la plante entraînant le rabougrissement de cette dernière (Vernier *et al.*, 2018). En Afrique, les pertes en rendement dues aux nématodes peuvent atteindre les 50%.

● Les rongeurs

Bien que le manioc présente une grande faculté d'adaptation à différentes conditions écologiques, son rendement est affecté par plusieurs ravageurs dont les rongeurs (Ambang *et al.*, 2007) qui ciblent les tubercules et les parties aériennes. Certains grands rongeurs fossoriaux et des espèces à forte densité de population causent des pertes de rendement significatives, estimées parfois jusqu'à 20–30 % en champ et davantage en stockage (Badmus *et al.*, 2023). Les rongeurs dont les rats (*Rattus rattus*) et l'agouti (*Thryonomys swinderianus*) sont les principaux ravageurs vertébrés du manioc (Soarimalala *et al.*, 2019 ; Braima *et al.*, 2000). Ils rongent les tiges et les racines des plants de manioc. Ils creusent la terre à la recherche des racines et s'en nourrissent. Les blessures ainsi occasionnées aux grosses racines constituent des foyers d'infection pour les petits tubercules. On enregistre des pertes de rendement de l'ordre de 40 % dans les exploitations non protégées (Braima *et al.*, 2000). En Afrique tropicale humide dans zones riveraines et forêts claires, on retrouve également les Rats géants de Gambie (*Cricetomys gambianus*) qui creusent des galeries autour des racines et se nourrissent des tubercules, entraînant un pourrissement accéléré et des pertes pouvant dépasser 20 % de la récolte (Ngamo & Hance, 2007; Badmus *et al.*, 2023). Des espèces comme *Xerus erythropus* (Écureuil terrestre ou « rat palmiste ») sont retrouvées souvent dans les savanes arborées et les régions semi-arides d'Afrique subsaharienne. Ces rats grignotent l'écorce des tiges et prélèvent les jeunes pousses ; creusent également autour des tubercules, ce qui les expose aux champignons (Ngamo & Hance, 2007). D'autres types de rongeurs *Arvicanthus spp.* (Rats campagnols), *Mastomys natalensis* (*Mastomys*) et *Tatera spp.* (Gerbilles de campagne) engendrent des dégâts similaires dans les champs de culture de manioc en zones soudaniennes, sahéliennes ou encore en régions arides et semi-arides d'Afrique de l'Est et du Sahel (Donga *et al.*, 2022). Des études récentes sur des alternatives (Badmus *et al.*, 2023) offrent des pistes prometteuses pour réduire l'usage de rodenticides et renforcer la durabilité de la lutte à travers des systèmes de piégeage, des campagnes de battue, les barrières physiques, l'entretien des champs et la recherche sur des appâts à base de plantes toxiques pour les rongeurs.

● Les pachydermes

La présence de l'éléphant de forêt dans les zones de culture a engendré des phénomènes déplorables pour les paysans donnant ainsi lieu à des interactions négatives entre les Hommes et les Eléphants appelées couramment "Conflit Homme/Éléphant" (Boukoulou *et al.*, 2012). Les éléphants sont des pillards de cultures qui se nourrissent dans les champs pour répondre à leurs besoins alimentaires, car les cultures sont nutritionnellement plus riches que les plantes sauvages (Sitati *et al.*, 2005 ; Graham *et al.*, 2010 ; Sitienei *et al.*, 2014 ; Liu *et al.*, 2016 ; Ngama 2018). Les cultures principales de subsistance des populations locales, à savoir la banane, le manioc, sont ravagées et détruites par ces éléphants (Fairet 2012 ; Inogwabini *et al.*, 2013; Kalyanasundaram *et al.*, 2014 ; Ngama 2018). Boukoulou *et al.* (2012) ont montré dans une étude réalisée au Congo que les dégâts des éléphants sont observées dans les plantations de banane et de manioc. Au Gabon, les destructions des cultures

sont très importantes dans toutes les zones de conflit. En effet, Walker (2011) a noté que les pertes annuelles aux cultures peuvent être estimées à une moyenne de 45 % du total des cultures, et a enregistré des dégâts sur 75 % de la superficie totale des champs étudiés dans le Zone du parc du Mont de Cristal. Cette dévastation des cultures par les éléphants attise de plus en plus la colère des producteurs dans le conflit homme-éléphant (N'safou *et al.*, 2024). Des travaux ont permis de développer des méthodes et outils d'évaluation des dégâts causés aux cultures par les éléphants, impliquant des technologies numériques (N'safou *et al.*, 2024).

2.2.2. Principales contraintes abiotiques

Le manioc (*Manihot esculenta*) est un pilier de la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne du fait de sa tolérance relative aux stress abiotiques et de sa capacité à produire des rendements acceptables sur des sols pauvres. Cependant, l'intensification des changements climatiques et la dégradation des sols font émerger plusieurs freins à son plein potentiel de production (Effa Effa *et al.*, 2024 ; Charles, 2024). La culture du manioc en Afrique est confrontée en effet à un éventail de contraintes abiotiques (sécheresse, températures extrêmes, sols pauvres, salinité, pH extrême) (Charles, 2024 ; Kongsil *et al.*, 2024). Les Stress hydriques (sécheresse et pluviométrie irrégulière) sont souvent en zones marginales caractérisées par une pluviométrie erratique et des épisodes de sécheresse prolongée engendrent des conséquences comme la diminution de la surface foliaire par réduction de l'ouverture stomatique, baisse de la photosynthèse et de l'accumulation de biomasse tubéreuse (El-Sharkawy, 2004 ; Shan *et al.*, 2018). Ce qui crée également un stress prolongé conduisant à une sénescence précoce des feuilles avec réduction drastique du rendement (Kumar et Sindhu, 2024). Par ailleurs, les températures extrêmes affectent le développement des plants. En effet, des plages optimales entre 25–35°C sont nécessaires pour une photosynthèse efficace et un bon développement. Ainsi, les fortes températures au-dessus de 37°C, engendrent un retard de l'émission des pousses et une altération de la morphogenèse foliaire (Kopecká *et al.*, 2023 ; Oshunsanya *et al.*, 2019). Les températures inférieures à 17 °C par contre ralentissent la croissance et favorisent les maladies de froid. Le stress thermique peut engendrer aussi l'induction de protéines de choc thermique (HSP) et une forte accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) sous forte chaleur (Wang *et al.*, 2017).

En ce qui concerne le sol, sa qualité impacte la productivité du manioc. Les carences en azote et phosphore limitent la biomasse et le nombre de tubercules (Kongsil *et al.*, 2024). Des déséquilibres en calcium, magnésium et micronutriments (Zn, B) affectent la qualité des tubercules. (Kongsil *et al.*, 2024). Les ions toxiques (Na⁺, Cl⁻) perturbent l'équilibre hydrique des cellules, entraînent une ionotoxicité et réduisent la taille des tubercules (Wang *et al.*, 2023 ; Kongsil *et al.*, 2024). Les pH extrême et la toxicité des métaux affectent la production. En effet, les conditions acides (pH < 5,5) engendrent la solubilisation de l'aluminium et la toxicité en Al³⁺; ce qui freine à la croissance racinaire. En zones polluées par exemple, le Plomb, et le cadmium impactent la biomasse. (Kawano, 2003). Une combinaison de sélection variétale, d'amendements édaphiques, de pratiques culturales adaptées (rotation, drainage, mulch) et de biofertilisants (mycorhizes, légumineuses) s'avère indispensable pour maintenir et accroître la productivité face aux changements climatiques et à la dégradation des sols. Dans d'autres études en Afrique Centrale (Centre Afrique, Caméroun), des carences nutritionnelles ont été identifiées, en particulier en calcium et en magnésium, dues aux paramètres physico-chimiques des échantillons de sols à faible fertilité étudié limitant la croissance du manioc. De plus, le pH du sol et les niveaux de matière organique affectent

la disponibilité des nutriments, ce qui a un impact sur la productivité des écosystèmes (Ballot *et al.*, 2016 ; Temegne *et al.*, 2015).

3. Etude de la diversité du manioc

3.1. La diversification

Le manioc est cultivé par multiplication végétative. Les Amérindiens l'ont domestiqué depuis près de 7000 ans, d'ailleurs, Elias *et al.* (2001) ont montré une forte diversité génétique comparable à celle des variétés issues de la collection mondiale du Centro Internacional Agricultura Tropical (CIAT). En plus, les approches pluridisciplinaires ont montré que la propagation clonale et les mutations somatiques n'expliquaient pas seules cette diversité (Elias *et al.*, 2001). Mais, ces résultats ont aussi expliqué qu'il existait un système de culture mixte chez les Amérindiens où le brassage sexué génère en continu de nouveaux génotypes recombinants, incorporés par les paysans dans leurs stocks de variétés cultivées (Elias *et al.*, 2001). En général, ces jeunes plantules sont attribuées à une variété déjà existante et très rarement reconnues comme de nouvelles variétés. Ces plantules sont issues des croisements entre variétés existantes, et parfois d'hybridations interspécifiques (Duputié *et al.*, 2007). La sélection pratiquée par les agriculteurs, les échanges de variétés entre ces acteurs et l'incorporation de repousses d'origine sexuée, sont les principaux mécanismes responsables de la grande diversité observée (Elias *et al.*, 2001).

Le manioc a été introduit en Afrique par des explorateurs portugais entre les XVe et XVIIe siècles. Il s'est répandu sur le continent pendant 200 à 300 ans, remplaçant les produits de base traditionnels et ayant un impact significatif sur les aspects sociaux et environnementaux de l'agriculture africaine (Lebot, 2020). La diversification génétique du manioc en Afrique a commencé en Afrique de l'Est et à Madagascar, et a conduit au développement de génotypes résistants grâce à des croisements et à une sélection, améliorant ainsi la résilience des cultures face aux maladies (Atiri *et al.*, 2004). Sa diversification en Afrique a été aussi influencée par sa tolérance à la sécheresse et sa capacité d'adaptation aux sols pauvres, ce qui lui a permis de devenir une culture de base. L'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) se concentre sur la sélection de variétés améliorées et résistantes aux maladies depuis 1973. Elle s'est accélérée au début des années 2000, grâce à des initiatives visant à promouvoir les cultivars à haut rendement et la transformation industrielle, en particulier au Nigeria, améliorant la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la génération de revenus et les opportunités d'emploi, malgré les défis liés aux systèmes semenciers et à la productivité (Novoa, 2022).

Bien que peu d'études soient faites sur les modes de diversification du manioc en Afrique, il semblerait qu'elle n'a pas été héritée lors de l'introduction des savoir-faire, des pratiques et du mode de gestion des plantes de manioc issues de graines tel que pratiqué par les Amérindiens (Manu-Aduening *et al.*, 2005; Delêtre *et al.*, 2011; Kombo *et al.*, 2012). Les agriculteurs indigènes d'Amazonie introduisent régulièrement de nouveaux génotypes provenant de banques de graines dormantes, ce qui contribue à préserver la diversité génétique et les performances agronomiques (McKey *et al.*, 2012). Les communautés traditionnelles du Brésil cultivent plusieurs ethnovariétés, chacune adaptée aux conditions locales spécifiques, ce qui améliore la résilience et la productivité (Lima *et al.*, 2021). Au regard de ces faits, la question de savoir s'il existe une similarité entre africains et amérindiens dans le mode de gestion de la diversité génétique du manioc demeure. Toutefois, les travaux réalisés par plusieurs auteurs (Otabo *et al.*, 2016 ; Djodji *et al.*, 2024 ; AbaDura *et al.*, 2024) démontrent que l'existence de la grande diversité génétique serait attribuée à l'échange de boutures entre les producteurs. De plus, les variétés améliorées et créées dans les programmes d'amélioration et création variétale et diffusées dans les différents pays africains contribueraient aussi à cette diversité génétique observée.

L'étude permanente de cette diversité est précieuse pour la gestion du matériel génétique et peut améliorer les programmes de sélection visant à améliorer les variétés de manioc pour répondre à ses différents défis.

3.2. Diversité agromorphologique

Dans les zones de production, les agriculteurs distinguent les différents phénotypes de manioc par des noms vernaculaires, liés soit aux caractères physiques distinctifs des plants (phénotypes), soit au lieu de provenance ou à l'introducteur dans la localité (Delêtre *et al.*, 2011). Par conséquent, ce mode de désignation donne souvent lieu à des confusions, puisque d'une localité à une autre, d'une ethnie à une autre, une même variété peut porter plusieurs noms vernaculaires ou plusieurs variétés peuvent avoir un même nom (Otabo *et al.*, 2016). Pour résoudre ce problème de confusions dans la désignation des variétés de manioc, la technique de caractérisation morphologique permettant d'évaluer l'authenticité de chaque variété a été mise au point par Fukuda *et al.* (2010). A partir de cette étude, cinquante (50) descripteurs morphologiques ont été établis pour servir à caractériser le manioc. Ces descripteurs se basent sur les caractéristiques des feuilles (Figure 4), des tiges et des racines tubéreuses. L'analyse de ces caractères morphologiques se fait à 3, 6, 9 et 12 mois après plantation (MAP) en regardant les couleurs, les formes et les dimensions (longueur, largeur et diamètre), aussi bien sur les feuilles, les tiges que sur les racines tubéreuses (Fukuda *et al.*, 2010).



Figure 4 : Divers lobes par limbe foliaire du manioc

L'utilisation des descripteurs morphologiques semble moins coûteuse et révèle la diversité telle qu'elle est perçue et sélectionnée par les agriculteurs locaux (Delêtre, 2011). Ces derniers sont les principaux acteurs du système de caractérisation et d'évaluation de la diversité variétale. D'après Nadjiam *et al.* (2016), la caractérisation morphologique est une approche rapide et facile pour évaluer l'étendue de la diversité variétale. Toutefois, cette technique doit être associée à un outil statistique qui estime la variation liée au milieu expérimental (Agre *et al.*, 2016). D'ailleurs, plusieurs études ont été menées sur la diversité agromorphologique du manioc. Gmakouba *et al.* (2018) ont révélé dans leur étude portant sur 54 accessions collectées dans 7 régions du Burkina Faso, un polymorphisme entre les accessions au niveau des caractères qualitatifs, avec 14 des 33 descripteurs qui ont été pertinents. En outre, dans le district de Fafen en Somalie, Derso & Mahmud (2018) ont caractérisé quatre (4) variétés de manioc. Cette étude a révélé que les traits quantitatifs (taille des cicatrices foliaires, distance entre les cicatrices foliaires,

distance de la première ramification, hauteur de la plante, nombre des branches secondaires) ont montré des variations très significatives entre les variétés de manioc. En Côte d'Ivoire, Kouakou *et al.*, (2019) ont réussi à regrouper 159 accessions de manioc collectées dans le Centre-ouest, le Sud-ouest et l'Ouest du pays, en trois (3) classes (pools) avec 143 morphotypes et 16 doublons, à partir de l'analyse multivariée des caractères descriptifs. Quelques années plus tard, Adu *et al.* (2020) ont analysé 87 accessions de manioc cultivées dans l'écologie forestière semi-décidue du Ghana. Cette étude a montré que la hauteur, les niveaux de ramification, la longueur et la couleur du pétiole, le rendement, la gravité de la mosaïque du manioc et la biomasse aérienne, contribuaient à la variabilité entre les génotypes correspondant aux critères pertinents de l'étude (Adu *et al.*, 2020). Cette même étude a mis en évidence l'impact des facteurs biotiques sur les performances agronomiques.

3.3. Diversité génétique

La diversité génétique du manioc est un facteur essentiel pour son amélioration et sa conservation, car elle fournit la base génétique nécessaire aux programmes de sélection. Des études menées dans différentes régions ont révélé des niveaux variables de diversité génétique au sein des populations de manioc, ce qui est essentiel pour développer de nouvelles variétés présentant des caractéristiques telles que la résistance aux maladies et un rendement élevé. L'utilisation de marqueurs moléculaires tels que les SSR et les SNP dans des analyses du génome pour la recherche de signatures de sélection dans différents groupes d'échantillons de manioc (Alves-Pereira *et al.*, 2022) (Figures 5 et 6) a joué un rôle déterminant dans l'évaluation de cette diversité, révélant une variation génétique significative au sein et entre les populations de manioc.

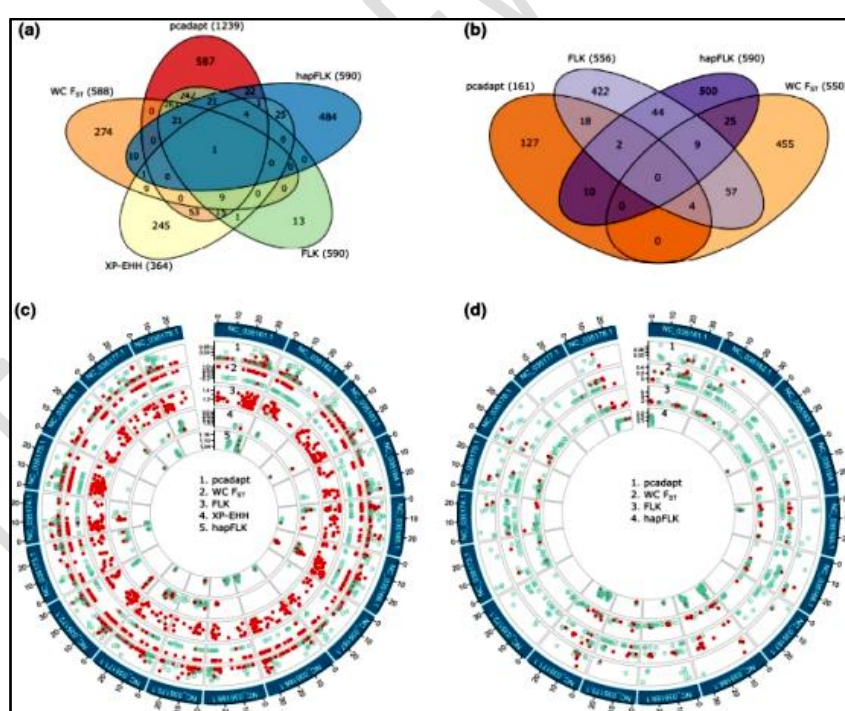


Figure 5 : Résumé des analyses du génome pour la recherche de signatures de sélection dans différents groupes d'échantillons de manioc (*Manihot esculenta*)

Diagrammes de Venn montrant le nombre de SNP aberrants détectés pour chaque test (entre parenthèses) et le chevauchement entre eux (nombres à l'intérieur des ellipses) pour (a) le manioc sauvage et cultivé, et (b) les groupes de variétés par biome. Le contexte génomique des SNP aberrants est illustré par des diagrammes circulaires pour (c) les groupes de manioc sauvage et cultivé, et (d) les groupes de variétés par biome. Chaque chromosome de manioc est représenté par une boîte différente (10 Mb tick sizes), et leurs noms sont codés selon le génome du manioc *Manihot esculenta* v6 (NCBI PRJNA234389). Les SNP aberrants sont représentés par des points pour chaque test, qui sont affichés dans différentes couches. Les SNP aberrants détectés par au moins deux tests sont mis en évidence en rouge.

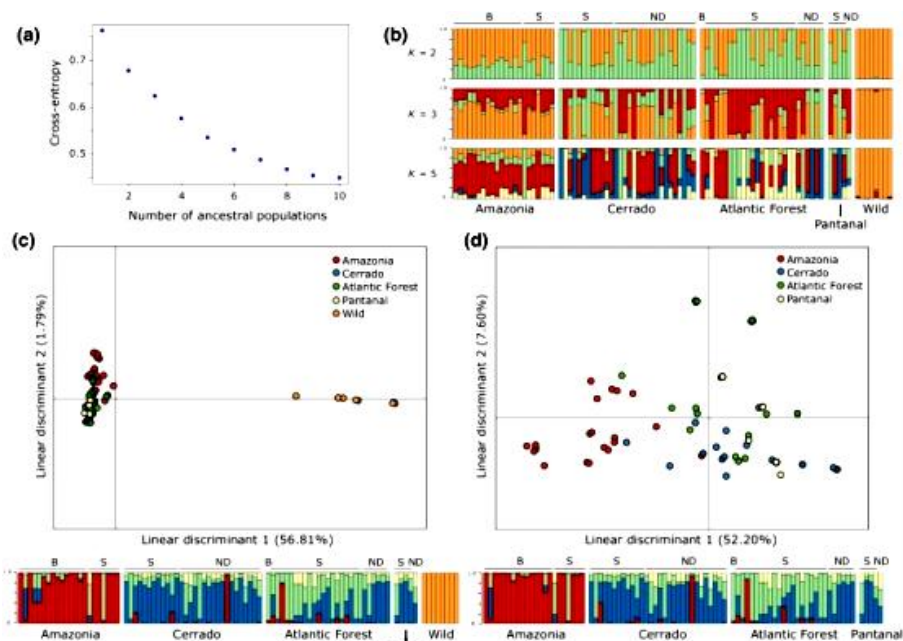


Figure 6 : Structure génétique de 92 variétés de manioc (*Manihot esculenta*) basée sur 10.917 SNP neutres.

(a) Tracé des estimations de l'entropie croisée pour différents nombres de populations ancestrales (K) dans la factorisation de la matrice non négative éparse (sNMF) ne montrant pas de point d'aplatissement évident dans la courbe correspondant au nombre le plus probable de populations ancestrales. (b) Diagrammes à barres des coefficients d'ascendance sNMF pour K = 2, 3 et 5. Analyses discriminantes des composantes principales (DAPC) considérant : (c) les groupes de manioc sauvage et les différents biomes, et (d) uniquement les variétés cultivées regroupées par biomes. Les coefficients d'appartenance respectifs de chaque DAPC sont présentés sous forme de diagrammes à barres sous les diagrammes de dispersion. Le manioc cultivé est classé dans les diagrammes à barres du sNMF et du DAPC en fonction des biomes et de leur toxicité réputée (B = amer, S = doux, ND = non désigné).

Une étude menée en Ouganda utilisant 5 247 marqueurs SNP a révélé une diversité génétique modérément élevée avec un contenu d'information polymorphe. La variation génétique se situait principalement au sein des accessions (66,02 %) (Sichalwe *et al.*, 2024). L'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) et les centres de recherche nationaux ont mené plusieurs autres travaux abordant divers aspects du manioc (Kizito *et al.*, 2005, 2007; Bhattacharjee *et al.*, 2012; Kawuki *et al.*, 2013). Ainsi, de nombreuses variétés améliorées ont été créées. Tighankoumi *et al.* (2024) ont réussi à identifier des génotypes uniques dans le matériel génétique du manioc au Togo. Ceci est important pour les efforts de conservation et pour les programmes de sélection visant à développer de nouvelles variétés présentant des caractères d'intérêts agronomiques. De plus, d'autres études ces dernières années ont été réalisées dans plusieurs pays pour déterminer la diversité génétique du manioc. Certaines ont porté sur des comparaisons génétiques entre les variétés de l'Amérique latine et les variétés locales des pays africains (Fregene *et al.*, 2003; Kizito *et al.*, 2005, Otabo, 2016). En revanche, d'autres étaient axées sur la détermination de la diversité des variétés locales chez les paysans ou dans les collections des stations de recherche (Kawuki *et al.*, 2013; Otabo *et al.*, 2016, 2017). L'étude réalisée par Sichalwe *et al.*, en 2024, a identifié cinq sous-populations de 155 génotypes de manioc ougandais sur la base d'une analyse de la structure d'ADMIXTURE, qui reflète la structure génétique des variétés locales. Cette classification est cruciale pour comprendre comment les différentes variétés locales sont liées les unes aux autres en termes de diversité génétique. Sur un tout autre plan, des études de diversité fonctionnelle ont aussi été réalisées, avec un focus sur la résistance aux maladies et aux ravageurs (Lokko *et al.*, 2006; Omongo *et al.*, 2012) et sur la création des variétés avec des taux faibles en composés cyanhydriques (Whankaew *et al.*, 2011). Attiri *et al.* (2004) dans leurs travaux ont présenté des cultivars identifiés grâce à de vastes programmes de sélection visant à lutter contre la CMD, il s'agit de :

- **Bouquet de la Réunion** : Ce cultivar a été identifié à Madagascar et est connu pour sa résistance à la maladie de la mosaïque du manioc (CMD) ;
- **Java 12/28** : Un autre cultivar de Madagascar qui a montré une résistance à la CMD ;
- **Criolina** : Ce cultivar a également été testé à Madagascar et s'est révélé résistant à la CMD ;
- **Clone 58308** : sélectionné pour sa résistance au virus de la mosaïque africaine du manioc (ACMV), ce clone a été développé à l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) au Nigeria ;
- **TMS 30001, TMS 30395, TMS 30555, TMS 30572 et TMS 4 (2) 1425** : il s'agit de génotypes de manioc améliorés développés à partir du clone résistant 58308 et largement distribués pour la culture ;
- **NR 8082 et NR 8083** : Il s'agit de génotypes résistants supplémentaires développés au National Root Crops Research Institute (NRCRI) au Nigeria, à partir de semences et de matériel de sélection provenant de l'IITA.

D'autres études sur le terrain révèlent que des lignées élites de manioc (CAS1, CAS2, CAS3) présentent une meilleure tolérance à la CBSD et à l'ACMV par rapport à leurs lignées parentales, ce qui indique la possibilité que des programmes de sélection utilisent ces cultivars pour améliorer leur résilience (Kimno *et al.*, 2023). Les cultivars résistants résistent non seulement aux infections virales, mais conservent également une meilleure qualité nutritionnelle, comme en témoignent les études dans lesquelles les plantes résistantes présentaient une teneur en cyanure plus faible et une meilleure santé globale par rapport aux variétés sensibles (Oben *et al.*, 2023 ; Kimno *et al.*, 2023). Les marqueurs DartSNP utilisés dans une étude portant sur 184 germoplasmes de manioc de l'IITA ont révélé une grande diversité génétique. L'étude a mis en évidence le potentiel de cartographie des associations et de conservation (AbaDura *et al.*, 2024). Bien que ces études mettent en évidence la diversité génétique au sein des populations de manioc, elles soulignent également les défis liés à la gestion efficace de cette diversité. La présence d'accessions dupliquées et la nécessité d'améliorer la gestion du matériel génétique sont des thèmes récurrents. De plus, l'échange de boutures, bien que bénéfique pour la diversité, peut compliquer les efforts visant à maintenir des lignées génétiques distinctes. Aussi, la variabilité des niveaux de résistance entre les différents cultivars et souches virales met en évidence la nécessité de poursuivre les recherches et les efforts de sélection pour développer des variétés de manioc plus résistantes. Cette complexité souligne l'importance de comprendre les bases génétiques de la résistance pour lutter efficacement contre les menaces virales. Ces facteurs doivent être pris en compte dans les prochaines stratégies de sélection et de conservation du manioc.

4. Efforts d'amélioration variétale

Les défis liés à la culture du manioc ont guidé fortement la mise en place des programmes d'amélioration et de création variétale pour l'augmentation de la production du manioc. Les objectifs de sélection s'articulent principalement autour des points suivants (Teeken *et al.*, 2020) :

- caractères agro-morphologiques ;
- tolérance/résistance aux contraintes biotiques et abiotiques ;
- qualité nutritionnelle et aptitudes à la transformation.

De nombreux QTL contrôlant une grande variété de caractères ont été identifiés pour être utilisés dans la sélection assistée par marqueurs (SAM), appelée sélection directe. Sa

mise en œuvre reste complexe dans de nombreux programmes de sélection (Chukwu *et al.*, 2019 ; Cobb *et al.*, 2019). Bien que des panels de marqueurs moléculaires étroitement liés aux caractères d'intérêt du manioc aient été identifiés, les expériences réussies d'application de la SAM à la sélection du manioc sont limitées. Un test KASP a récemment été utilisé pour développer et valider des marqueurs diagnostiques de la teneur en HCN (Ogbonna *et al.*, 2020). Le recours à des services de génotypage partagés pourrait réduire considérablement les coûts de génotypage, permettant le criblage d'un plus grand nombre d'accessions au stade plantule. Le développement de nouvelles stratégies ou de nouveaux modèles de sélection, qui non seulement capturent les effets additifs, mais tiennent également compte de la dominance et des interactions épistatiques, pourrait contribuer à l'introgession des QTL dans les variétés souhaitées. De même, le modèle devrait prendre en compte les interactions QTL environnement pour un schéma MAS efficace (Singh *et al.*, 2019).

D'autres travaux ont permis d'évaluer la variabilité phénotypique afin d'identifier les gènes et/ou les locus de caractères quantitatifs (QTL) associés à des caractères d'intérêt pour le sélectionneur (Mbanjo *et al.*, 2021). Chez le manioc ces travaux ont été rendus possible grâce au développement de nombreuses cartes de liaison génétique et à l'utilisation d'approches statistiques (Collard *et al.*, 2008). Avec l'émergence de nouvelles techniques de séquençage de l'ADN, les études d'association pangénomique (GWAS) sont de plus en plus utilisées pour l'analyse des caractères génétiques (Mbanjo *et al.*, 2021). Les associations marqueurs/traits de caractère chez le manioc ont mis en évidence quelques traits importants que nous présentons ici.

4.1. Caractères agro-morphologiques

Zhang *et al.* (2018) ont rapporté 36 loci liés à 11 caractères agronomiques, notamment les caractéristiques des feuilles, les caractéristiques morphologiques, les composantes du rendement et la qualité des racines, qui ont été identifiés par des analyses GWAS. En effet, l'indice de récolte, la couleur du cortex externe, la couleur du pétiole des feuilles et à la verdure des feuilles matures ont été trouvés sur les chromosomes 1 tandis que la couleur du périoderme sur le chromosome 3, la variation de la couleur de la tige ont été rapportés sur les chromosomes 2 et 8. De nombreux allèles, locus fonctionnels ou régions favorables liés à des traits d'intérêt ont été identifiés grâce à des associations marqueur/trait de caractère et leur contribution phénotypique identifiée, donnant un aperçu de la génétique sous-jacente à la variation du phénotype (Garcia-Oliveira *et al.*, 2020). Une base de données de QTL du manioc contenant des informations systématiquement alignées sur la référence du manioc est nécessaire (Mbanjo *et al.*, 2021). En somme, le génome, ainsi que les informations sur le matériel génétique et le germoplasme utilisés dans les études QTL, constitueront une ressource utile pour les généticiens et les sélectionneurs du manioc (Yonemaru *et al.*, 2010 ; Ceballos *et al.*, 2015). L'un des avantages envisagés de l'identification de marqueurs moléculaires étroitement liés aux caractères d'intérêt est leur déploiement dans la sélection comme méthode de sélection indirecte pour accélérer le taux de gain génétique (Mbanjo *et al.*, 2021).

4.2. Tolérance aux contraintes biotiques

● Maladie de la mosaïque du manioc (CMD)

Le gène dominant CMD2, responsable de la résistance à la CMD, a été découvert chez la variété locale nigériane TME3 (Akano *et al.*, 2002). Un nouveau QTL lié, CMD3, a été identifié ultérieurement par Okogbenin *et al.* (2012). La nature qualitative de la

727 résistance à la CMD a été confirmée par des études ultérieures (Rabbi *et al.*, 2014). La
728 première étude de cartographie GWAS sur le manioc, menée par Wolfe *et al.* (2016), a
729 identifié 198 SNP significatifs associés à la gravité de la CMD, principalement sur le
730 chromosome 8, corroborant les études antérieures. Deux QTL de résistance au CMD
731 très significatifs ont été détectés sur les chromosomes 12 et 14 (Nzuki *et al.*, 2017 ;
732 Masumba *et al.*, 2017 ; Garcia-Oliveira *et al.*, 2020 ; Rabbi *et al.*, 2020). Une dissection plus
733 poussée du QTL majeur sur le chromosome 12 a révélé la présence de deux loci
734 épistatiques possibles et/ou de multiples allèles de résistance, ce qui peut expliquer la
735 différence entre une résistance modérée et une forte résistance aux maladies (Masumba *et al.*
736 *et al.*, 2017 ; Nzuki *et al.*, 2017 ; Garcia-Oliveira *et al.*, 2020 ; Somo *et al.*, 2020).

737 ● **Maladie des stries brunes du manioc (CBSD)**

738 Des études ont permis d'identifier des locus de caractères quantitatifs associés à la
739 nécrose des racines CBSD sur les chromosomes 5, 11, 12 et 15 (Nzuki *et al.*, 2017 ;
740 Masumba *et al.*, 2017). Deux QTL liés à la résistance à la nécrose racinaire induite par la
741 CBSD sur les chromosomes 2 et 11, ainsi qu'un QTL putatif sur le chromosome 18 ont
742 été signalés. D'autres QTL putatifs supplémentaires ont été détectés sur d'autres
743 chromosomes (3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15, 16 et 18) pour la nécrose racinaire (Garcia-
744 Oliveira *et al.*, 2020). Des QTL associés aux symptômes foliaires de la CBSD ont été
745 identifiés sur les chromosomes 4, 6, 15, 17 et 18 (Nzuki *et al.*, 2017 ; Masumba *et al.*,
746 2017 Garcia-Oliveira *et al.*, 2020). L'approche GWAS a été utilisée par Kayondo *et al.*
747 (2018) pour démêler l'architecture génétique de la CBSD. Le mécanisme de contrôle
748 polygénique de résistance au CBSD et de son instabilité dans l'environnement a été mis
749 en évidence. Quatre-vingt-trois (83) loci associés aux symptômes à 3 mois après
750 plantation (MAP) ont été identifiés sur le chromosome 11 (Somo *et al.*, 2020). La plupart
751 des QTL signalés ont été associés soit à une nécrose des racines, soit à des symptômes
752 foliaires, soutenant l'idée que la résistance aux symptômes foliaires et racinaires de CBSD
753 sont en grande partie sous un contrôle génétique différent (Masumba *et al.*, 2017 ; Garcia-
754 Oliveira *et al.*, 2020).

755 ● **Acarien vert du manioc**

756 Nzuki *et al.* (2017) ont détecté des QTL sur les chromosomes 5 et 10 associé à
757 l'acarien vert du manioc (CGM). Récemment, 95 marqueurs SNP significativement
758 associés à la résistance au CGM ont été rapportés par plusieurs auteurs (Ezenwaka *et al.*,
759 2020 ; Garcia-Oliveira *et al.*, 2020) ont détecté cinq QTL pour la résistance au CGM à 3
760 et 6 MAP. La première GWAS a identifié 35 SNP liés au CGM et les traits liés au CGM
761 (Ezenwaka *et al.*, 2018), à la pubescence des feuilles, à la rétention des feuilles et au
762 maintien du vert. Tous les marqueurs significatifs ont été trouvés sur le chromosome 8
763 et 12 (Rabbi *et al.*, 2020), à l'exception du SNP associé à la couleur verte, qui a été
764 identifié sur le chromosome 13.

765 ● **Brûlure bactérienne du manioc(CBB)**

766 Deux QTL associés à la brûlure bactérienne du manioc ont été signalés sur le groupe
767 de liaison (LG) 4 et LG8 (Sedano *et al.*, 2017). Une autre étude menée par Sedano *et al.*
768 (2017) a trouvé cinq QTL spécifiques à la souche conférant une résistance à Xam,
769 expliquant 15,8 et 22,1 % de la variance phénotypique.

770 ● **Pourriture des racines du manioc**

771 La nature complexe de la pourriture des racines du manioc (CRR) a été mise en
772 évidence par Brito *et al.* (2017), qui ont identifié 38 SNP significatifs associés à la CRR.
773 Parmi ceux-ci, 8 et 22 étaient liés à la gravité de la pourriture sèche des racines dans la
774 pulpe et la peau, respectivement, tandis les huit autres étaient associés à la pourriture
775 molle des racines et au noircissement des racines pourries.

776

777

4.3. Qualité nutritionnelle et aptitudes à la transformation

● Caroténoïdes et couleur des racines de stockage

Des QTL qui contrôlent la teneur en caroténoïdes et liés à la couleur de la pulpe des racines de manioc ont été identifiés par Morillo *et al.* (2013). Plus récemment, d'autres travaux à partir des SNP et de la technique GWAS ont confirmé l'existence de ces QTL sur les chromosomes 1, 2, 4, 13, 14 et 15 (Luo *et al.*, 2018 ; Ikeogu *et al.*, 2019 ; Rabbi *et al.*, 2017, 2020). La couverture plus large de la diversité pourrait améliorer la détection de nouveaux QTL associés à ces deux paramètres liés à la racine de manioc (Mbanjo *et al.*, 2021).

● Glucosides cyanogènes

Les travaux réalisés sur le taux de glycosides cyanogènes ont rapporté l'existence de QTL qui les contrôlent et expliquent la variance phénotypique du manioc (Kizito *et al.*, 2007 ; Whankaew *et al.*, 2011 ; Ogonna *et al.*, 2020).

● Teneur en matière sèche

Six QTL ont été détectés comme contrôlant la DMC en utilisant une population de cartographie biparentale. Il a été démontré que les effets additifs, de dominance et de surdominance jouent un rôle dans l'expression de ce trait (Kizito *et al.*, 2007 ; Rabbi *et al.*, 2017, 2020).

● Amidon et qualité de l'amidon

L'étude de Thanyasiriwat *et al.* (2013) a révélé l'hérédité complexe des propriétés de collage de l'amidon, 48 QTL ont été détectés, significativement associés à sept viscosités de collage de l'amidon (viscosité de pointe, viscosité de la pâte chaude, dégradation, viscosité de la pâte froide, recul, temps de collage et température de collage).

5. Perspectives de recherche

Le manioc est l'un des produits vivriers avec une souplesse d'adaptation aux conditions climatiques, de plus actuellement des programmes d'amélioration et création variétale participent à l'augmentation de sa production. Ces dernières années, plusieurs axes de recherche font objets de valorisation du manioc pour renforcer sa place ou sa contribution à la sécurité alimentaire. Nous pouvons faire la synthèse de quelques uns.

5.1. Enjeux alimentaires et industriels

● Les feuilles de manioc comme complément aliment

Bien que cultivé principalement pour ses racines riches en amidon, les feuilles de manioc riches en nutriments sont également consommées comme légumes dans de nombreuses régions d'Afrique (Spencer et Ezedinma, 2017). Les caractéristiques nutritionnelles des feuilles de manioc font d'elles des aliments de haute valeur nutritionnelle constituant les substituts potentiels des aliments riches en protéines et en micronutriments, capables de palier à certaines carences nutritionnelles et d'assurer la sécurité alimentaire des ménages (Spencer et Ezedinma, 2017).

● La farine de manioc comme substitut de la farine de blé

Face à la flambée des prix de la farine de blé renforcée par la crise en Ukraine, il est plus que nécessaire de réaliser la production de la farine de manioc afin qu'elle sert de substitut de la farine de blé (Bokossa *et al.*, 2012 ; Elisabeth *et al.*, 2022 ; Senanayake *et al.*, 2024). Des travaux de recherche axés sur l'étude des conditions de production et d'utilisation de la farine et de l'amidon de manioc, sont effectués depuis des années (Kaur *et al.*, 2016 ; Chisenga, 2019b ; ; Hasmadi *et al.*, 2021). L'objectif de ces études est de trouver les possibilités de substituer la farine de manioc à celle de blé en vue de son utilisation dans les boulangeries et les pâtisseries. Plusieurs pays africains comme le Bénin et la République Démocratique du Congo (RDC) ont adopté l'incorporation de la farine

de manioc dans la fabrication du pain. Les essais réalisés au Bénin ont montré qu'on pouvait substituer 20% de la farine de manioc « *Lafu* » dans la fabrication de pain et sa qualité organoleptique était conservée jusqu'à 12h à température ambiante après production avec 75,70% d'acceptabilité (Bokossa *et al.*, 2012). Sur d'autres plans, des essais de production d'amidon aigre de manioc panifiable ont été conduits au Nigéria et au Bénin sur la base des acquis des recherches menées en Amérique latine sur ce produit (Bokossa *et al.*, 2012 ; TAAT, 2022). Ainsi, la possibilité de produire de l'amidon aigre de manioc panifiable au Bénin de qualité similaire à celle obtenue en Colombie à partir d'amidon extrait de variétés de manioc couramment cultivées au Bénin a été démontrée (Bokossa *et al.*, 2012).

● L'amélioration de la qualité nutritionnelle du manioc

L'amélioration des cultures s'est traditionnellement concentrée sur l'augmentation du rendement et le renforcement de la résistance aux ravageurs et aux maladies. Ces dernières années, l'amélioration des nutriments des cultures a été de plus en plus intégrée aux programmes de sélection. La biofortification des cultures vivrières de base comme le manioc a été préconisée comme l'une des solutions rentables pour lutter contre le fléau de la malnutrition en micronutriments et pour améliorer durablement la vie de millions de personnes dans les pays en développement, notamment en Afrique et en Asie du Sud.

Les objectifs de développement durable des Nations Unies encouragent à éradiquer la faim dans le monde et à baisser toutes les formes de malnutrition d'ici 2030 selon l'OMS. La sécurité nutritionnelle de la population mondiale pourrait être améliorée grâce à la biofortification des cultures vivrières de base telles que le manioc. La carence en micronutriments constitue une menace pour la santé humaine dans le monde entier. Il a été rapporté que les variétés de manioc enrichies en fer et en zinc peuvent être cultivées sans baisse de rendement (Gegios *et al.*, 2010 ; Ceballos *et al.*, 2013). Des lignées biofortifiées, voire d'autres cultures de base comme la patate douce et la pomme de terre, peuvent être exploitées pour améliorer la qualité nutritionnelle des cultivars de manioc cultivés dans différentes régions. La biofortification des cultures vivrières de base par la biotechnologie est l'une des nombreuses stratégies d'amélioration des micronutriments essentiels dans les aliments destinés aux populations à risque (Narayanan *et al.*, 2019). Par conséquent, les futures études d'amélioration variétale, selon certains auteurs, devraient évaluer les effets des niveaux alimentaires de vitamine C sur la biodisponibilité des micronutriments minéraux dans les aliments à base de manioc biofortifié (Bouis et Saltzman, 2017). Une étude a évalué trois variétés de manioc contenant de la provitamine A développées à l'IITA, à Ibadan (Ossai *et al.*, 2024 ; Inacio *et al.*, 2024). Ces variétés de manioc biofortifié enrichies en macro et microéléments essentiels, tels que le Mg, le Zn, le Cu, le K, le Fe et le Na, sont développées pour améliorer la qualité des aliments. Si les variétés sélectionnées pour la rétention des micronutriments sont acceptables pour tous, il apparaît tout de même que les variétés modifiées génétiquement font face à une opposition continue (Ghislain *et al.*, 2019 ; Tagliapietra *et al.*, 2021). Aujourd'hui, ce qu'il faut aux dirigeants politiques, c'est la vision et le courage de promouvoir des cultures biofortifiées pouvant aider à réduire la malnutrition. En effet, la production de manioc transgénique afin d'enrichir en vitamines et microéléments (fer et zinc) le manioc biofortifié, pourrait apporter une contribution substantielle à une meilleure santé pour les populations à risque qui dépendent du manioc comme aliment de base (Narayanan *et al.*, 2019).

● Le manioc dans la bio-industrie

Depuis plusieurs années, les carburants d'origine fossile ont été reconnus comme les plus grands contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre (Perera, 2017). Pour corriger cette situation, plusieurs pays ont ratifié l'Accord de Paris dont l'objectif est de

réduire les émissions mondiales annuelles de gaz à effet de serre (GES) entre 30 et 50% d'ici 2030 ; cela permettra d'empêcher une hausse de la température mondiale (Shepherd & Knox, 2016). Outre l'Accord de Paris, ces pays se sont aussi engagés à réduire la contribution de l'électricité produite au charbon en 2050, comme mentionné dans le Plan Intégré des Ressources de 2016. Aussi, il existe un engagement croissant à explorer des sources d'énergie alternatives comme l'usage des énergies renouvelables et la conversion de la biomasse en bioénergie (Petrie, 2014). En effet, en dehors de son rôle traditionnel de culture vivrière, le manioc est admis actuellement comme étant une excellente matière première pour la production de bioéthanol (Thatoi *et al.*, 2016). Il est adapté à une large gamme de conditions de culture et peut être planté, et récolté toute l'année. De plus, le manioc peut être stocké sous forme de cossettes séchées avant transformation (Nguyen *et al.*, 2007).

● Le manioc comme aliment pour bétail

L'utilisation du manioc est très diversifiée suivant les pays qui le cultivent. A cet effet, les pays producteurs de manioc doivent envisager son usage pour nourrir leur bétail. Cela permettrait de limiter les importations d'aliments plus chers (ex : maïs). Par exemple, la Thaïlande exporte actuellement vers les pays d'Europe, la majorité de sa production qui est utilisée pour l'alimentation animale (Abessolo, 2013). L'Afrique, premier producteur mondial de manioc, initie des recherches innovantes dans différents instituts de recherche, afin d'améliorer la qualité protéique et d'autres éléments nutritifs essentiels pour l'alimentation des animaux. En effet, les travaux de recherche, menés par Amani *et al.* (2007) qui ont rapporté que les déchets de feuillages et des racines vont progressivement être transformés en provende pour les poissons, la volaille, les porcs et d'autres animaux, vont contribuer à promouvoir la production du manioc. De plus, l'utilisation des sous-produits comme les feuilles, les pelures et le foin de manioc peut fournir une importante source de protéines (16 à 39%) en alimentation pour bétail ; et il a été démontré qu'elle améliore le taux de croissance, la santé et la production laitière (Wanapat, 2003 ; Antari & Umiyasih, 2009 ; Fasae & Yusuf, 2022). Les techniques de transformation peuvent également réduire les glucosides cyanogènes nocifs, améliorant ainsi la sécurité et la valeur nutritionnelle des aliments pour animaux (Ravindran, 1993 ; Jiwuba *et al.*, 2021).

5.2. Enjeux pour la productivité et la conservation des ressources

● Le manioc face au changement climatique

Les impacts du changement climatique sur l'agriculture sont inévitables et les conséquences sont appréciées différemment par les acteurs agricoles. Dali *et al.* (2016) ont rapporté que les agriculteurs en côte d'ivoire par exemple, perçoivent bien les variations de pluviométrie et de températures, mais restent parfois réticents aux variétés améliorées proposées, jugées perturbatrices de leurs pratiques locales. Au Sud-Kivu dans la République Démocratique du Congo, face aux effets des changements climatiques, les agriculteurs rapportent une baisse de fertilité et une augmentation des bio-agresseurs (millipattes, taupes) attaquant également les boutures de manioc (Cokola *et al.*, 2021). Ce qui souligne la nécessité de pratiques de conservation des sols et de gestion intégrée des bio-agresseurs. Global Africas Sciences a mentionné dans son rapport de 2019 qu'en Afrique de l'Ouest par exemple (Mali, Niger), des approches agroécologiques (zaï, agroforesterie, cycles courts) permettent de restaurer la fertilité, d'améliorer la rétention d'eau et de diversifier les variétés de manioc et cultures associées. La mise en œuvre de stratégies d'adaptation au climat est donc cruciale pour atténuer les impacts négatifs du changement climatique. Un effort de recherche est nécessaire sur la dynamique des

bioagresseurs dans un contexte de changement climatique. Sa susceptibilité aux agents pathogènes dans ce contexte pourrait impacter négativement sa productivité et son aire de production. Aussi, des efforts de recherche menés par le programme WAVE sur cette plante sont très utiles afin de mieux comprendre les effets du climat sur ce végétal et sur la dynamique de ses bioagresseurs. Ces études vont permettre de suggérer des stratégies de la sélection des variétés résistantes/tolérantes aux bioagresseurs du manioc, de lutte intégrée, adaptée, efficace et préservant l'environnement et la santé humaine.

● Amélioration des pratiques culturales

L'intensification de l'agriculture a souvent été considérée comme la principale option pour répondre à l'accroissement de la demande alimentaire. Il ressort que d'importants gains de production ont été réalisés grâce à l'intensification agricole par l'usage raisonné des pesticides, des engrais et de l'irrigation (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017). En revanche, l'amélioration des techniques culturales par des associations culturales, des rotations de cultures et l'usage de plantes de couverture, est l'un des domaines d'études à explorer davantage pour une productivité efficiente. Il a été démontré que la culture intercalaire de manioc et de maïs réduit les infestations de ravageurs de manière significative, des études indiquant une réduction de 56 % des dommages causés par les ravageurs par rapport à la monoculture. Cette méthode favorise la gestion durable des ravageurs et la santé des sols (Lotutala & Kimbemb, 2018 ; Tchegueni *et al.*, 2022).

Des pratiques telles que la rotation des cultures, les cultures intercalaires et l'utilisation de paillis organiques sont utilisées pour créer un environnement moins favorable aux ravageurs, améliorant ainsi la santé et le rendement des cultures. De plus les techniques telles que le labour, l'irrigation et la fertilisation appropriés sont essentielles pour optimiser les conditions du sol pour la croissance du manioc (Lele *et al.*, 2017). Bien que ces techniques culturales améliorent de manière significative la culture du manioc, des défis tels que le changement climatique et la pression des ravageurs restent des préoccupations majeures qui nécessitent des recherches continues et des stratégies d'adaptation.

● La recherche sur la diversité variétale du manioc

La diversité variétale du manioc est essentielle pour préserver la résilience génétique de l'espèce face aux menaces telles que les maladies, les ravageurs et les changements climatiques. Il est rapporté que une diversité variétale accrue permet une meilleure adaptation à des environnements changeants, et offre un réservoir de gènes pour la sélection (Ceballos *et al.*, 2004). L'étude de la diversité permet de soutenir les programmes d'amélioration génétique et sélection variétale pour développer des variétés améliorées (sur le plan rendement et qualité nutritionnel) et résistantes aux maladies comme la mosaïque africaine du manioc (Kawukiet *al.*, 2011; Ferguson *et al.*, 2012). C'est ce qui fonde l'un des principaux axes de recherche du programme WAVE mis en œuvre dans plusieurs pays africains.

Conclusion

La valorisation du manioc en Afrique repose sur la connaissance de son importance et de sa diversité variétale. Malgré les contraintes biotiques et abiotiques, la production du manioc connaît une croissance exponentielle d'années en années. La synthèse présentée dans cet article expose les résultats pertinents obtenus pour la valorisation de ce produit agricole. Malgré les défis majeurs identifiés, la culture du manioc constitue pour plusieurs populations agricoles un levier pour la sécurité alimentaire et le développement socio économique. Toutefois, la question du mode de

diversification du manioc en Afrique reste entière et importante. De plus, bien que l'introduction de nouvelles technologies ait eu un impact positif sur la diversification du manioc, des défis subsistent. Il est davantage intéressant de persister dans l'exploration et la connaissance de la diversité variétale et génétique du manioc dans la zone Afrique car cela pourrait aider à mieux répondre aux perspectives de recherches énoncées dans cette revue aux regards des potentialités exprimées par le manioc. Un intérêt particulier doit toujours être mis en exergue pour améliorer les variétés de manioc qui existent, mais aussi de soutenir des programmes de création variétale pour augmenter la production et améliorer les conditions de vie des producteurs. La recherche sur la diversité variétale du manioc est donc essentielle pour sécuriser les systèmes alimentaires mondiaux, renforcer la résilience des agricultures locales, répondre aux défis du changement climatique, et préserver la biodiversité. Elle nécessite de ce fait, une approche multidisciplinaire, impliquant les sciences agronomiques, génétiques, sociales et environnementales.

Conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au financement du programme WAVE (Central and West African Virus Epidemiology for Food Security) et au soutien technique de l'Institut de Recherche Agronomique et Forestière (IRAF) du Gabon.

Référence

1. AbaDura, N. S., Tesfaye, A., Rabbi, I., Beyene, T. M., & Abtew, W. G. (2024). DArT-SNP based genetic diversity analyses in cassava (*Manihot esculenta*) genotypes sourced from different regions revealed high level of diversity within population. <https://doi.org/10.1101/2024.07.18.604086>
2. Abessolo-Meye, C., 2013. Contribution à l'étude de la diversité Génétique du manioc cultivé (*Manihot esculenta*) en Afrique Centrale (Zone CEMAC). Cirad-Agritrop 141
3. Achidi, A. U., Ajayi, O. A., Bokanga, M., & Maziya-Dixon, B. (2005). The Use of Cassava Leaves as Food in Africa. *Ecology of Food and Nutrition*, 44(6), 423–435. <https://doi.org/10.1080/03670240500348771>
4. Adu, B.G., Yeboah, A., Akromah, R., Bobobee, E., Amoah, S., Kena, A.W., Amoah, R.A., 2020. Whole genome SNPs and phenotypic characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm in the semi-deciduous forest ecology of Ghana. *Ecol. Genet. Genomics* 17, 100068. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2020.100068>
5. AGASA. (2020). le manioc sous toutes ses formes de consommation. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage de la Pêche et de l'Alimentation. www.agasa.site
6. Agre, A. P., Badara, G., Adjatin, A., Dansi, A., Bhattacharjee, R., Rabbi, I. Y., Dansi, M., & Gedil, M. (2016). Folk taxonomy and traditional management of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) diversity in southern and central Benin. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12, Article 29. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0104-6>
7. Akano, A. O., Dixon, A. G. O., Mba, C., Barrera, E., & Fregene, M. (2002). Cartographie génétique d'un gène dominant conférant une résistance à la mosaïque du manioc. *Theoretical and Applied Genetics*, 105(4), 521–525. <https://doi.org/10.1007/s0012200208917>
8. Alicai, T., Omongo, C. A., Maruthi, M. N., Hillocks, R. J., Baguma, Y., Kawuki, R., Bua, A., Otim-Nape, G. W. et Colvin, John. (2007). Re-emergence of cassava brown

- streak disease in Uganda. *Plant Disease*, 91(1), 24-29. <https://doi.org/10.1094/PD-91-0024>
9. Alicai, Titus, Ndunguru, Joseph, Sseruwagi, Peter, Tairo, Fred, Okao-Okuja, Geoffrey, Nanvubya, Resty, Kiiza, Lilliane, Kubatko, Laura, Kehoe, Monica A. et Boykin, Laura M. (2016). Cassava brown streak virus has a rapidly evolving genome: implications for virus speciation, variability, diagnosis and host resistance. *Scientific reports*, 6(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/srep36164>
 10. Allem, Antonio C. (2001). The origins and taxonomy of cassava. *Cassava: biology, production and utilization*, 1-16.
 11. Alonso Chavez, Vasthi, Milne, Alice E., van den Bosch, Frank, Pita, Justin et McQuaid, C. Finn. (2022). Modelling cassava production and pest management under biotic and abiotic constraints. *Plant Molecular Biology*, 109(3), 325- 349. <https://doi.org/10.1007/s11103-021-01170-8>
 12. Aloys, N., & Hui Ming, Z. (2006). Traditional Cassava Foods in Burundi—A Review. *Food Reviews International*, 22(1), 1–27. <https://doi.org/10.1080/87559120500379761>
 13. Alves-Pereira, A., Zucchi, M.I., Clement, C.R. et al. (2022). Selective signatures and high genome-wide diversity in traditional Brazilian manioc (*Manihot esculenta Crantz*) varieties. *Sci Rep* 12, 1268. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05160-8>
 14. Amani G., Nindjin C., N'Zuè B., Tschannen A., Aka D. (éditeurs), 2007. Potentialités à la transformation du manioc (*Manihot esculenta Crantz*) en Afrique de l'Ouest, Actes de l'atelier international UAA-CSRS-CNRA-I2T, 4-7 juin 2007, Abidjan, Côte d'Ivoire, 341p.
 15. Ambang, Z., Ndongo, B., Nkouaya Mbanjo, E. G., & Fontem, D. A. (2007). Tolérance de quelques cultivars de manioc (*Manihot esculenta Crantz*) et de l'espèce sauvage (*Manihot glaziovii*) à la mosaïque virale africaine et à la cercosporiose du manioc. *Tropicultura*, 25(3), 140–145.
 16. Amelework B. Assefa, Michael W. Bairu. Advances in Genetic Analysis and Breeding of Cassava (*Manihot esculenta Crantz*): A Review. *Plants* 2022, 11(12), 1617. DOI 10.3390/plants11121617.
 17. Antari, R., & Umiyasih, U. (2009). Optimizing The Use of Cassava Plant and its Byproduct as Ruminant Feed. 19(4), 191–200. <https://doi.org/10.14334/WARTAZOA.V19I4.915>
 18. Asare, P.A., Galyuon, I.K.A., Sarfo, J.K., & Tetteh, J.P. (2011). Morphological and molecular based diversity studies of some cassava (*Manihot esculenta Crantz*) germplasm in Ghana. *African Journal of Biotechnology*, 10(63), 13900–13908.
 19. Atiri, G. I., Ogbe, F. O., Dixon, A. G. O., Winter, S., & Ariyo, O. (2004a). Status of Cassava Mosaic Virus Diseases and Cassava Begomoviruses in Sub-Saharan Africa. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24(3), 5–35. https://doi.org/10.1300/J064V24N03_03
 20. Attiri, B. D., Legg, J. P., & Seal, S. E. (2004b). Development of cassava cultivars resistant to Cassava Mosaic Disease through extensive breeding programs. *African Crop Science Journal*, 12(3), 159–168.
 21. Badmus, H. A., Olubode1 , O. S., and Onaolapo1 , E. E. y (2023). Evaluation of Depredation Activities of Vertebrate Pest Species in Cassava Cultivation at Sasa-Ajibode, Ibadan, Oyo State, Nigeria. *Nigerian Journal of Ecology* 19(1): 32-37. ISSN: 1116-753X (Print); E-ISSN: 2955-084X (Online)
 22. Bakelana, Z., Laura, M. B., Kehoe, Monica, Pita, Justin, Monde, G., Mahungu, N., Lema, M., Kanana, Tshilenge et Kalonji, M. (2020). Cassava Root Necrosis Disease (CRND): a new crop disease spreading in western Democratic Republic of Congo and in some central African countries.

23. Ballot, C. S. A., Mawussi, G., Atakpama, W., Moita-Nassy, M., Yangakola, T. M., Zinga, I., Silla, S., Kperkouma, W., Dercon, G., Komlan, B., & Koffi, A. (2016). Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au centre-sud de Centrafrique. *Agronomie Africaine*, 28(1), 9–23.
24. Bandyopadhyay, R., Mwangi, M., Aigbe, S. O., & Leslie, J. F. (2006). *Fusarium* species from the cassava root rot complex in West Africa. *Phytopathology*, 96(6), 673–676. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0673>
25. Bhaargavi, R., Latha, T. K. S., Makesh Kumar, T., & Harish, S. (2024). Cassava mosaic disease: strategies for recovery and sustainable management. *Australasian Plant Pathology*, 54(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13313-024-01014-1>
26. Bhattacharjee, R., Dumet, D., Ilona, P., Folarin, S., Franco, J., 2012. Establishment of a cassava (*Manihot esculenta* Crantz) core collection based on agro-morphological descriptors. *Plant Genet. Resour.* 10, 119–127. <https://doi.org/10.1017/S1479262112000093>
27. Bigirimana, S., Barumbanze, P., Ndayihanzamaso, P., Shirima, R., & Legg, J.P. (2011). First report of cassava brown streak disease and associated Ugandan cassava brown streak virus in Burundi. *New Disease Reports*, 24, 26.
28. Blagbrough, I.S., Bayoumi, S.A.L., Rowan, M.G., Beeching, J.R., 2010. Cassava: An appraisal of its phytochemistry and its biotechnological prospects. *Phytochemistry* 71, 1940–1951. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.09.001>
29. Bokossa Yaou Innocent, F. Bessou, R. Metohoué, A. C. de Souza et al. « Substitution de la farine de blé par la farine fermentée de manioc (lafu), dans la préparation du pain de boulangerie », *Journal de Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo), Série A*, vol. 14(1), pp. 1–9, janvier 2012.
30. BorkuAbraham Woru , Thomas Toma Tora, Mamush Masha, Cassava in focus: A comprehensive literature review, its production, processing landscape, and multi-dimensional benefits to society, *Food Chemistry Advances*, Volume 7, 2025, 100945, ISSN 2772-753X, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100945>.
31. Bouis, H.E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49–58.
32. Boukoulou H., Mbete P., Mbete R., Ngokaka C., Akouango F., Excelh BKR. & Voudibio J. (2012). Conflit Homme/Éléphant : étude de cas dans le village Miélékouka au Nord du Parc National d'Odzala Kokoua (Congo). *Journal of Applied Biosciences* 50: 3478– 3484; ISSN 1997–5902
33. Braima J., Yaninek J., Neuenschwander P., Cudjoe A., Modder W., Echendu N., Toko M. 2000. Lutte contre les ravageurs du manioc ; International Institute of Tropical Agriculture, Cotonou, Benin. 38 p.
34. Brito, G., Andrade, A., & Figueira, A. (2017). Cassava root rot disease: an overview of causal agents, disease management, and resistant germplasm. *Plant Pathology Journal*, 33(5), 407–419. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.11.2016.0249>
35. Bulonza, J.-C., Yasenge, S., Empata, L., Likiti, O., Muhindo, H., Dowiya, B., & Monde, G. (2023). Évolution des paramètres épidémiques associés à la mosaïque africaine du manioc au Sud-Kivu en République Démocratique du Congo. *Agronomie Africaine*, 35(3), 441–451.
36. Casinga, C. M., Wosula, E. N., Sikirou, M., Shirima, R. R., Munyerenkana, C. M., Nabahungu, L. N., Bashizi, B. K., Ugentho, H., Monde, G., & Legg, J. P. (2022). Diversity and Distribution of Whiteflies Colonizing Cassava in Eastern Democratic Republic of Congo. *Insects*, 13(9), 849. <https://doi.org/10.3390/insects13090849>

- 1123 37. Ceballos, H., Chávez, A. L., Girón, J., Pérez, J. C., & Tohme, J. (2013). Rapid cycling
1124 recurrent selection for increased carotenoids content in cassava roots. *Crop Science*,
1125 53(4), 2342–2351. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0055>
- 1126 38. Ceballos, H., et al. (2004). Cassava breeding: opportunities and challenges. *Plant*
1127 *Molecular Biology*, 56, 503–516.
- 1128 39. Ceballos, H., Kawuki, R. S., Gracen, V. E., Yencho, G. C. & Hershey, C. H.
1129 (2015). Conventional breeding, marker-assisted selection, genomic selection and
1130 inbreeding in clonally propagated crops: a case study for cassava. *Theoretical and*
1131 *Applied Genetics*, 128, 1647–1667. <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2555-4>
- 1132 40. Ceballos, Hernán; De la Cruz A., Gabriel Antonio. 2012. Cassava taxonomy and
1133 morphology . In: Ospina Patiño, Bernardo; Ceballos, Hernán (eds.). *Cassava in the*
1134 *third millennium: Modern production, processing, use, and marketing systems* .
1135 Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Latin American and Caribbean
1136 Consortium to support Cassava Research and Development (CLAYUCA);
1137 Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Cali, CO. p. 15-28.
1138 (Publicación CIAT No. 377)
- 1139 41. Charles, O. A review of drought-stress responsive genes and their applications for
1140 drought stress tolerance in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Discov Biotechnol* 1,
1141 5 (2024). <https://doi.org/10.1007/s44340-024-00006-7>
- 1142 42. Chavarriaga-Aguirre, Paul, Brand, Alejandro, Medina, Adriana, Prías, Mónica,
1143 Escobar, Roosevelt, Martinez, Juan, Díaz, Paula, López, Camilo, Roca, Willy M. et
1144 Tohme, Joe. (2016). The potential of using biotechnology to improve cassava: a
1145 review. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 52(5), 461-478.
- 1146 43. Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Alimi, B. A. (2019b). Progress in
1147 research and applications of cassava flour and starch: A review. *Journal of Food*
1148 *Science and Technology*, 56(6), 2799–2813. [https://doi.org/10.1007/s13197-019-](https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6)
1149 [03814-6](https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6)
- 1150 44. Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Laing, M. (2019a).
1151 Proximate composition, cyanide contents, and particle size distribution of cassava
1152 flour from cassava varieties in Zambia. *AIMS Agriculture and Food*, 4(4), 869–891.
1153 <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.4.869>
- 1154 45. Chukwu, S. C., Egesi, C. N., Rabbi, I. Y., & Emechebe, A. M. (2019). Technological
1155 innovations for improving cassava production in sub-Saharan Africa. *Frontiers in*
1156 *Genetics*, 11, 623736. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.623736>
- 1157 46. Cobb, J. N., Biswas, P. S., & Platten, J. D. (2019). Back to the future: revisiting MAS
1158 as a tool for modern plant breeding. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1–11.
1159 <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00111>
- 1160 47. Cokola, M. C., Mugumaarhahama, Y., Noël, G., Kazamwali, L. M., Bisimwa, E. B.,
1161 Mugisho, J. Z., Aganze, V. M., Lubobo, A. K., & Francis, F. (2021). Fall Armyworm
1162 *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Kivu, DR Congo:
1163 Understanding how season and environmental conditions influence field-scale
1164 infestations. *Neotropical Entomology*, 50(1), 145–155.
1165 <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00833-3>
- 1166 48. Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: An approach for
1167 precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of*
1168 *the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557–572.
1169 <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2170>
- 1170 49. Costa, G.; Freitas-Lopes, R.; Lino, J.; Julião, E.; Michereff, S.; Lopes, U. An efficient
1171 method for inducing sporulation of cercosporoid fungal species causing leaf spots in
1172 cassava. *J. Plant Pathol.* 2019, 102, 201–204. [https://doi.org/10.1007/s42161-019-](https://doi.org/10.1007/s42161-019-00236-0)
1173 [00236-0](https://doi.org/10.1007/s42161-019-00236-0)

- 1174 50. Dahouda M., Toleba S. S. T., Youssao A. K. I., Ali A. A. M., Ahounou S. & Hornick
1175 J. L. (2009). Utilisation des cossettes et des feuilles de manioc en finition des
1176 pintades (*Numida meleagris*, L) : performances zootechniques, coûts de production,
1177 caractéristiques de la carcasse et qualité de la viande. *Annales de Médecine*
1178 *Vétérinaire*, 153 (2), 82–87.
- 1179 51. Dali, S., Bourdeix, R., Droh, R., Elias, M., & Diarrassouba, A. (2016). Changement
1180 climatique et rapport aux innovations agricoles dans la culture de manioc (Côte
1181 d'Ivoire). *Revue Sociétés et Économies*, (9), 5–22.
- 1182 52. Delêtre M. , McKey D.B. , & Hodkinson T.R., (2011) Marriage exchanges, seed
1183 exchanges, and the dynamics of manioc diversity, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108
1184 (45) 18249-18254, <https://doi.org/10.1073/pnas.1106259108> .
- 1185 53. Delêtre, M. (2010). The ins and outs of manioc diversity in Gabon, Central Africa: A
1186 pluridisciplinary approach to the dynamics of genetic diversity of *Manihot esculenta*
1187 *Crantz* (Euphorbiaceae). Thèse de doctorat, Trinity College Dublin. Disponible en
1188 ligne sur TEL (Thèses en ligne)
- 1189 54. Derso, C., & Mahamud, A. (2018). Study on Morphological Characters of Four
1190 Cassava (*Manihot esculenta* *Crantz*) Varieties as Cultivated in Fafen District,
1191 Ethiopian Somali Regional State. *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource*
1192 *Technology*, 4(1), 1-13. <https://doi.org/10.9734/AJB2T/2018/42717>
- 1193 55. Djaha, K.E., Abo, K., Bonny, B.S., Kone, T., Amouakon, W.J.L., Kone, D., Kone,
1194 M., 2017. Caractérisation agromorphologique de 44 accessions de manioc (*Manihot*
1195 *esculenta* *Crantz*) cultivés en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11, 174.
1196 <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.14>
- 1197 56. Djindji R., 2018. La culture du manioc en zone soudanienne du Tchad,
1198 contribution à la sécurité alimentaire et aux revenus des agriculteurs. *Agriculture,*
1199 *économie et politique.* Université Toulouse le Mirail, Toulouse II, France. NNT:
1200 2018TOU20110ff. fftel-02481967, 357p.
- 1201 57. Djodji, A. K., Justin, P. S., Godwin, A. Y., Atasse, D.-K. K., Setu, M. A., & Sakina,
1202 A. S. (2024). Molecular Genetic Diversity of Cassava (*Manihot esculenta* *Crantz*) in the
1203 Maritime Region of Togo using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. *East*
1204 *African Scholars Journal of Agriculture and Life Sciences.*
1205 <https://doi.org/10.36349/easjals.2024.v07i03.002>
- 1206 58. Donga T. K., Bosma L., Gawa N. & Meheretu Y., 2022. Rodents in agriculture and
1207 public health in Malawi: Farmers' knowledge, attitudes, and practices. *Frontiers in*
1208 *Agronomy*, 4:936908. doi: 10.3389/fagro.2022.936908.
- 1209 59. DOUNGOU, Oumar, MASKY, Boutou, LEVAI, Dopgima L., BAHUYA, Joseph AL,
1210 MINYAKA, Emile, MAVOUNGOU, Jacques F., MUTUKU, J. MUSEMBI et PITA, Justin S.
1211 (2022). Cassava mosaic disease and its whitefly vector in Cameroon: Incidence,
1212 severity and whitefly numbers from field surveys. *Crop Protection*, 158, 106017.
- 1213 60. Duputié, A., Delêtre, M., De Granville, J.-J., McKey, D., 2009. Population genetics of
1214 *Manihot esculenta* ssp. *flabellifolia* gives insight into past distribution of xeric
1215 vegetation in a postulated forest refugium area in northern Amazonia. *Mol. Ecol.* 18,
1216 2897–2907. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04231.x>
- 1217 61. Effa Effa Branly Wilfrid, Dick Sadler Demikoyo Khangou, Stéphane Mibemu
1218 Guibinga, François Ndjelassili, Mesmin N'dong Biyo'o, Abdala Gamby Diedhiou.
1219 Cassava Cultivation under Abiotic Stress: Emphasis on Waterlogging Tolerance
1220 Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Journal of Environmental Science and Public*
1221 *Health.* 8 (2024): 86-100.
- 1222 62. Ehui, K. J. N., Touré, H. M. A. C., Kakou, D. J., Yéo, F. E., Abo, K., &
1223 Koné, D. (2019). Assessing the impact of agronomic, geographical and climatic

1224 variables on the spread of cassava anthracnose disease in Côte d'Ivoire. *Agronomie*
1225 *Africaine*, 31(2), 223–233.

1226 63. Elias, M., Penet, L., Vindry, P., McKey, D., Panaud, O., Robert, T., 2001.
1227 Unmanaged sexual reproduction and the dynamics of genetic diversity of a
1228 vegetatively propagated crop plant, cassava (*Manihot esculenta* Crantz), in a traditional
1229 farming system: SEX IN A VEGETATIVELY PROPAGATED CROP PLANT.
1230 *Mol. Ecol.* 10, 1895–1907. <https://doi.org/10.1046/j.0962-1083.2001.01331.x>

1231 64. Elisabeth, D. A. A., Utomo, J. S., Gangadharan, B., & Ginting, E. (2022). Cassava
1232 flour production by small scale processors, its quality and economic feasibility. *Food*
1233 *Science and Technology*, 42, e41522. <https://doi.org/10.1590/fst.41522>

1234 65. El-Sharkawy MA. Cassava biology and physiology. *Plant Mol Biol.* 2004;56:481–501.

1235 66. El-Sharkawy, M.A., Tafur, S.M., 2010. Comparative photosynthesis, growth,
1236 productivity, and nutrient use efficiency among tall- and short-stemmed rain-fed
1237 cassava cultivars. *Photosynthetica* 48, 173–188. [https://doi.org/10.1007/s11099-](https://doi.org/10.1007/s11099-010-0023-6)
1238 [010-0023-6](https://doi.org/10.1007/s11099-010-0023-6)

1239 67. Ezenwaka, L., Pino Del Carpio, D., Jannink, J.-L., Rabbi, I., Danquah, E., Asante, I.,
1240 Danquah, A., Blay, E., & Egesi, C. (2018). Genome-wide association study of
1241 resistance to cassava green mite pest and related traits in cassava. *Crop Science*,
1242 58(5), 2018–2028. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0024>

1243 68. Ezenwaka, L., Rabbi, I. Y., Onyeka, J., Kulakow, P., & Egesi, C. (2020).
1244 Identification of additional /novel QTL associated with resistance to cassava green
1245 mite in a bi-parental mapping population. *PLoS ONE*, 15(3), e0231008.
1246 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231008>

1247 69. Fairet E. M. M., 2012. Vulnerability to crop-raiding: an interdisciplinary investigation
1248 in Loango National Park. Ph.D. thesis, Durham University, 218 p.
1249 <http://etheses.dur.ac.uk/6399/>

1250 70. Fakir MSA, Mostafa MG, Seal HP. Food security in Bangladesh: Selection,
1251 nutritional status evaluation of processing technique of cassava strains for use as
1252 a potential human and animal food. Poster presented In Intl. Conf. “Food security
1253 during challenging times” Univ. Putra Malaysia, Selangor, Malaysia, 2010, 218-220pp.

1254 71. Fakir, M., Jannat, M., Mostafa, M., & Seal, H. (2013). Starch and flour extraction and
1255 nutrient composition of tuber in seven cassava accessions. *Journal of the Bangladesh*
1256 *Agricultural University*, 10(2), 217–222. <https://doi.org/10.3329/jbau.v10i2.14698>

1257 72. FAO . 2008. Catalogue ouest-africain des espèces et variétés végétales (COAFEV),
1258 Fiche “MANIOC”(Manihot esculenta) pages 93–
1259 97, <https://www.fao.org/4/i0062f/i0062f.pdf>

1260 73. FAO, CEA et CUA. (2021a). Afrique – Aperçu régional de l'état de la sécurité
1261 alimentaire et de la nutrition 2021: Statistiques et tendances. FAO.
1262 <https://doi.org/10.4060/cb7496fr>

1263 74. FAO. (2013). Save and grow: Cassava – A guide to sustainable production
1264 intensification. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

1265 75. FAO. (2021b). Food and Agriculture Organization, Top 10 Country Production of
1266 Cassava, [Online] from [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_co](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)
1267 [mmodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity) (2020) [Accessed Sep 19 th 2022]

1268 76. FAOSTAT. (2023). Données de l'alimentation et de l'Agriculture.
1269 <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>

1270 77. Fasae, O. A., & Yusuf, A. O. (2022). Cassava leaves and peels: Nutritional value and
1271 potential productivity in West African dwarf breeds of sheep and goats– A review.

- 1272 Nigerian Journal of Animal Production, 49(3), 305–315.
 1273 <https://doi.org/10.51791/njap.v49i3.3562>
- 1274 78. Ferguson, M. E., et al. (2012). Genetic diversity and population structure of cassava
 1275 (*Manihot esculenta* Crantz) landraces in Africa. *Theoretical and Applied Genetics*,
 1276 124(5), 861–873.
- 1277 79. Fofiri Nzossié E.J. et Temple L. 2023. Politique d'import-substitution au blé et
 1278 compétitivité des farinespanifiables à base de manioc, banane plantain et patate
 1279 douceau Cameroun; *Cah. Agric.* 32 (1), 25; DOI: 10.1051/cagri/2023018
- 1280 80. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010). *Food*
 1281 *Outlook* November 2010. Rome: FAO.
- 1282 81. Fregene, M. A., Suarez, M., Mkumbira, J., Kulembeka, H., Ndedya, E., Kulaya, A.,
 1283 Mitchel, S., Gullberg, U., Rosling, H., & Dixon, A. G. O. (2003). Simple sequence
 1284 repeat marker diversity in cassava landraces: Genetic diversity and differentiation in
 1285 an asexually propagated crop. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(6), 1083–1093.
 1286 <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1344-0>
- 1287 82. Fukuda, W.M.G., Guevara, C.L., Kawuki, R. et Ferguson, M.E. (2010). Selected
 1288 morphologicaland agronomic descriptors for the characterization of cassava.
 1289 International Institute of Tropical Agriculture (IITA)
- 1290 83. Garcia-Oliveira, A. L., Kimata, B., Kasele, S., Kapinga, F., Masumba, E., Mkamilo,
 1291 G., Bredeson, J. V., Lyons, J. B., & Shah, T. (2020). Genetic analysis and QTL
 1292 mapping for multiple biotic stress resistance in cassava. *PLOS ONE*, 15(8),
 1293 e0236674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236674>
- 1294 84. Gegios, A., Siritunga, D., Sayre, R., & Manary, M. (2010). Iron and zinc
 1295 concentrations in cassava roots: Implications for breeding and nutrition. *Plant and*
 1296 *Soil*, 333(1-2), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0338-4>
- 1297 85. Ghislain, M., Muzhingi, T., Low, J.W., 2019. Zinc and iron fortification in cassava.
 1298 *Nat. Biotechnol.* 37, 130–132. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0014-5>
- 1299 86. Global Africas Sciences. (2019). Transition agroécologique au Mali et au Niger.
 1300 *Global Africas Sciences*, (05), article 05-08
- 1301 87. Gmakouba, T., Koussao, S., Traore, E.R., Kpemoua, K.E., Zongo, J.-D., 2018.
 1302 Analyse de la diversité agromorphologique d'une collection de manioc (*Manihot*
 1303 *esculenta* Crantz) du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12, 402.
 1304 <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.32>
- 1305 88. Graham M. D., Notter B., Adams W. M., Lee P.C., Ochieng, fl. N., 2010. Patterns
 1306 of crop-raiding by elephants, *Loxodonta africana*, in Laikipia, Kenya, and the
 1307 management of Human–Elephant conflict. *Systematics and Biodiversity*, 8: 435-445.
 1308 <https://doi.org/10.1080/14772000.2010.533716>
- 1309 89. Hasmadi, M., L., H., & Jau-Shya, L. (2021). Physicochemical and functional
 1310 properties of cassava flour grown in different locations in Sabah, Malaysia. *Food*
 1311 *Research*, 5(3), 44–52. [https://doi.org/10.26656/fr.2021.5\(3\).337](https://doi.org/10.26656/fr.2021.5(3).337)
- 1312 90. Hillocks, R.J., Thresh, J.M., Tomas, J., Botao, M., Macia, R., & Xavier, R. (2002).
 1313 Cassava brown streak disease in northern Mozambique. *International Journal of Pest*
 1314 *Management*, 48(3), 179–182.
- 1315 91. Hillocks, Rory J. et Wydra, Kerstin. (2001). Bacterial, fungal and nematode diseases.
 1316 Dans *Cassava: biology, production and utilization* (p. 261-280). CABI Wallingford
 1317 UK.
- 1318 92. Ikeogu, U. N., Akdemir, D., Wolfe, M. D., Okeke, U. G., Amaefula, C., Jannink, J.
 1319 L., & Egesi, C. N. (2019). Genetic correlation, genome-wide association and
 1320 genomic prediction of portable NIRS predicted carotenoids in cassava roots.
 1321 *Frontiers in Plant Science*, 10, 1570. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01570>

93. Inacio, K. A. M., Farfan, N. C., Azevedo, C. E. X., Polatto, M. A. G., Carrion, N. S., Mendes, P. V. S., Mateus, N. de S., & Santos, E. F. (2024). Potential of Cassava Clones for Iron, Zinc, and Selenium Biofortification. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020268>
94. Inogwabini B. I., Mbende L., Bakanza A., Bokika J. C., 2013. Crop damage done by elephant in Malebo region, Democratic Republic of Congo. *Pachyderm*, 54: 59-69. <https://pachydermjournal.org/index.php/pachyderm/article/download/340/298>
95. Jiwuba, P. C., Jiwuba, L. C., Ogbuewu, I. P., & Mbajiorgu, C. A. (2021). Enhancement values of cassava by-product diets on production and haemato-biochemical indices of sheep and goats: a review. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 207. <https://doi.org/10.1007/S11250-021-02656-9>
96. Kadjegbin, T. R. G. (2024). Effets socioéconomiques de la culture du manioc (*Manihot esculenta*) dans l'arrondissement de Hèkanmè (commune de Zè) au sud-ouest du Bénin. *GEOTROPE*, N°1, 54–67.
97. Kalyanasundaram R., Ramakrishnan B., Saravanamuthu R., 2014. Crop Damage by Asian Elephants *Elephas maximus* and Effectiveness of Mitigating Measures in Coimbatore Forest Division, South India. *International Research Journal of Biological Sciences*, 3 (8): 1-11. https://www.researchgate.net/publication/264556982_
98. Kaur, K., Ahluwalia, P., & Singh, H. (2016). Cassava: Extraction of starch and utilization of flour in bakery products. *International Journal of Food Fermentation Technology*, 6(2), 351–355. <https://doi.org/10.5958/2277-9396.2016.00047>.
99. Kawano, K. 2003. Thirty years of cassava breeding for productivity-biological and social factors for success. *Crop Sci.* 2003, 43, 1325–1335. [CrossRef]
100. Kawuki, R. S., et al. (2011). Genetic analysis of cassava (*Manihot esculenta*) for root yield and dry matter content in Uganda. *Field Crops Research*, 122(2), 111–118.
101. Kawuki, R. S., Herselman, L., Labuschagne, M. T., Nzuki, I., Ralimanana, I., Bidiaka, M., Kanyange, M. C., Gashaka, G., Masumba, E., & Mkamilo, G. (2013). Genetic diversity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) landraces and cultivars from southern, eastern and central Africa. *Plant Genetic Resources*, 11(2), 170–181. <https://doi.org/10.1017/S1479262113000033>
102. Kayondo, S. I., Lozano, R., Sseruwagi, P., Tusiime, G., Edema, R., & Bua, A. (2018). Genome-wide association mapping and genomic prediction for resistance to cassava brown streak disease in cassava. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1906. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01906>
103. Kimbala Kyembo Delphin; Kirongozi Swedi; Mumba Tshanika Urbain; Jules Nkulu Mwine Fyama. 2023. Performance économique de différentes formes commerciales de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) vendues à Lubumbashi en République Démocratique du Congo; *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*; 6(3), 11-18; DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v6i3.2>
104. Kimno, L. C., Kinyua, M. G., Bimpong, I. K., & Were, J. O. (2023). Field screening of elite cassava (*Manihot esculenta*) mutant lines for their response to mosaic and brown streak viruses. *Journal of Experimental Agriculture International*, 45(9), Article 2193. <https://doi.org/10.9734/jeai/2023/v45i92193>
105. Kimwanga, P. S., Kabuita, L. M., Siwako, J.-P. L., Nzawe, B. D., & Mussa, M. I. (2021). Rentabilité et obstacles à l'adoption des variétés améliorées du Manioc (*Manihot esculenta* Cranz) chez les paysans en RD Congo. *Revue Marocaine Des Sciences Agronomiques Et Vétérinaires*, 9(2). Consulté à l'adresse https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/944

106. Kizito, E. B., Bua, A., Fregene, M., Egwang, T., Gullberg, U., & Westerbergh, A. (2005). The effect of cassava mosaic disease on the genetic diversity of cassava in Uganda. *Euphytica*, 146(1–2), 45–54. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9006-4>
107. Kizito, E. B., Chiwona-Karlton, L., Egwang, T., Fregene, M., & Westerbergh, A. (2007). Genetic diversity and variety composition of cassava on small-scale farms in Uganda: An interdisciplinary study using genetic markers and farmer interviews. *Genetica*, 130(3), 301–318. <https://doi.org/10.1007/s10709-006-9004-5>
108. Kombo, G.R., Dansi, A., Loko, L.Y., Orkwor, G.C., Vodouhè, R., Assogba, P., Magema, J.M., 2012a. Diversity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars and its management in the department of Bouenza in the Republic of Congo. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59, 1789–1803. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9803-0>
109. Kongsil, Pasajee, Hernan Ceballos, Wanwisa Siriwan, Supachai Vuttipongchaikij, Piya Kittipadakul, Chalernpol Phumichai, Wannasiri Wannarat, Wichai Kositratana, Vichan Vichukit, Ed Sarobol, and et al. 2024. "Cassava Breeding and Cultivation Challenges in Thailand: Past, Present, and Future Perspectives" *Plants* 13, no. 14: 1899. <https://doi.org/10.3390/plants13141899>
110. Kopecká, R., Kameniarová, M., Černý, M., Brzobohatý, B., & Novák, J. (2023). Abiotic Stress in Crop Production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6603. <https://doi.org/10.3390/ijms24076603>
111. Kosh-Komba E., Zaman M. & De Mon-Zoni J. L. G., 2021. Les bonnes pratiques pour la production de manioc en République Centrafricaine (deuxième édition). Laboratoire de Sciences Biologiques et Agronomiques pour le Développement. Faculté des Sciences, Université de Bangui, République Centrafricaine, 27p.
112. Kosh-Komba Ephrem, M.M., Akpagana, M.K., Tozo, M.K., de Conférences, M., 2014. Diversité agromorphologique de *Manihot Esculenta Crantz*. (euphorbiaceae) cultivée dans trois zones agroclimatiques en république centrafricaine (RCA). *European Scientific Journal ESJ*, Vol 10 No 3, <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n3p%25p>.
113. Kouakou, A. M., N'zué, B., Okoma, M. P., Dibi, K. E. B., Zohouri, G. P., Essis, B. S., & Dansi, A. A. (2014). Morphological characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) accessions collected in the Centre-west, South-west and West of Côte d'Ivoire. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 4(6), 220–231. doi:10.15580/GJAS.2014.6.050614224
114. Kumar S, Sindhu SS. 2024. Drought stress mitigation through bioengineering of microbes and crop varieties for sustainable agriculture and food security. *Curr Res Microb Sci.* 2024 Oct 10;7:100285. doi: 10.1016/j.crmicr.2024.100285. PMID: 39512260; PMCID: PMC11542684.
115. Kumulungui, B. S., Ondo-Azi, A. S., Madinda, N. F., & Mouaragadja, I. (2012). Isolement des microorganismes impliqués dans la pourriture des racines tubéreuses du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au Gabon. *Agronomie Africaine*, 24(3), 265–273.
116. Lamah, S. P., Traoré, O.-O., Doré, N., Kolie, J., & Gnabala, C. (2023). Importance du manioc dans la vie des populations riveraines de la Réserve de Biosphère des Monts Nimba, République de Guinée. *Africa SCIENCE*, 22(1), 25–34.
117. Landa A. W. et Miyalou D. D. « L'agriculture vivrière à Madingou (République du Congo) : moyen de subsistance et d'acquisition des revenus », *Études caribéennes* [En ligne], 43-44 | Août-Décembre 2019, mis en ligne le 10 octobre 2019, consulté le 14 mai 2025. 16596; DOI: <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes>.
118. Lebot, V. (2020). Cassava: origin and history. 3–11. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193488101>

119. Legg, J. P., & Fauquet, C. M. (2004). Cassava mosaic geminiviruses in Africa. *Plant Molecular Biology*, 56(4), 585–599. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-1651-7>
120. Legg, J. P., Ndjelassili, F., & Okao-Okuja, G. (2004). First report of cassava mosaic disease and cassava mosaic geminiviruses in Gabon. *Plant Pathology*, 53(2), 231.
121. Lele, B. N., Kachaka, S. C., & Lejoly, J. (2017). Effet de la fertilisation minérale, de l'étêtage du manioc et des légumineuses à graines sur le rendement du manioc en culture associée et sur les propriétés d'un Arénoferralsols à Kinshasa/RDC. 4, 46–57. <https://revue.riffeac.org/index.php?journal=RSTBC&page=article&op=view&path%5B%5D=45>
122. Lima, L. A., Xavier, A. R., Amorim, A. V., & Vasconcelos, J. G. (2021). Saberes tradicionais, sustentabilidade cultural e caracterização de etnovarietades da mandioca: estudo em uma comunidade no interior do Ceará. *Research, Society and Development*, 10(13). <https://doi.org/10.33448/RSD-V10I13.20941>
123. Liu P., Wen H., Lin L., Liu J., Zhang L., 2016. Habitat evaluation for Asian elephants (*Elephas maximus*) in Lincang: conservation planning for an extremely small population of elephants in China. *Biological Conservation*, 198; 113-121. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.005>
124. Lokko, Y., Vanderschuren, H., Kyndt, T., & Gheysen, G. (2006). Resistance of cassava to diseases and pests: a review. *African Journal of Biotechnology*, 5(5), 391–398.
125. Lotutala, E., & Kimbembu, A. (2018). Mise en œuvre d'un système de production durable de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans le village de Tadila en République Démocratique du Congo. *Tropicultura*. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.372>
126. Luo, X., Zhang, S., Chen, X., Lu, C., Ye, J., Zou, M., Lu, K., Feng, S., Pei, J., Liu, C., Zhou, X., Ma, P., Li, Z., Liu, C., Liao, Q., Xia, Z., & Wang, W. (2018). Genome-Wide Association Studies of 11 Agronomic Traits in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Frontiers in Plant Science*, 9, 503. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00503>
127. Mahungu N. M. & Lukombo S. M., 2014. Transformation du manioc. Manuel de formation destiné aux agents de transformation. Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), 42p.
128. Mahungu N. M., Ndonga A., Kendenga T. & Bidiaka S. (éditeurs). (2022). Le Manioc en RD Congo. Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), 393 p. ISBN 978-99951-69-07-7
129. Makambila, C. et Koumouno, Bakala L. (1994). Les pourridies du manioc au Congo : première évaluation des dégâts sur le manioc et identification des agents pathogènes. *Acta Horticulturae*, (380), 184-186. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.380.27>
130. Manu-Aduening, J.A., Lamboll, R.I., Dankyi, A.A., Gibson, R.W., 2005. Cassava diversity in Ghanaian farming systems. *Euphytica* 144, 331–340. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-8004-8>
131. Masumba, E. A., Kapinga, F., Mkamilo, G., Salum, K., Kulembeka, H., Rounsley, S., Bredeson, J. V., Lyons, J. B., Rokhsar, D. S., Kanju, E., Katari, M. S., Myburg, A. A., van der Merwe, N. A., & Ferguson, M. E. (2017). QTL associé à la résistance aux maladies de la striure brune du manioc et de la mosaïque du manioc dans un croisement biparental de deux variétés paysannes tanzaniennes, Namikonga et Albert. *Theoretical and Applied Genetics*, 130, 2069–2090. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2943-z>
132. Mateo-Sagasta/Javier, Sara Marjani Zadeh, Hugh Turrall, 2017. Water pollution from agriculture: a global review - Executive summary. Food Agric. Organ. U. N. Rome

- 2017 Int. Water Manag. Inst. Behalf Water Land Ecosyst. Res. Program Colombo
2017 35.
133. Mbanjo, E. G. N., Rabbi, I. Y., Ferguson, M. E., Kayondo, S. I., Eng, N. H.,
Tripathi, L., Kulakow, P., & Egesi, C. (2021). Technological innovations for
improving cassava production in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Genetics*, 11,
623736. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.623736>
 134. Mbanzibwa, D. R., Tian, Y. P., Tugume, A. K., Patil, B. L., Yadav, J. S., Bagewadi, B.,
Abarshi, M. M., Alicai, T., Changadeya, W. et Mkumbira, J. (2011). Evolution of
cassava brown streak disease-associated viruses. *Journal of General Virology*, 92(4),
974-987; <https://doi.org/10.1099/vir.0.027276-0>
 135. McKey, D., Elias, M., Pujol, B. & Duputié, A. (2012). « Ecological approaches to
crop domestication », in P. Gepts, T. R. Famula & D. R. Westengen (éds.),
Biodiversity in Agriculture: Domestication, Evolution, and Sustainability, Cambridge
University Press, pp. 377–406. DOI : 10.1017/CBO9781139019514.023
 136. Misganaw, C.D., & Bayou, W.D. (2020). Tuber yield and yield component
performance of cassava (*Manihot esculenta*) varieties in Fafen District, Ethiopia.
International Journal of Agronomy, 2020, Article ID 5836452.
<https://doi.org/10.1155/2020/5836452>
 137. Monger, Wendy A., Alicai, T., Ndunguru, J., Kinyua, Z. M., Potts, M., Reeder, R. H.,
Miano, D. W., Adams, I. P., Boonham, N., Glover, R. H. et Smith, J. (2010). The
complete genome sequence of the Tanzanian strain of Cassava brown streak virus
and comparison with the Ugandan strain sequence. *Archives of Virology*, 155(3),
429-433. <https://doi.org/10.1007/s00705-009-0581-8>
 138. Morillo, C., Sánchez, T., Ceballos, H., Calle, F., & Iglesias, C. A. (2013). Quantitative
trait loci controlling carotenoid content in cassava roots. *Euphytica*, 189(2), 261–270.
<https://doi.org/10.1007/s10681-012-0785-4>
 139. Mouketou, A., Koumba, A.A., Gnacadja, C., Zinga-Koumba, C.R., Abessolo Meye,
C., Ovono, A.P.M., Sevidzem, S.L., Mintsu, R., Lepengué, A.N. et Mavoungou, J.F.
(2022). Cassava mosaic disease incidence and severity and whitefly vector
distribution in Gabon. *African Crop Science Journal*, 30(2), 167- 183.
<https://doi.org/10.4314/acsj.v30i2.5>
 140. Mulimbi, W., Phemba, X., Assumani, B., Kasereka, P., Muyisa, S., Ugentho, H.,
Reeder, R., Legg, James P., Laurenson, L. et Weekes, R. (2012). First report of
Ugandan cassava brown streak virus on cassava in Democratic Republic of Congo.
New Disease Reports, 26, 11-11.
 141. Mwangi, M., Bandyopadhyay, R., Dixon, A. G. O. et Tata-Hangy, K. (2004). The
status of fungal tuber rots as constraints to cassava production and utilization in
eastern Democratic Republic of Congo. Dans *Book of Abstracts of the 9th
Triennial Symposium of the International Society for Root and Tuber Crops*,
Mombasa, Kenya (p. 41).
 142. N'safou Mbani C. A. E., Ngama S., Tchamba M. N., Shidiki A. A., Gnacadja C.,
2024. Analytical review of methods and tools for assessing crop damage caused by
elephants: implications of new information technologies. *Bois et Forêts des
Tropiques*, 359 : 39-53. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2024.359.a>
 143. N'Zué, B., Okoma, M. P., Kouakou, A. M., Dibi, K. E. B., Zohouri, G. P., &
Essis, B. S. (2014). Morphological characterization of cassava (*Manihot esculenta*
Crantz) accessions collected in the centre-west, south-west and west of Côte
d'Ivoire. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 4(6), 220–231.
<https://doi.org/10.15580/GJAS.2014.6.050614224>
 144. Nadjam, D., Sarr, P.S., Naïtormbaïdé, M., Mbailao Mbaïguinam, J.M., Guisse, A.,
2016. Agro-Morphological Characterization of Cassava (<i>Manihot

- esculenta<i> Crantz) Cultivars from Chad. Agric. Sci. 07, 479–492.
<https://doi.org/10.4236/as.2016.77049>
145. Narayanan, N., Beyene, G., Chauhan, R.D., Gaitán-Solís, E., Gehan, J., Butts, P., Siritunga, D., Okwuonu, I., Woll, A., Jiménez-Aguilar, D.M., Boy, E., Grusak, M.A., Anderson, P., Taylor, N.J., 2019. Biofortification of field-grown cassava by engineering expression of an iron transporter and ferritin. Nat. Biotechnol. 37, 144–151. <https://doi.org/10.1038/s41587-018-0002-1>
146. Nascimento, J.H.B.; Andrade, L.R.B.d.; Oliveira, S.A.S.d.; Oliveira, E.J.d. Phenotypic Variability in Resistance to Anthracnose, White, Brown, and Blight Leaf Spot in Cassava Germplasm. Plants 2024, 13, 1187. <https://doi.org/10.3390/plants13091187>
147. Ngama S., 2018. Introduction to elephant ecophysiology: principles, methods and case studies on forest elephant (*Loxodonta cyclotis*) crop raiders in Gabon. PhD thesis, Life Sciences, Environmental Sciences & Ecology, 120 p. <http://hdl.handle.net/2268/225855>
148. Ngamo S.T. & Hance Th. 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. TROPICULTURA, 2007, 25, 4, 215-220
149. Nguyen, T.L.T., Gheewala, S.H., Garivait, S., 2007. Energy balance and GHG-abatement cost of cassava utilization for fuel ethanol in Thailand. Energy Policy 35, 4585–4596. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.012>
150. Novoa, D. C. (2022). Commercially Sustainable Cassava Seed Systems in Africa (pp. 453–482). Springer eBooks. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92022-7_15
151. Nzuki, I., Katari, MS, Bredeson, JV, Masumba, E., Kapinga, F., Salum, K. et al. (2017). Cartographie des QTL pour la résistance aux ravageurs et aux maladies du manioc et coïncidence de certains QTL avec des régions d'introgression dérivées de *Manihot Glaziovii*. Avant. Plant Sci. 8:1168. doi: 10.3389/fpls.2017.01168
152. Oben, T., E., E., & Atiri, G. I. (2023). Evaluation of the Effect of African cassava mosaic virus (ACMV) Genus Begomovirus Infection on the Nutritional Components of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2023.1211.017>
153. Ogonna, AC, de Andrade, LR, Rabbi, IY, Mueller, LA, de Oliveira, EJ et Bauchet, GJ (2020). Architecture génétique et cartographie génétique du cyanure dans le manioc (*Manihot esculenta* Crantz). Préimpression de bioRxiv doi : <https://doi.org/10.1101/2020.06.19.159160>
154. Ognalaga, Maurice, M'Akoué, Daglih, Medza Mve, Samson Daudet et Ovono, Paul. (2018). Effet de la bouse de vaches, du NPK 15 15 15 et de l'urée à 46% sur la croissance et la production du manioc (*Manihot esculenta* Crantz var 0018) au Sud-Est du Gabon (Franceville). Journal of Animal and Plant Sciences, 31, 5063- 5073.
155. Okogbenin, E., Egesi, C. N., Olanmi, B., Ogundapo, O., Kahya, S., Hurtado, P., et al. (2012). Analyse des marqueurs moléculaires et validation de la résistance à la mosaïque du manioc dans les génotypes élités du manioc au Nigeria. Scientia Agricola, 52, 2576–2586. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.11.0586>
156. Omongo, C.A., Njoku, D.I., & Mwanga, R.O. (2012). Resistance of cassava to diseases and pests: Current status and future prospects. In: Proceedings of the 13th ISTRC Symposium, Mombasa, Kenya, 2012, pp. 45-52.
157. Oshunsanya, S. O., Nwosu, N. J., & Li, Y. (2019). Abiotic stress in agricultural crops under climatic conditions. In M. K. Jhariya, A. Banerjee, R. S. Meena, & D. K. Yadav (Eds.), Sustainable agriculture, forest and environmental management (pp. 71–100). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6830-1_4

158. Ossai, F. N., Ossai, C., Akpeji, S., Clara, Dr. K., Ashokkumar, Dr., Prabhu, M., & Clara, S. (2024). Assessment of levels of selected macro and microelements present in biofortified provitamin-A cassava varieties. <https://doi.org/10.62773/jcocs.v5i1.224>
159. Otabo, F.R., Labeyrie, V., Duval, M.F., Mabanza, J., Mialoundama, F., 2016. Diversité variétale de manioc sur la base des nominations vernaculaires des agriculteurs dans 4 bassins de production (Hinda, Loudima, Odziba et Oyo) en République du Congo. *J. Appl. Biosci.* 104, 9932. <https://doi.org/10.4314/jab.v104i1.5>
160. Otekunrin, O. A., & Sawicka, B. (2019). Cassava, a 21st Century Staple Crop: How can Nigeria Harness Its Enormous Trade Potentials? *Acta Scientific Agriculture*, 3(8), 194–202. <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0586>
161. Otim-Nape, G. W., Thresh, J. M., & Fargette, D. (1994). African cassava mosaic disease: the magnitude of the problem. *African Crop Science Journal*, 2(4), 533–543.
162. Parmar, A., Sturm, B., & Hensel, O. (2017). Crops that feed the world: Production and improvement of cassava for food, feed, and industrial uses. *Food Security: The Science, Sociology and Economics of Food Production and Access to Food*, 9(5), 907–927. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0717-8>
163. Perera, F., 2017. Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 15, 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010016>
164. Petrie, B. (2014). South Africa: a case for Biomass? International Institute for Environment and Development (IIED). Rapport de recherche. ISBN 9781784310721. Disponible sur le site de l'IIED
165. Rabbi, I. Y., et al. (2020). « Genetic analysis and QTL mapping for multiple biotic stress resistance in cassava ». *PLOS ONE*, 15(8), e0236674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236674>
166. Rabbi, I. Y., Udoh, L. I., Wolfe, M. D., Parkes, E. Y., Jeremiah, S. C., Ikpan, A. S., ... & Jannink, J.-L. (2014). High-resolution mapping of resistance to cassava mosaic geminiviruses in cassava using genotyping-by-sequencing and its implications for breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 127(7), 1683–1695. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2301-2>
167. Rabbi, IY, Kulakow, PA, ManuAduening, JA, Dankyi, AA, Asibuo, JY, Parkes, EY, et al. (2015). Suivi des variétés de cultures à l'aide de marqueurs de génotypage par séquençage : étude de cas sur le manioc (*Manihot esculenta* Crantz). *BMC Genet.* 16:115. doi: 10.1186/s1286301502731
168. Ravindran, V. (1993). Cassava leaves as animal feed: Potential and limitations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(2), 141–150. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2740610202>
169. Rey, Chrissie et Vanderschuren, Hervé. (2017). Cassava mosaic and brown streak diseases: current perspectives and beyond. *Annual review of virology*, 4, 429- 452.
170. Roux-Cuvelier, M., Teyssedre, D., Chesneau, T., Jeffray, C., Massé, D., Jade, K., Karime, A.L. Abdoul, Hostachy, B., Reynaud, B., Legg, J.P. et Lett, J.M. (2014). First report of cassava brown streak disease and associated Ugandan cassava brown streak virus in Mayotte Island. *New Disease Reports*, 30(1), 28-28. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2014.030.028>
171. Sangpueak, R., Phansak, P., & Buensanteai, N. (2018). Morphological and molecular identification of *Colletotrichum* species associated with cassava anthracnose in Thailand. *Journal of Phytopathology*, 166(2), 129–142. <https://doi.org/10.1111/jph.12663>

172. SedanoSoto, J. C., Mora Moreno, R. E., Mathew, B., Léon, J., Gómez Cano, F. A., Ballvora, A., & López Carrascal, C. E. (2017). Major novel QTL for resistance to cassava bacterial blight identified through a multi-environmental analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 1169. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01169>
173. Senanayake, M., Dissanayake, D., & Uthpala, M. (2024). Cassava Flour as a Possible Replacement for Wheat Flour. *Current Scientia*, 27(1), 63–78.
174. Shan Z, Luo X, Wei M, Huang T, Khan A, Zhu Y. 2018. Physiological and proteomic analysis on long-term drought resistance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Sci Rep*. 2018;8:17982. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35711-x>.
175. Shepherd, M. & Knox, P. (2016). “The Paris COP21 climate conference: What does it mean for the southeast?” *Southeastern Geographer*, 56(2), 147 – 151.
176. Sichalwe, K., Kayondo, S. I., Edema, R., Onziga Dramadri, I., Kulembeka, H., Kimani, W., Mgonja, D. M., Rubahaiyo, P., & Kanju, E. (2024). Genetic diversity and population structure of Uganda cassava germplasm. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3944682/v1>
177. Singer S. D., Laurie J. D., Bilichak A., Kumar S. & Singh J., 2021. Genetic Variation and Unintended Risk in the Context of Old and New Breeding Techniques. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 40(1): 68-108
178. Singh, J., Cobb-Smith, D., Higgins, E., & Khan, M. A. (2019). Technological Innovations for Improving Cassava Production in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Genetics*, 11, 736. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.623736>
179. Siritunga, D., & Sayre, R. (2004). Engineering cyanogen synthesis and turnover in cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Molecular Biology*, 56(4), 661–669. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-3415-9>
180. Sitati N. W., Walpole M. J., Leader-Williams N., 2005. Factors affecting susceptibility of farms to crop raiding by African elephants: using a predictive model to mitigate conflict. *Journal of Applied Ecology*, 42 (6): 1175-1182. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01091.x>
181. Sitienei A. J., Jiwen G., Ngene S. M., 2014. Assessing the cost of living with elephants *Loxodonta africana* in areas adjacent to Meru National Park, Kenya. *European Journal of Wildlife Research*, 60: 323-330. <https://doi.org/10.1007/s10344-013-0789-5>
182. Soarimalala, V., Randriamanana, J. P., Razafindramasy, O. G., Oninjatovo, R. H., Razakafamantanantsoa, A., Randrianarisata, M. D. M. Benamina, G. S. Raharinirina, D., Jao, N. M., Raharisoa, D. M., Rakotovao, F., Rafanoharana, J. & Goodman, S. M. 2019. Les rats dans le monde rural du Centre-est et du Centre-sud de Madagascar : dommages causés et systèmes de contrôle. *Malagasy Nature*, 13: 125-151.
183. Somo, M., Kulembeka, H., Mtunda, K., Mrema, E., Salum, K., Wolfe, M. D., et al. (2020). Prédiction génomique et découverte de locus de caractères quantitatifs dans une population de manioc d'entraînement constituée de plusieurs stades de sélection. *Crop Science*, 60(2), 896–913. <https://doi.org/10.1002/csc2.20101>
184. Spencer, D. S. C., & Ezedinma, C. (2017). Cassava cultivation in sub-Saharan Africa. In C. Hershey (Ed.), *Achieving Sustainable Cultivation of Cassava Volume 1: Cultivation Techniques* (pp. 123–148). Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing. DOI: 10.19103/AS.2016.0014.06
185. TAAT Clearinghouse. 2022. Cassava Processing Technology Toolkit Catalogue. Clearinghouse Technical Report Series 013, Technologies for African Agricultural Transformation, Clearinghouse Office, IITA, Cotonou, Benin. 28 pp.
186. Tagliapietra, B. L., Zanon Jr., A. J., Tironi, L. F., Streck, N. A., & Richards, N. S. P. D. S. (2021). Nutritional quality and sensory acceptance of

- biofortified cassava. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24.
<https://doi.org/10.1590/1981-6723.24720>
187. Tchegueni, M., Tounou, A. K., Kolani, L., Tchao, M., Gnon, T., Agboka, K., & Sanda, K. (2022). Effet des associations culturales maïs-soja et maïs-manioc sur la dynamique et les dégâts de la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) et le rendement en grains de maïs au Sud Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(4), 1399–1410.
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i4.4>
 188. Teeken, B., Agbona, A., Abolore, B., Olaosebikan, O., Alamu, E., Adesokan, M., et al. (2020). Understanding cassava varietal preferences through pairwise ranking of garieba and fufu prepared by local farmer processors. New York, NY: Wiley.
 189. Temegne, N.C., Cameroon, M.B.I., Ngome Ajebesone Francis, B.I., 2016. Agro-morphological Characterization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Collected in the Humid Forest and Guinea Savannah Agro-ecological Zones of Cameroon. *Greener J. Agric. Sci.* 6, 209–225.
<https://doi.org/10.15580/GJAS.2016.8.062716107>
 190. Temegne, N.C., Ngome, A.F., & Fotso, K.A. (2015). Effect of soil chemical composition on nutrient uptake and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiaceae) in two agro-ecological zones of Cameroon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 2776–2788.
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.21>
 191. Thanyasiriwat, T., Sraphet, S., Whankaew, S., Boonseng, O., Bao, J., & Lightfoot, D. A. (2013). Quantitative trait loci associated with starch pasting properties in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agricultural Science*, 151(6), 779–788.
<https://doi.org/10.1017/S002185961200070X>
 192. Thatoi, H., Dash, P. K., Mohapatra, S., & Swain, M. R. (2014). Bioethanol production from tuber crops using fermentation technology: A review. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(5), 443–468.
<https://doi.org/10.1080/14786451.2014.918616>
 193. Thresh, J. M., Otim-Nape, G. W., & Fargette, D. (1997). The components and spread of cassava mosaic virus disease. *African Journal of Root and Tuber Crops*, 2(1), 28–32.
 194. Tiago Ribeiro da Costa; Pedro Soares Vidigal Filho; Maria Celeste Gonçalves-Vidigal; Marta Zulema Galván; Giselly Figueiredo Lacanallo; Luciano Ivano da Silva; Marcus Vinicius Kvitschal. 2013. Genetic diversity and population structure of sweet cassava using simple sequence repeat (SSR) molecular markers. *African Journal of Biotechnology* Vol. 12(10), pp. 1040-1048, 6 March, 2013; DOI: 10.5897/AJB12.2727
 195. Tighankoumi, G., Dzidzienyo, D. K., Somé, K., Tongoona, P., & Asante, I. (2024). Genetic diversity and unique genotype identification in togo's cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm using SNP markers. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1).
<https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2429741>
 196. Tize, I., Fotso, A. K., Nukenine, E. N., Masso, C., Ngome, F. A., Suh, C., Wirnkar Lenzemo, V., Nchoutnji, I., Manga, G., Parkes, E., Kulakow, P., Kouebou, C., Fiaboe, K. K. M., & Hanna, R. (2021). New cassava germplasm for food and nutritional security in Central Africa. *Scientific Reports*, 11, 7394.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-86958-w>
 197. Vernier, P., N'Zué, B., Zakhia-Rozis, N., 2018. Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2708-2>

198. Walker K. L., 2011. Labor Costs and Crop Protection from Wildlife Predation: the Case of Elephants in Gabon. *Agricultural Economics*, 43 (1): 61-73. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2011.00565.x>
199. Wanapat, M. (2003). Manipulation of Cassava Cultivation and Utilization to Improve Protein to Energy Biomass for Livestock Feeding in the Tropics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(3), 463–472. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2003.463>
200. Wang, B., Guo, X., Zhao, P., Ruan, M., Yu, X., et al. (2017). Molecular diversity analysis, drought related marker-traits association mapping and discovery of excellent alleles for 100-day old plants by EST-SSRs in cassava germplasms (*Manihot esculenta* Cranz). *PLoS ONE*, 12(5), e017xxxx. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.017xxxx>
201. Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1–14.
202. Wassie, H., & Getahun, A. (2020). ethiopia and ethiopianism in selected historical plays by tsegaye gebremedhin. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 7(10), 1–27. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v7.i10.2020.784>
203. Westby, A. (2002). Cassava Utilization, Storage and Small-Scale Processing. In R. J. Hillocks, J. M. Thresh & A. C. Bellotti (Eds.), *Cassava: Biology, Production and Utilization* (pp. 281–300). CABI Publishing, Wallingford. DOI : 10.1079/9780851995243.0281
204. Whankaew, S., Laohakunjit, N., & Kerdchoechuen, O. (2011). Genetic analysis of cyanogenic glucoside content in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots. *Plant Breeding*, 130(5), 516–521. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2011.01863.x>
205. Wolfe, M. D., Rabbi, I. Y., Egesi, C., Hamblin, M., Kawuki, R., Kulakow, P., & Jannink, J. L. (2016). Genome-wide association and prediction reveals genetic architecture of cassava mosaic disease resistance and prospects for rapid genetic improvement. *Plant Genome*, 9(2), plantgenome2016.02.0012. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2016.02.0012>
206. Wydra, Kerstin et Verdier, Valerie. (2002). Occurrence of cassava diseases in relation to environmental, agronomic and plant characteristics. *Agriculture, ecosystems & environment*, 93(1- 3), 211- 226.
207. Yonemaru, J. I., Yamamoto, T., Kuranouchi, T., Kurita, H., & Yamagata, H. (2010). Genetic architecture of cyanogenic glucoside content in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Theoretical and Applied Genetics*, 120(3), 505–517. doi:10.1007/s00122-009-1191-5
208. Younoussa, D., Momar, T., Gueye, M.S., Praxède, G.D., Amadou, K.J.P. and Lognay, B.G. (2013) Importance nutritionnelle du manioc et perspectives pour l'alimentation de base au Sénégal (synthèse bibliographique). *Biotechnologie Agronomie Sociologie et Environnement*, 17, 634-643.
209. Zárate-Chaves CA, Gómez de la Cruz D, Verdier V, López CE, Bernal A, Szurek B. Cassava diseases caused by *Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis* and *Xanthomonas cassavae*. *Mol Plant Pathol*. 2021 Dec;22(12):1520-1537. doi: 10.1111/mpp.13094
210. Zhang, X., Li, L., Li, D., Li, J., Wang, H., & Zhang, H. (2018). Genome-wide association study of agronomic traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Frontiers in Plant Science*, 9, 1327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01327>
211. Zhou, X., Liu, Y., Calvert, L., Munoz, C., Otim-Nape, G.W., Robinson, D.J., & Harrison, B.D. (1997). Evidence that DNA-A of a geminivirus associated with

1773 severe cassava mosaic disease in Uganda has arisen by interspecific recombination.
1774 Journal of General Virology, 78(8), 2101–2111.
1775 212. Zidenga T, Siritunga D and Sayre RT (2017) Cyanogen Metabolism in Cassava
1776 Roots: Impact on Protein Synthesis and Root Development. Front. Plant Sci. 8:220.
1777 doi: 10.3389/fpls.2017.00220
1778 213. Zinga I, Nguimalet C.R., Lakouetene D.P., Konate G., Komba E.K., Semballa S.
1779 (2008). Les effets de la mosaïque africaine du manioc en République Centrafricaine.
1780 Geo-Eco-Trop, 32, 47–60.
1781

PEER REVIEW IN IJAR