

UNIVERSITE JOSEPH KI-ZERBO

-----  
École Doctorale  
Sciences et Technologies

-----  
Laboratoire Biosciences



N° d'ordre :

# THESE

Présentée par

**SAWADOGO TEGAWENDE ALPHONSE**

pour obtenir le grade de :

**Docteur de l'UNIVERSITÉ JOSEPH KI-ZERBO**

**Option** : Sciences Biologiques Appliquées

**Spécialité** : Génétique et Amélioration des Plantes

**DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE  
*SOLENOSTEMON ROTUNDIFOLIUS* (POIR.) J. K. MORTON DU BURKINA FASO  
ET DU GHANA**

Soutenue le 27 Janvier 2025 devant le jury composé de :

**Président** : Moussa SIE, Directeur de Recherche, INERA/CNRST, (Burkina Faso)

**Membres** :

-Yves VIGOUROUX, Directeur de Recherche, IRD Montpellier (France), Rapporteur ;

-Koussao SOME, Maître de Recherche CAMES, INERA/CNRST, (Burkina Faso),

Rapporteur ;

-Renan Ernest TRAORE, Professeur Titulaire des Universités CAMES, Université Joseph KI-ZERBO, (Burkina Faso), Rapporteur ;

-Mahamadi Hamed OUEDRAOGO, Maître de Conférences CAMES, Université Joseph KI-ZERBO, (Burkina Faso), Examineur ;

-Romaric Kiswendsida NANEMA, Maître de Conférences CAMES, Université Joseph KI-ZERBO, (Burkina Faso), Directeur de thèse.

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX .....	xi
RESUME.....	xiii
ABSTRACT .....	xv
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique .....	3
<b>1.1. Botanique.....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Classification.....	3
1.1.2. Description morphologique de <i>S. rotundifolius</i> .....	4
<b>1.2. Différents stades de développement de <i>S. rotundifolius</i>, conditionnement et conservation des tubercules .....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Stade plantule .....	6
1.2.2. Stade tallage .....	7
1.2.3. Stade épiaison-floraison .....	7
1.2.4. Stade maturité.....	7
1.2.5. Récolte, conditionnement et conservation des tubercules de <i>S. rotundifolius</i> .....	7
<b>1.3. Origine, répartition géographique et culture de <i>S. rotundifolius</i> .....</b>	<b>8</b>
1.3.1. Origine et répartition géographique .....	8
1.3.2. Conditions pédoclimatiques de la culture de <i>S. rotundifolius</i> .....	8
1.3.3. Mise en culture de <i>S. rotundifolius</i> .....	9
<b>1.4. Maladies et ravageurs de <i>S. rotundifolius</i>.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5. Potentialités et usages de <i>S. rotundifolius</i> .....</b>	<b>10</b>
1.5.1. Potentialités agronomiques de <i>S. rotundifolius</i> .....	10

1.5.2. Valeur nutritive des tubercules.....	10
1.5.3. Usages alimentaires des tubercules de <i>S. rotundifolius</i> .....	10
1.5.4. Potentialités et usages médicinaux de <i>S. rotundifolius</i> .....	10
<b>1.6. Importance socioéconomique de <i>S. rotundifolius</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>1.7. Etude de la diversité génétique de plantes à racines et tubercules par les marqueurs morphologiques et microsatellites .....</b>	<b>11</b>
1.7.1. Marqueurs morphologiques et caractérisation de la variabilité intraspécifique de quelques plantes à racines et tubercules .....	11
1.7.2. Caractéristiques des marqueurs microsatellites SSR (Simple Sequence Repeat) et leur application dans l'étude de la diversité génétique de quelques plantes à racines et tubercules .....	12
<b>1.8. Phytochimie de <i>Solenostemon rotundifolius</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>1.9. Métabolites secondaires .....</b>	<b>13</b>
1.9.1. Classification des polyphénols .....	13
1.9.2. Effets biologiques des polyphénols.....	14
1.9.3. Structure et classification des flavonoïdes .....	14
1.9.4. Effets biologiques des flavonoïdes.....	15
<b>CHAPITRE II : CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE DES ACCESSIONS DE <i>SOLENOSTEMON ROTUNDIFOLIUS</i> (POIR.) J. K. MORTON DU BURKINA FASO ET DU GHANA .....</b>	<b>17</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Matériel et méthodes .....</b>	<b>17</b>
2.1.1. Matériel végétal.....	17
2.1.2. Site expérimental.....	19
2.1.3. Dispositif expérimental et pratiques culturales .....	21
2.1.4. Observation des caractères agromorphologiques.....	21
2.1.5. Expression des résultats .....	23
2.1.6. Analyses des données.....	24

<b>2.2. Résultats .....</b>	<b>24</b>
2.2.1. Variabilité des caractères qualitatifs de <i>S. rotundifolius</i> .....	24
2.2.2. Variation des caractères quantitatifs de <i>S. rotundifolius</i> .....	32
<b>2.3. Discussion .....</b>	<b>42</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>
<b>CHAPITRE III : VALIDATION DE MARQUEURS MICROSATELLITES ET ETUDE DE LA DIVERSITE GENETIQUE MOLECULAIRE DE <i>SOLENOSTEMON ROTUNDIFOLIUS</i> DU BURKINA FASO ET DU GHANA.....</b>	<b>45</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1. Matériel végétal.....</b>	<b>46</b>
3.1.1. Provenance des accessions .....	46
3.1.2. Mise en culture et entretien des plants .....	46
3.1.3. Prélèvement du matériel végétal .....	47
<b>3.2. Marqueurs moléculaires utilisés.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3. Méthodes.....</b>	<b>51</b>
3.3.1. Méthode d'extraction, quantification et purification de l'ADN génomique .....	51
3.3.2. Amplification PCR pour le test de validation des marqueurs SSR .....	51
3.3.3. Migration électro-phorétique et lecture des bandes pour la validation des marqueurs SSR.....	52
3.3.4. Amplification PCR et électrophorèse capillaire sur séquenceur .....	52
<b>3.4. Analyse des données moléculaires.....</b>	<b>54</b>
3.4.1. Paramètres de diversité génétique intrapopulation de <i>S. rotundifolius</i> .....	54
3.4.2. Paramètres de diversité inter populations.....	55
3.4.3. Structuration et organisation de la diversité génétique .....	55
<b>3.5. Résultats et discussion .....</b>	<b>56</b>
3.5.1. Diversité génétique de la collection de <i>S. rotundifolius</i> du Burkina Faso et du Ghana à l'aide des SSR.....	56
3.5.2. Diversité de <i>S. rotundifolius</i> en fonction de la provenance (pays).....	59

3.5.3. Diversité de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des zones climatiques du Burkina Faso et du Ghana .....	61
3.5.4. Organisation de la diversité.....	62
3.5.4.1. Structuration de la diversité génétique de l'ensemble de la collection de <i>S. rotundifolius</i> du Burkina Faso et du Ghana .....	62
3.5.4.2. Paramètres génétiques inter- groupes de <i>S. rotundifolius</i> .....	65
3.5.4.3. Différenciation inter-groupes génétiques .....	65
<b>3.6. Discussion .....</b>	<b>66</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>68</b>
<b>CHAPITRE IV : EVALUATION DE LA TENEUR EN COMPOSES PHENOLIQUES ET DU POUVOIR ANTIOXYDANT DES FEUILLES DE <i>S. ROTUNDIFOLIUS</i> (POIR.) J. K. MORTON DU BURKINA FASO ET DU GHANA .....</b>	<b>69</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1. Matériel et méthodes .....</b>	<b>69</b>
4.1.1. Matériel végétal.....	69
4.1.2. Méthodes .....	70
<b>4.2. Résultats .....</b>	<b>73</b>
4.2.1. Rendements d'extraction.....	73
4.2.2. Teneurs de composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux .....	74
4.2.3. Variation de la teneur en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions en fonction du pays de provenance .....	75
4.2.4. Variation de la teneur en composés polyphénoliques et concentration inhibant 50% de radicaux des accessions suivant la pluviométrie de la zone de collecte de <i>S. rotundifolius</i> au Ghana et au Burkina Faso.....	76
4.2.5. Corrélations entre les teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux de <i>S. rotundifolius</i> .....	77

4.2.6. Structuration de la variabilité des composés polyphénoliques des accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux .....	78
4.2.7. Caractérisation des groupes d'accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des polyphénols et la concentration inhibant 50% de radicaux issus de la CAH.....	80
<b>4.3. Discussion .....</b>	<b>84</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>85</b>
<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>87</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>103</b>

# DEDICACE

***Je dédie ce travail à mon merveilleux père  
SAWADOGO YOBI SALIF décédé le 04 octobre  
2024. Tu étais un grand homme papa que nous  
sommes fiers d'avoir eu pour père, ta grande  
ouverture d'esprit me manque déjà. Je n'ai pas ton  
talent pour écrire ou pour parler, mais j'ai fait ce  
que j'ai pu.***

***À ma mère OUEDRAOGO Elise.  
Je ne cesserai donc de vous dire MERCI !!!  
Ayez la satisfaction du devoir accompli, chers  
parents.***

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été possible grâce au soutien de nombreuses personnes à qui nous exprimons notre profonde gratitude. Ainsi, nous remercions très sincèrement :

- Monsieur NANEMA Kiswendsida Romaric, Maître de Conférences en Génétique et Amélioration des Plantes à l'Université Joseph KI-ZERBO, à qui nous ne saurions traduire à sa juste valeur notre reconnaissance, pour l'encadrement de qualité reçu et pour avoir guidé nos premiers pas dans la recherche depuis l'année 2014. Merci pour votre disponibilité, votre engagement dans l'aboutissement de ce travail à travers la définition du thème, le suivi des travaux, l'analyse des données et les différentes corrections du mémoire, et pour vos conseils multiples et multiformes ;

- Monsieur SAWADOGO Mahamadou, Professeur Titulaire en Génétique et Amélioration des Plantes à l'Université Joseph KI-ZERBO, Directeur du Laboratoire Biosciences pour ses conseils fructueux ;

- Madame BATIONO/KANDO Pauline, Professeur Titulaire en Génétique et Amélioration des Plantes à l'Université Joseph KI-ZERBO, pour son accompagnement et ses conseils ;

Pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail et pour le temps qu'ils ont investi à évaluer et à apprécier cette thèse, nous voulons remercier :

- Monsieur Moussa SIE, Directeur de Recherche, INERA/CNRST, (Burkina Faso) pour avoir évalué cette thèse en tant que président du jury de soutenance ;

- Monsieur Yves VIGOUROUX, Directeur de Recherche, IRD Montpellier, (France) pour avoir évalué cette thèse en tant que rapporteur et membre du jury ;

- Monsieur Koussao SOME, Maître de Recherche CAMES, INERA/CNRST, (Burkina Faso) pour avoir évalué cette thèse en tant que rapporteur et membre du jury ;

- Monsieur Renan Ernest TRAORE, Professeur Titulaire des Universités CAMES, Université Joseph KI-ZERBO, (Burkina Faso) pour avoir évalué cette thèse en tant que rapporteur et membre du jury ;

- Monsieur Mahamadi Hamed OUEDRAOGO, Maître de Conférences CAMES, Université Joseph KI-ZERBO, (Burkina Faso), pour avoir évalué cette thèse en tant qu'examineur et membre du jury.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à l'endroit de tous ceux cités ci-dessous pour leurs contributions à ce travail :

- Monsieur SAWADOGO Nerbéwendé, Professeur Titulaire en Génétique et Amélioration des Plantes à l'Université Joseph KI-ZERBO, pour les efforts déployés pour l'appréciation et l'amélioration de ce document. Merci pour les critiques objectives ;

- Monsieur KIEBRE Zakaria, Maître de Conférences en Génétique et Amélioration des Plantes à l'Université Joseph KI-ZERBO, pour ses conseils et son assistance lors de nos travaux;

- Madame KIEBRE Mariam et Monsieur BOUGMA Lardia Ali, Maître-Assistants en Génétique et Amélioration des Plantes de l'Université Joseph KI-ZERBO à qui nous traduisons notre reconnaissance pour leur accompagnement lors de la caractérisation agromorphologique ;

- Monsieur COMPAORE Moussa, Maître de Conférences en Biochimie et Chimie des Substances Naturelles à l'Université Joseph KI-ZERBO, qui nous a accueilli et assisté tout au long de nos travaux de biochimie et a tout mis en œuvre pour la prise en charge de nos manipulations au sein du Laboratoire de Biochimie et Chimie Appliquée ; nous lui témoignons aussi notre reconnaissance pour les efforts déployés pour l'appréciation et l'amélioration de ce document, ses conseils et pour sa disponibilité ;

- Monsieur KUSI Francis, Principal Research Scientist (Resistance des plantes hotes), Directeur de CSIR-Savanna Agricultural Research Institute, Tamale au Ghana , pour sa disponibilité, pour l'accueil lors de notre séjour au Ghana et les différentes contributions dans la rédaction du mémoire ;

- Monsieur OUEDRAOGO Jacques, Assistant en Génétique et Amélioration des Plantes au Centre Universitaire de Ziniaré, pour l'appui lors de nos travaux ;

- Messieurs KABORE Boukaré du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST)/Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Laboratoire Central d'Horticulture, Bobo Dioulasso, pour les échanges fructueux et les conseils .

Nos travaux d'analyse moléculaire ont été principalement réalisés au laboratoire de génétique de l'Unité Mixte de Recherche de Diversité, adaptation et développement des plantes à Institut de Recherche pour le Développement de Niamey (au Niger). Durant tout notre séjour, le personnel nous a bien intégré et a tout mis en œuvre pour la réalisation de nos travaux. Merci pour le financement des mes travaux de biologie moléculaire au sein du Laboratoire . Nous voulons particulièrement remercier :

- Madame ZEKRAOUI Leila, responsable du laboratoire de génétique de l'Unité Mixte de Recherche de Diversité, Adaptation et Développement des plantes à Institut de Recherche

pour le Développement de Niamey, pour son assistance ses multiples conseils lors de nos manipulations ainsi que dans l'analyse des données moléculaires ;

- Madame AMADOU Aichatou Assoumane, Maître de Conférences à l'Université Abdou Moumouni de Niamey, pour ses multiples conseils lors de nos manipulations ainsi que dans l'analyse des données moléculaires.

Nous témoignons notre profonde reconnaissance au projet SUSTLIVES pour la prise en charge des frais de séjour et du voyage lors de nos travaux de caractérisation moléculaire à Niamey.

Nous vous serons toujours reconnaissant pour votre investissement tout au long de notre formation.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

**ACP** : Analyse en Composantes Principales

**ADN** : Acide Désoxyribo-Nucléique

**AFD** : Analyse Factorielle Discriminante

**AFLP** : Amplified Fragment Length Polymorphism

**AFTD** : Analyse Factorielle sur Tableau de Distances

**ANOVA** : Analysis Of Variance

**BET** : Bromure d'Ethidium

**BUNASOL** : Bureau National des Sols

**CAH** : Classification Ascendante Hiérarchique

**CIAA** : Chloroforme IsoAmylique Alcool

**DNTP** : Désoxyribo Nucleotide Tri Phosphate

**EAG** : Equivalent Acide Gallique

**EDTA**: Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid

**EQ** : Equivalent Quercétine

**ER** : Equivalent Rutine

**FAO** : Food and Agriculture Organization of the United Nations

**ISSR**: Inter Simple Sequence Repeat

**MATAB**: Mixed Alkyl Trimethyl Amonium Bromide

**pb** : paire de bases

**PCR**: Polymerase Chain Reaction

**PIC** : Polymorphism Information Content

**RAPD**: Random Amplified Polymorphic DNA

**RPM**: Rotation Par Minute

**SNP**: Single Nucleotide Polymorphism

**SSR:** Simple Sequence Repeat

**TBE:** Tris-Borate Ethidium

**TE :** Tris-EDTA

**TES :** Tris-EDETA Sorbitol

## LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

### ➤ ARTICLES SCIENTIFIQUES

-**Alphonse Tegawendé SAWADOGO**, Moussa COMPAORE, Ignace TONDE, and Romaric Kiswendsida NANEMA, 2024. Polyphenolic content variability of *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton accessions from Burkina Faso and Ghana. *Journal of Biological Sciences*, 24:12-19.

-**Alphonse Tegawendé SAWADOGO**, Romaric Kiswendsida NANEMA, Francis KUSI, Mariam KIEBRE, and Ignace TONDE, 2024. Agromorphological variability of *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton accessions from Burkina Faso and Ghana. *Agricultural and Biological Research*, 40(1):850-857.

### ➤ COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

#### - COMMUNICATIONS ORALES

**SAWADOGO Tegawendé Alphonse** , NANEMA Kiswendsida Romaric KIEBRE Mariam, TONDE Ignace, TUINA Sévérin, BATIONO/KANDO Pauline, **2020**. Structuration de la diversité génétique d'une collection nationale de *Solenostemon rotundifolius* du Burkina et du Ghana. 2e Journée Scientifique de l'Université de Ouahigouya tenue les 8 et 9 décembre 2020.

**SAWADOGO Tegawendé Alphonse**, NANEMA Kiswendsida Romaric, KIEBRE Mariam, TONDE Ignace, TUINA Sévérin, BATIONO/KANDO Pauline , **2021**. Évaluation agromorphologique d'une collection de *Solenostemon rotundifolius* du Burkina et du Ghana. XIII<sup>e</sup> édition du Forum national de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques (FRSIT) à Ouagadougou, Burkina Faso, du 26 au 30 octobre 2021.

**SAWADOGO Tegawendé Alphonse**, KIEBRE Mariam, TONDE Ignace, TUINA Sévérin, BATIONO/KANDO Pauline, NANEMA Kiswendsida Romaric, **2021**. Validation de marqueurs microsatellites (SSR) sur *Solenostemon rotundifolius* au Burkina Faso et étude de la diversité génétique d'une collection de *Solenostemon rotundifolius* du Burkina et du Ghana. 4<sup>em</sup> édition du Symposium International sur la Science et la Technologie (SIST 2021) tenu à Ouagadougou, Burkina Fao du 15 au 19 Novembre 2021.

**SAWADOGO Tegawendé Alphonse**, NANEMA Kiswendsida Romaric, KIEBRE Mariam, TONDE Ignace, TUINA Sévérin, BATIONO/KANDO Pauline, **2022**. Variabilité

agromorphologique d'une collection nationale du Burkina Faso de *Solenostemon rotundifolius* en fonction des trois zones climatiques du Burkina Faso. Doctoriales de l'Université Joseph KI-ZERBO, tenues les 16,17 et 18 juillet 2022.

**SAWADOGO Tegawendé Alphonse, NANEMA Kiswendsida Romaric, ZEKRAOUI Leila, TONDE Ignace, BATIONO/KANDO Pauline, 2023.** Paramètres de diversité génétique de 267 accessions de *Solenostemon rotundifolius* en fonction des trois zones climatiques du Burkina Faso et de deux zones agroécologiques du Ghana à l'aide de douze (12) marqueurs SSR. Doctoriales de l'Université Joseph KI-ZERBO, tenues les 12,13 et 14 juillet 2023.

- **POSTER**

**SAWADOGO Tegawendé Alphonse, NANEMA Kiswendsida Romaric, KUSI Francis, 2024.** Variabilité agromorphologique des germoplasmes de *Solenostemon rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana. 4<sup>ème</sup> édition de la conférence Intensification Durable à Dakar au Sénégal tenues les 23, 24 et 25 avril 2024.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Couleurs de la peau du tubercule de <i>S. rotundifolius</i> .....	4
<b>Figure 2</b> : Feuille de <i>S. rotundifolius</i> .....	5
<b>Figure 3</b> : Inflorescence de <i>S. rotundifolius</i> .....	6
<b>Figure 4</b> : Plantule de <i>S. rotundifolius</i> .....	7
<b>Figure 5</b> : Tubercules de <i>S. rotundifolius</i> conservés dans un canari (a) et dans des chaumes (b) .....	8
<b>Figure 6</b> : Structure de base des flavonoïdes .....	14
<b>Figure 7</b> : Structures chimiques de quelques flavonoïdes .....	15
<b>Figure 8</b> : Localisation des sites de collecte des accessions de <i>S. rotundifolius</i> du Burkina Faso .....	18
<b>Figure 9</b> : Localisation des sites de collecte des accessions de <i>S. rotundifolius</i> du Ghana.....	19
<b>Figure 10</b> : Pluviométrie et température du site expérimental de Gampèla en 2020 .....	20
<b>Figure 11</b> : Variation de couleur de la base de la plantule de <i>S. rotundifolius</i> .....	25
<b>Figure 12</b> : Variation de couleur des feuilles de la plantule de <i>S. rotundifolius</i> .....	25
<b>Figure 13</b> : Variation du degré de gaufrage des feuilles de <i>S. rotundifolius</i> .....	26
<b>Figure 14</b> : Variation de la densité du feuillage de <i>S. rotundifolius</i> .....	27
<b>Figure 15</b> : Variation de la couleur des boutons floraux de <i>S. rotundifolius</i> .....	28
<b>Figure 16</b> : Variation de la couleur des feuilles de <i>S. rotundifolius</i> .....	28
<b>Figure 17</b> : Variation de couleur de la peau du tubercule de <i>S. rotundifolius</i> .....	29
<b>Figure 18</b> : Variation de la forme du tubercule de <i>S. rotundifolius</i> .....	29
<b>Figure 19</b> : Variabilité pour la ramification du tubercule de <i>S. rotundifolius</i> .....	30
<b>Figure 20</b> : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique des 174 accessions de <i>S. rotundifolius</i> .....	38
<b>Figure 21</b> : Association des caractères quantitatifs de <i>S. rotundifolius</i> aux axes de l'AFD ....	40
<b>Figure 22</b> : Plan ½ de l'AFD des groupes issus de la CAH d'accessions de <i>S. rotundifolius</i> .	40
<b>Figure 23</b> : profil de variation de delta (K) .....	63
<b>Figure 24</b> : Structure de la diversité génétique de 267 accessions de <i>S. rotundifolius</i> basées sur l'analyse bayésienne de 11 marqueurs SSR polymorphes à K=4 .....	64
<b>Figure 25</b> : Courbe d'étalon de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.....	71
<b>Figure 26</b> : Courbe d'étalon de l'acide gallique pour le dosage des flavonoïdes totaux .....	72
<b>Figure 27</b> : Courbe d'étalon de l'acide gallique pour le dosage des flavonols totaux .....	72

<b>Figure 28:</b> Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique des accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des composés polyphénoliques et de la concentration inhibant 50% de radicaux .....	79
<b>Figure 29:</b> Association des polyphénols,des flavonoïdes ; des flavonols et concentration inhibant 50% de radicaux de <i>S. rotundifolius</i> aux axes de l'AFD .....	80
<b>Figure 30:</b> plan ½ de l'AFD des groupes issus de la CAH de teneur des des polyphénols,des flavonoïdes ; des flavonols et de la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de <i>S. rotundifolius</i> .....	81

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I:</b> Classification botanique de <i>S. rotundifolius</i> .....	3
<b>Tableau II:</b> Structure des squelettes des polyphénols .....	13
<b>Tableau III :</b> Caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental .....	21
<b>Tableau IV:</b> Caractères qualitatifs de <i>S. rotundifolius</i> .....	22
<b>Tableau V:</b> Caractères quantitatifs de <i>S. rotundifolius</i> .....	23
<b>Tableau VI:</b> Variation des caractères qualitatifs dans la collection de <i>Solenostemon rotundifolius</i> .....	31
<b>Tableau VII:</b> Variabilité des accessions de <i>S. rotundifolius</i> pour les caractères quantitatifs .	33
<b>Tableau VIII:</b> Variation des caractères quantitatifs des accessions en fonction du pays de provenance (Burkina Faso et Ghana) .....	34
<b>Tableau IX :</b> Variation des caractères quantitatifs des accessions en fonction de la zone climatique du Burkina Faso et du Ghana .....	36
<b>Tableau X:</b> Matrice de corrélations bivariées entre les caractères quantitatifs de <i>S. rotundifolius</i> .....	37
<b>Tableau XI :</b> Provenances des accessions de <i>S. rotundifolius</i> par groupe issu de la CAH.....	39
<b>Tableau XII:</b> Caractéristiques des accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des groupes issus de la CAH.....	41
<b>Tableau XIII:</b> Caractéristiques des cinquante (50) amorces SSR de <i>S. rotundifolius</i> .....	48
<b>Tableau XIV:</b> Caractéristiques des 12 amorces microsatellites utilisées pour le génotypage de la collection de <i>S. rotundifolius</i> du Burkina Faso et du Ghana .....	53
<b>Tableau XV:</b> Nombre et taille des allèles obtenus avec les marqueurs SSR de <i>S. rotundifolius</i> .....	57
<b>Tableau XVI:</b> Fréquences alléliques des marqueurs SSR dans la collection du <i>S. rotundifolius</i> .....	58
<b>Tableau XVII:</b> Paramètres de diversité génétique de la collection de <i>S. rotundifolius</i> du Burkina Faso et du Ghana .....	59
<b>Tableau XVIII:</b> Paramètres de diversité génétique de la collection de <i>S. rotundifolius</i> en fonction du pays de provenance .....	60
<b>Tableau XIX:</b> Proportion de la variance moléculaire entre les accessions du Burkina Faso et du Ghana .....	60
<b>Tableau XX:</b> Paramètres de différenciation génétique entre les accessions du Burkina Faso et du Ghana .....	60

<b>Tableau XXI:</b> Paramètres de diversité génétique de la collection de <i>Solenostemon rotundifolius</i> des zones climatiques du Burkina Faso et du Ghana.....	61
<b>Tableau XXII:</b> Proportion de la variance moléculaire entre les accessions en fonction du facteur des zones climatiques .....	61
<b>Tableau XXIII:</b> Paramètre de différenciation génétique entre les accessions par zone climatique .....	62
<b>Tableau XXIV :</b> Provenances des accessions de <i>S. rotundifolius</i> par groupe génétique .....	64
<b>Tableau XXV:</b> Paramètres de diversité génétique de la collection de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des groupes génétiques .....	65
<b>Tableau XXVI:</b> Proportion de la variance moléculaire entre les groupes génétiques.....	66
<b>Tableau XXVII:</b> Différenciation génétique inter groupes génétiques.....	66
<b>Tableau XXVIII:</b> Rendements d'extractions des accessions de <i>S. rotundifolius</i> du Ghana et du Burkina Faso .....	74
<b>Tableau XXIX:</b> Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux de la collection de <i>S. rotundifolius</i> du Ghana et du Burkina Faso .....	75
<b>Tableau XXX:</b> Variabilité de la teneur en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux en fonction du pays d'origine (Burkina Faso et Ghana) .....	75
<b>Tableau XXXI :</b> Variabilité en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des extraits des accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des zones climatiques du Burkina Faso et du Ghana .....	77
<b>Tableau XXXII:</b> Matrice de corrélations bivariées entre les teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux.....	77
<b>Tableau XXXIII :</b> Composition des groupes issus de la Classification Ascendante Hiérarchique de la collection de <i>S. rotundifolius</i> du Burkina Faso et du Ghana .....	80
<b>Tableau XXXIV:</b> Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de <i>S. rotundifolius</i> par groupe issu de la CAH.....	82
<b>Tableau XXXV:</b> Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des groupes issues de la caractérisation agromorphologique .....	83
<b>Tableau XXXVI:</b> Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de <i>S. rotundifolius</i> en fonction des groupes issues de la caractérisation moléculaire .....	83

## RESUME

*Solenostemon rotundifolius* est une herbacée de la famille des Lamiacées. Elle est bien adaptée aux conditions pédoclimatiques de la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. *S. rotundifolius* fait actuellement partie des plantes mineures, malgré ses potentialités alimentaires, son importance économique et socioculturelle avérées. La valorisation de *S. rotundifolius* nécessite une bonne connaissance de ses ressources génétiques. Des germoplasmes de *S. rotundifolius* du Burkina Faso du Ghana ont été caractérisés. Une évaluation agromorphologique suivant un dispositif en blocs complètement randomisés de Fisher avec trois répétitions a été conduite de juillet à Octobre 2020. Au total 25 caractères dont 13 qualitatifs et 12 quantitatifs, relatifs au feuillage, au cycle de développement et à la production en tubercules ont été évalués. Douze marqueurs microsatellites (SSR) validés ont été par la suite utilisés sur 267 accessions pour l'étude de la diversité génétique de *S. rotundifolius*. Une évaluation de la teneur en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux en flavonols totaux et de l'activité antioxydante exprimée en concentration inhibitrice l'IC<sub>50</sub> des feuilles de *S. rotundifolius* a été faite à partir d'extraits des feuilles de 121 accessions issues de la collection. L'évaluation agromorphologique a révélé une variabilité agromorphologique au sein de la collection de *S. rotundifolius*. Tous les 13 caractères qualitatifs ont révélé une forte variabilité au sein de la collection. Le cycle de développement a varié de 110 jours pour les accessions précoces, à 141 jours pour les accessions tardives. Les caractères relatifs aux tubercules ont été les plus variables. Les accessions les moins productives n'ont donné que quatre tubercules par pied pour un poids total de 3,6 g. Par contre, les plus productives ont atteint 172 tubercules par pied pour un poids de 409,9 g. Des différences significatives ont été observées en fonction du pays de provenance et surtout de la zone climatique. L'évaluation génétique a permis d'identifier 11 marqueurs polymorphes qui ont révélé 57 allèles avec un nombre moyen de 5,18 allèles par marqueur, un nombre d'allèles efficaces de 2,656, une hétérozygotie attendue de 0,547, une hétérozygotie observée de 0,845, un indice de diversité de Shannon de 0,976 et un contenu en information de polymorphisme de 0,509. L'Indice de fixation (FIS) a été négatif pour tous les marqueurs. L'étude de la structuration génétique a donné une répartition des accessions en quatre groupes génétiques. La teneur en polyphénols totaux des feuilles a varié entre 28,96± 1,5 et 174,09± 3,70 mg EAG/g, celle en flavonoïdes totaux a varié entre 6,74± 0,47 et 100,55± 3,87 mg EQ/g et celles en flavonols totaux de 0,48± 0,07 et 57,51± 0,01 mg ER/g. La concentration inhibitrice l'IC<sub>50</sub> des feuilles a varié de 1,31± 0,07 µg /ml à 58,40± 0,01 µg /ml. Des différences significatives (au seuil 5 %) ont été observées entre les accessions pour la composition phytochimique des

feuilles. Des différences significatives ont été aussi observées entre les accessions en fonction des zones climatiques. Les teneurs en polyphénols, en flavonoïdes et en flavonols les plus élevées ( $114,14 \pm 1,75$  mg EAG/g ;  $55,29 \pm 1,04$  mg EQ/g ;  $25,35 \pm 0,94$  mg ER/g) ont été obtenues avec les accessions des zones les moins arrosées (pluviométrie annuelle  $< 600$  mm).

**Mots clés** : *Solenostemon rotundifolius*, variabilité génétique, diversité génétique, composés phénoliques, Burkina Faso et Ghana.

## ABSTRACT

*Solenostemon rotundifolius* is a herbaceous plant in the Lamiaceae family. It is well suited to the pedoclimatic conditions of the Sahelian zone of West Africa where it was widely distributed as the main crop. Like most of the traditional crops, *S. rotundifolius* was gradually abandoned and is currently part of the plants neglected areas, despite its food potential and its economic and proven socio-cultural. The reevaluation of *S. rotundifolius* requires a good know of its genetic resources. It is for this purpose that the present study was carried out. The Germplasm of *S. rotundifolius* from Burkina Faso and Ghana were characterized. A agromorphological evaluation following a completely randomized block design of Fisher with three repetitions was conducted from July to October 2020. Twenty five (25) traits including 13 qualitative and 12 quantitative, related to the foliage, the plant cycle and yield was evaluated. Fifty microsatellite markers (SSR) were used on 267 accessions for the study of genetic diversity of *S. rotunfolius*. An evaluation of the content of total polyphenols, flavonoids, flavonols and antioxidant activity expressed through the inhibitory concentration IC50 leaves of *S. rotundifolius* was carried out with 121 accessions from the collection. The agromorphological characterization revealed variability within *S. rotundifolius*. All thirteen qualitative traits revealed variability within the *S. rotundifolius* collection. The cycle varied from 110 days for early accessions and to 141 days after planting. The traits related to the yield were the most variable. The less productive accessions produced only four tubers per plant corresponding to a total weight of 3.6 g. The most productive accessions produced 172 tubers per plant with a weight of 409.9 g. Significant differences were observed depending on the country of origin and especially of the climatic zones. Genetic evaluation identified 11 polymorphic markers which revealed 57 alleles with an average number of 5.18 alleles per marker, a number of effective alleles of 2.656, expected heterozygosity of 0.547, observed heterozygosity of 0.845, a Shannon diversity index of 0.976 and an information content of polymorphism of 0.509. The Fixation Index (FIS) was negative for all markers. The study of genetic structuring gave a distribution of accessions into four groups genetics. The total polyphenol content of the leaves varied between  $28.96 \pm 1.5$  and  $174.09 \pm 3.70$  mg EAG/g, that in total flavonoids varied between  $6.74 \pm 0.47$  and  $100.55 \pm 3.87$  mg EQ/g and those in total flavonols of  $0.48 \pm 0.07$  and  $57.51 \pm 0.01$  mg RE/g. The inhibitory concentration IC50 of leaves varied from  $1.31 \pm 0.07$   $\mu\text{g/ml}$  to  $58.40 \pm 0.01$   $\mu\text{g/ml}$ . Significant differences (at threshold 5%) were observed between accessions for the phytochemical composition of leaves. Significant differences were also observed between accessions depending on climatic zones. The highest content of polyphenols, flavonoids and flavonols

(114.14± 1.75 mg EAG/g; 55.29± 1.04 mg EQ/g; 25.35± 0.94 mg ER/g) were obtained with accessions from the least watered areas (annual rainfall < 600 mm).

**Key words:** *Solenostemon rotundifolius*, genetic variability, genetic diversity, phenolic compounds, Burkina Faso and Ghana

## Introduction générale

Les pays sahéliens d’Afrique de l’Ouest ont connu des crises alimentaires ces dix dernières années dues surtout aux aléas climatiques (FAO, 2020). Cette insécurité alimentaire s’est accrue avec la croissance démographique et la réduction des surfaces cultivables (DE BRUIN et *al.*, 2021). Elle a plongé un bon nombre de personnes dans une malnutrition persistante, surtout chez les enfants. A titre d’illustration, la proportion de personnes sous-alimentées en Afrique subsaharienne a augmenté entre 2015 et 2016, passant de 20,8 % à 22,7 %, sur les 815 millions de personnes sous-alimentées dans le monde (FAO, 2017).

Le maintien et la valorisation durable de la diversité génétique pourrait être une alternative efficace pour l’amélioration des conditions de vie des populations et surtout celles des zones agroécologiques fragiles. En effet, la diversité génétique joue un rôle important dans l’amélioration de la sécurité alimentaire et dans la diversification des moyens d’existence des populations. Elle intervient dans le développement socio-économique et le bien être humain. En effet, elle contribue à la fourniture de services écosystémiques, à la santé, à l’augmentation des revenus, aux relations sociales, à la gestion durable des terres et à la réduction des effets du changement climatique (SP/CONEDD, 2014).

Malgré le potentiel que représente la diversité génétique, de nombreuses espèces végétales, importantes de par leur utilité pour les paysans et leur plasticité écologique, sont restées négligées et sous exploitées par la recherche et les structures de développement (FEUER and GARB, 2006 ; PHILIP and ITODO, 2006). Avec le défi de nourrir les populations de plus en plus croissantes, il y a eu un regain d’intérêt pour les plantes dites négligées ou mineures, particulièrement les plantes à tubercules ou à racines comestibles, à partir des années 1990 (WILLIAMS and HAQ, 2000).

*Solenostemon rotundifolius* est l’une des espèces négligées cultivées dans certaines régions d’Afrique et d’Asie du Sud-Est pour ses tubercules comestibles (SCHIPPERS, 2000). En Afrique de l’Ouest, *S. rotundifolius* a été l’une des plantes alimentaires de base pour les populations dans certaines contrées. Actuellement, les tubercules de *S. rotundifolius* sont beaucoup plus consommés comme aliment de soudure en milieu paysan ou une source de compléments alimentaires en milieu urbain, qu’une culture vivrière de base (NANEMA, 2010).

Malgré ses potentialités nutritionnelles, médicinales, économiques et agronomiques, *S. rotundifolius* demeure l’une des espèces mineures qui pourrait pourtant jouer un rôle important. Ainsi une meilleure connaissance de ses ressources génétiques de *S. rotundifolius* à l’échelle de sa principale zone de culture est nécessaire. Ce besoin de connaissances concerne sa diversité

génétique ainsi que son potentiel agronomique et médicinal dans la perspective de la promotion du double usage de l'espèce.

La présente étude intitulée "Diversité génétique et composition biochimique des feuilles de *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton du Burkina Faso et du Ghana" a pour objectif global de contribuer à la caractérisation des ressources génétiques de *S. rotundifolius* au Burkina Faso et au Ghana. Elle vise spécifiquement à :

- caractériser la variabilité agromorphologique de *S. rotundifolius* ;
- évaluer la diversité génétique moléculaire de *S. rotundifolius* ;
- et à caractériser la composition phytochimique des feuilles de *S. rotundifolius*.

Le document est structuré en quatre chapitres. Le premier fait le point sur le niveau des connaissances sur *S. rotundifolius*, sa biologie, sa culture, son importance et les outils d'analyse de sa diversité génétique. A travers l'étude de la variabilité agromorphologique de *S. rotundifolius*, le deuxième chapitre décrit le niveau et la structuration de la variabilité de l'ensemble de la collection du Burkina Faso et du Ghana. Le troisième chapitre traite de la validation de marqueurs microsatellites (SSR) et de l'analyse de la diversité génétique de *S. rotundifolius* par ces marqueurs microsatellites. Enfin, le quatrième chapitre, traite de la caractérisation phytochimique des feuilles à travers l'évaluation de la teneur en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux, en flavonols totaux et de leur capacité antioxydante.

## CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

### 1.1. Botanique

#### 1.1.1. Classification

##### 1.1.1.1. Principales caractéristiques de la famille des Lamiacées

*Solenostemon rotundifolius* appartient à la famille des Lamiacées qui compte 6000 espèces réparties en 210 genres. Traditionnellement, les Lamiacées sont exploitées comme plantes médicinales (BUSMANN et *al.*, 2006) et ont une inflorescence en épi.

Les espèces de la famille des Labiées ont des fleurs qui sont zygomorphes (symétrie bilatérale) à 5 sépales soudés, corolle bilabée (5 pétales soudés en un tube à la base, formant souvent deux lèvres au sommet), 4 étamines (soudées à la corolle), ovaire supère divisé en 4 (2 carpelles soudés). Les espèces restent néanmoins peu connues malgré leur importance (TRUSTY et *al.*, 2004).

##### 1.1.1.2. Description du genre *Solenostemon*

Les espèces du genre *Solenostemon* ont des étamines soudées, puis libres à leurs extrémités. La forte ressemblance avec le genre *Plectranthus* a été à l'origine de nombreuses confusions (CHEVALIER et PERROT, 1905).

Le genre *Solenostemon* est le genre tropical des Lamiacées (RYDING, 1994). Il renferme des espèces à tubercules comestibles largement répandus et bien adaptés aux régions tropicales (CHEVALIER et PERROT, 1905). En Afrique centrale et occidentale, quatre espèces de *Solenostemon* à tubercules ont été identifiées. Il s'agit de *S. brazzavillensis*, *S. dazo*, *S. langouassiensis* et de *S. rotundifolius* (tableau I) (CHEVALIER et PERROT, 1905).

**Tableau I:** Classification botanique de *S. rotundifolius*

Rang	Nomenclature
Règne	Plantae
Embranchement	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Solenostemon</i>
Espèce	<i>Solenostemon rotundifolius</i> (Poir.) J. K. Morton

Source : GOVAERT et *al.* (2017)

##### 1.1.1.3. Appellations de *S. rotundifolius*

Les noms vernaculaires de *S. rotundifolius* sont variables en fonction de la zone. Dans les pays francophones, *S. rotundifolius* est connue sous le nom de « pomme de terre de Madagascar »,

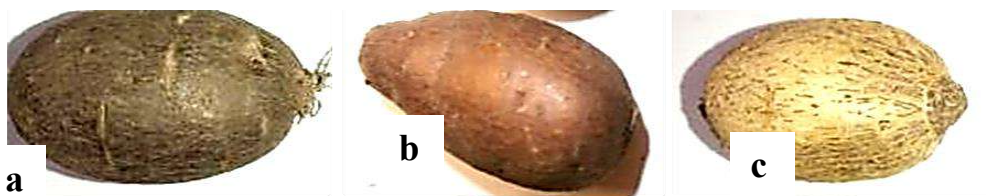
« pomme de terre du Soudan », « pomme de terre d’Afrique » (BOGNOUNOU, 1970). Dans les pays anglophones, *S. rotundifolius* est connue sous le nom de « hausa potato », « fra fra potato », « Sudan potato », « coleus potato », « Zulu round potato », « Chinese potato », « Fra Fra salang ou Hausa kartoffel ». Les autres appellations connues sont « Innala » en Sinhala, « Kemili ou Koorka » en Malaisie et « Kentang hitam » en Indonésie (PROTA, 2013).

Au Burkina Faso, les appellations varient selon les zones de production (NANEMA, 2010). Dans le Sud-Ouest (Bougouriba, Ioba et Poni) en dagara, *S. rotundifolius* est communément appelée “piéré”. Elle est appelée “noon” à Toussiana ou « Fabirama » en dioula (Houet), ou “kayia”, “yi zorm”, “yiya” ou “gnâo” dans le Sud (Sissili et Ziro). Les appellations “pessa nawa”, “tambundu” se rencontrent dans la province du Zoundwéogo et les appellations “panian” ou “kampessa” dans le Nahouri. Dans le plateau central, elle est connue sous le nom « pessa ou fessa » en mooré (NANEMA, 2010).

### 1.1.2. Description morphologique de *S. rotundifolius*

#### 1.1.2.1. Morphologie des racines et des tubercules

Les plants de *S. rotundifolius* développent un système racinaire fibreux et abondamment ramifié. Selon les variétés, les tubercules sont de couleur, de texture et de forme variables. Selon NANEMA et al. (2018), la peau du tubercule peut être de couleur noirâtre (figure 1a), rougeâtre (figure 1b) ou blanchâtre (figure 1c). La forme du tubercule peut être oblongue ou ovoïde.



**Légende :** *a* : tubercule de couleur noirâtre, *b* : tubercule de couleur rougeâtre, *c* : tubercule de couleur blanchâtre

**Figure 1 :** Différentes couleurs de la peau du tubercule de *S. rotundifolius*

Source : NANEMA et al. (2018)

#### 1.1.2.2. Morphologie des tiges

*Solenostemon rotundifolius* présente des tiges érigées, succulentes, rampantes et stolonifères à la base avec des extrémités redressées et fortement pubescentes (PROTA, 2013). La tige présente une section généralement quadrangulaire (NRC, 2006 ; NANEMA, 2010), mais il existe des tiges à sections hexagonales ou triangulaires (NANEMA, 2010). La longueur de la tige principale, située au centre du feuillage, varie entre 39 et 47 cm au stade adulte de la plante (NANEMA et al., 2019).

### 1.1.2.3. Morphologie des feuilles

*S. rotundifolius* a des feuilles simples, opposées à bord denté (figure 2). Les feuilles sont finement pubescentes et parsemées de glandes au-dessous et à nervures distinctes (PROTA, 2013 ; NRC, 2006). Lorsqu'on les froisse, elles répandent une odeur d'Ocimum (CHEVALIER et PERROT, 1905). La taille de la feuille de *S. rotundifolius* est variable. La longueur de la feuille en position III varie entre 5 et 7 cm et sa largeur entre 4 et 5 cm (NANEMA et *al.*, 2019).



**Figure 2:** Feuille de *S. rotundifolius*

Source : NANEMA (2010)

### 1.1.2.4. Morphologie des inflorescences et des fleurs

*Solenostemon rotundifolius* produit des inflorescences en épi (NKANSAH, 2004) (figure 3). Les fleurs hermaphrodites sont portées par des racèmes longs de 5 à 20 cm. La corolle, longue de 4-8 mm, pubescente et parsemée de glandes a une forme de tube courbée à deux lèvres dont celle supérieure est érigée, blanchâtre et celle inférieure est carénée (forme de la partie immergée de la coque d'un bateau) et de couleur violet bleuâtre (PROTA, 2013). Les étamines sont courbées au sein de la lèvre inférieure de la corolle (NKANSAH, 2004 ; PROTA, 2013). La couleur des fleurs peut aller du violet-clair au violet foncé presque bleu pâle (NANEMA et *al.*, 2018). Le fruit est composé de quatre (04) nucelles mais se forme rarement.



**Figure 3:** Inflorescence de *S. rotundifolius*

Source : NANEMA et *al.* (2018)

## **1.2. Différents stades de développement de *S. rotundifolius*, conditionnement et conservation des tubercules**

### **1.2.1. Stade plantule**

*Solenostemon rotundifolius* est une plante à multiplication végétative. Après la mise en terre des semenceaux, les bourgeons se développent pour donner de nouvelles tiges aériennes. Les plantules se développent après l'émergence des bourgeons qui a lieu en moyenne une semaine après le repiquage (figure 4) (NANEMA et *al.*, 2018).



**Figure 4:** Plantule de *S. rotundifolius*

Source : NANEMA et *al.* (2018)

### **1.2.2. Stade tallage**

Le tallage se produit entre la huitième et la quatorzième semaine après repiquage (NANEMA, 2010). Le tallage aboutit à la formation d'une touffe avant l'épiaison. Le diamètre du feuillage varie entre 47 et 59 cm et son envergure entre 79 et 101 cm. La tige principale mesure entre 39 et 47 cm portant 9 à 11 entre-noeuds (NANEMA et *al.*, 2019).

### **1.2.3. Stade épiaison-floraison**

*Solenostemon rotundifolius* développe des boutons apicaux en forme d'épis au stade adulte. L'épiaison intervient en moyenne 64 jours après repiquage (TARPAGA, 2001). En zone tempérée et en culture de saison sèche en zone tropicale (novembre à mai), *S. rotundifolius* ne fleurit pas (CHEVALIER et PERROT, 1905).

### **1.2.4. Stade maturité**

Les principaux signes de la maturité sont le jaunissement du feuillage et la fissuration des billons à la base des plants (SUGRI et *al.*, 2013). Selon NANEMA et *al.* (2019), le cycle varie de 107 et 164 jours.

### **1.2.5. Récolte, conditionnement et conservation des tubercules de *S. rotundifolius***

La récolte doit être immédiate dès les premiers signes de maturité afin d'éviter le pourrissement des tubercules (SUGRI et *al.*, 2013).

La récolte se fait en déterrants les tubercules. Les tubercules de *S. rotundifolius* sont difficiles à conserver. Lorsque les tubercules sont exposés à la chaleur, ils flétrissent rapidement et ne sont plus comestibles. Traditionnellement, ils sont conditionnés dans des sacs ou des paniers remplis de paille au Burkina Faso. Pour une conservation plus longue, les tubercules sont placés dans des vases en terre cuite ou dans des chaumes (figure 5). C'est ainsi que sont conservés les tubercules qui serviront de semenceaux pour la saison suivante (NKANSAH, 2004 ; SUGRI and *al.*, 2013).



**Figure 5** : Tubercules de *S. rotundifolius* conservés dans un canari (a) et dans des chaumes (b)

Source : SUGRI et *al.* (2013)

### 1.3. Origine, répartition géographique et culture de *S. rotundifolius*

#### 1.3.1. Origine et répartition géographique

*Solenostemon rotundifolius* est originaire de l'Afrique de l'Est d'où sa culture s'est répandue en Afrique tropicale en Asie notamment en Inde, en Malaisie et en Indonésie (NRC, 2006). *Solenostemon rotundifolius* a perdu considérablement de son importance aussi bien comme légume féculent que comme aliment de base. Elle est encore cultivée dans de nombreux pays africains dont le Burkina Faso, le Ghana, le Mali, le Nigeria, le Togo (en Afrique de l'Ouest), le Cameroun, et le Tchad (en Afrique Centrale) et certaines parties de l'Afrique Australe et de l'Est (SCHIPPERS, 2000 ; GOUADO et *al.*, 2003 ; SUGRI et *al.*, 2013).

Au Burkina Faso, la zone de culture de *S. rotundifolius* couvre une vingtaine de provinces . Elle est limitée au Nord par la province du Sanmatenga, à l'Est par la province du Gourma et au Sud par les provinces du Nahouri et du Sissili. Elle s'étend au Sud-Ouest dans les provinces du Ioba, de la Bougouriba, du Poni, du Nounbiel et du Houet (NANEMA, 2010).

#### 1.3.2. Conditions pédoclimatiques de la culture de *S. rotundifolius*

La culture de *S. rotundifolius* est pratiquée sur une large gamme pluviométrique. Dans le cas du Burkina Faso, la pluviométrie de la zone de culture de *S. rotundifolius* varie de 400 à 1300

mm suivant un gradient Nord-Sud (NANEMA, 2010). *S. rotundifolius* tolère les fortes températures (BURKILL, 1995). Elle préfère les sols bien drainés, meubles et riches en matière organique (NRC, 2006). Elle ne se développe pas bien sur les sols lourds et compactés. Il arrive que les tubercules ne se forment pas lorsqu'il ne pleut pas assez (BURKILL, 1995 ; NKANSAH, 2004). Toutefois, les fortes pluviométries favorisent la ramification des tubercules de *S. rotundifolius*, ce qui n'est pas du goût des consommateurs car les tubercules ramifiés sont difficiles à éplucher.

Il est également possible de cultiver *S. rotundifolius* en saison sèche, à condition de la planter sur un terrain alluvionnaire frais, par exemple au bord d'une rivière, et de l'arroser fréquemment (ACULEY et al., 2011). On peut ainsi faire plusieurs repiquages à des périodes variées de manière à assurer la production pendant toute l'année. Toutefois, c'est pendant l'hivernage que les rendements sont plus élevés (NKANSAH, 2004).

### **1.3.3. Mise en culture de *S. rotundifolius***

*Solenostemon rotundifolius* est une plante à multiplication végétative. La mise en culture peut se faire à partir des tubercules ou des boutures (NKANSAH, 2004). Celles-ci sont effeuillées et mises en terre de manière à ce que les deux premiers nœuds à la base soient dans le sol (NANEMA, 2010).

La multiplication par les tubercules se fait par repiquage de semenceaux. Les semenceaux sont mis en terre de sorte que le bourgeon affleure légèrement. L'ensemble de la parcelle est alors recouvert de paillage afin de protéger les bourgeons du soleil et des prédateurs. Le paillage est progressivement éliminé avec le développement des jeunes pousses (NANEMA, 2010).

La culture peut se faire à plat après un ameublissement profond du sol ou sur des buttes ou des billons de 15 à 25 cm de haut. L'écartement observé dans la culture de *S. rotundifolius* est de 50 à 90 cm entre les lignes et de 15 à 30 cm entre les poquets (NANEMA, 2010). L'engrais est rarement utilisé mais de la fumure organique est appliquée au sol avant le repiquage (NRC, 2006).

### **1.4. Maladies et ravageurs de *S. rotundifolius***

Les principaux ravageurs de *S. rotundifolius* sont les termites, les chenilles, les mille-pattes et les charançons des pommes de terre ainsi que les escargots. Les mille-pattes forent des trous dans les tubercules (JADA et al., 2007). Les insectes foreurs de tiges peuvent attaquer les feuilles (SUGRI et al., 2013). Les produits chimiques utilisés pour le contrôle des maladies des

tubercules sont : le captan, le borax, la naphthalène, l'acide acétique et orthiophenylphenate (OKIGBO et NMEKA, 2005).

## **1.5. Potentialités et usages de *S. rotundifolius***

### **1.5.1. Potentialités agronomiques de *S. rotundifolius***

Les plants de *S. rotundifolius* produisent 36 à 150 tubercules par pied (NANEMA *et al.*, 2019). Le rendement potentiel varie selon les conditions de culture. Au Burkina Faso, en milieu paysan, *Solenostemon rotundifolius* produit entre 7 et 15 t/ha (IRAT, 1977 ; NRC, 2006). Au Nigeria et au Ghana, le rendement peut atteindre 15 t/ha (ENYIUKWU *et al.*, 2014). Selon PROTA (2013), le potentiel de production peut dépasser 18-20 t/ha.

### **1.5.2. Valeur nutritive des tubercules**

Les tubercules contiennent une quantité importante de sucres réducteurs (25 mg/100g), de protéines (14,6 mg/100g), de phosphore (36mg/100g), de calcium (29mg/100g) et de vitamine A et C (13,6 et 10,3 mg/100g) (ANBUSELVI et BALAMURUGAN, 2013). La peau des tubercules contient plus de  $\beta$ -carotène (661,67  $\mu$ g/100g) que la chair (54,07  $\mu$ g/100g) (RAZALI *et al.*, 2012).

### **1.5.3. Usages alimentaires des tubercules de *S. rotundifolius***

Les tubercules se consomment crus, en frite, en ragoût, en purée, en robe de champ ou en soupe (BOGNOUNOU, 1970 ; GOUADO *et al.*, 2003). Les tubercules peuvent être associés à divers autres aliments tels que les haricots, le riz et les légumes cuits (OUEDRAGO *et al.*, 2007). Ils sont utilisés aussi dans la fabrication des boissons alcoolisées (OPOKU-AGYEMAN *et al.*, 2007).

### **1.5.4. Potentialités et usages médicinaux de *S. rotundifolius***

*Solenostemon rotundifolius* est l'une des espèces de la famille des Lamiaceae connue pour ses vertus médicinales (NIINO *et al.*, 2003). Les tubercules contiendraient des substances qui permettraient de réduire la sénescence cellulaire (GOUADO *et al.*, 2003). Comparativement à l'igname, au manioc et aux taros, *S. rotundifolius* a la plus forte activité anti-amylase (PRATHIBA *et al.*, 1995).

Les feuilles du *S. rotundifolius* sont utilisées comme produit nutraceutique (fabriqué à base d'aliment, ayant des effets physiologiques bénéfiques ou une protection contre les maladies

chroniques) dans le traitement du diabète (KANSOLE et al., 2015 ; ELEAZU et al., 2017 ; RAZALI et al., 2012).

Au Burkina Faso, les feuilles du *S. rotundifolius* sont également utilisées pour traiter l'hématurie ainsi que les troubles oculaires. Les feuilles auraient des propriétés insectifuges ou insecticides et sont de ce fait, utilisées par la population *mossé* au Burkina Faso dans la lutte contre les insectes (SAVADOGO et al., 2016).

### **1.6. Importance socioéconomique de *S. rotundifolius***

En plus de la consommation familiale, les producteurs vendent une partie de leurs récoltes. Au Nigeria, le kilogramme des tubercules est vendu à 2 \$ US et la production de 18-20 tonnes peut procurer 36 000-40 000 \$ US (ENYIUKWU et al., 2014). Au Burkina Faso, certains producteurs de la province du Sissili ont fait de *S. rotundifolius* une spéculation de rente. En plus de la vente des tubercules destinés à la consommation humaine, les tiges des plants récoltées peuvent être utilisées comme litière pour le bétail et devenir ensuite du fumier de ferme. *S. rotundifolius* est aussi utilisée lors des rites culturels cas de Toussiana dans la province du Houet (NANEMA, 2010).

### **1.7. Etude de la diversité génétique de plantes à racines et tubercules par les marqueurs morphologiques et microsattellites**

#### **1.7.1. Marqueurs morphologiques et caractérisation de la variabilité intraspécifique de quelques plantes à racines et tubercules**

Les marqueurs morphologiques sont établis sur la base des caractères morphologiques. Ils répondent peu au critère de « bon marqueur » car ils sont en nombre limité (De VIENNE et SANTONI, 1998).

Les marqueurs morphologiques ont révélé une variabilité chez plusieurs espèces à tubercules ou à racines. Il s'agit des ignames, *Dioscorea ssp* (SORY et al., 2022), du manioc, *Manihot esculenta* (GMAKOUBA et al., 2018), de la patate douce, *Ipomoea batatas* (L.) (ARZIKA et al., 2022), du taro, *Colocasia esculenta* (OUEDRAOGO et al., 2018). TARPAGA (2001), OPOKU-AGYEMAN et al. (2007), NANEMA (2010), NANEMA et al. (2018), NANEMA et al. (2019) ont initié des travaux de caractérisation de la variabilité morphologique chez *S. rotundifolius*. Ces travaux ont permis d'identifier des caractères discriminants pouvant servir de descripteurs pour l'espèce.

## **1.7.2. Caractéristiques des marqueurs microsatellites SSR (Simple Sequence Repeat) et leur application dans l'étude de la diversité génétique de quelques plantes à racines et tubercules**

### **1.7.2.1. Nature des marqueurs microsatellites**

Les marqueurs microsatellites SSR (Simple Sequence Repeat) sont des marqueurs moléculaires basés sur la technique PCR (Polymerase Chain Reaction) (TAUTZ, 1989). La longueur de ces séquences (le nombre de répétitions) est variable d'un individu à l'autre et d'un allèle à l'autre chez un même individu (BOICHARD *et al.*, 1998). Les SSR révèlent donc un polymorphisme de longueur.

Les marqueurs microsatellites sont considérés comme de bons marqueurs génétiques pour l'étude de la diversité des populations parce qu'ils ont plusieurs avantages. Ils sont très nombreux et polymorphes, codominants et neutres. Ils ont aussi un meilleur pouvoir de résolution et nécessitent une faible quantité d'ADN (KAWUKI *et al.*, 2009).

### **1.7.2.2. Marqueurs microsatellites et analyse de la diversité génétique de quelques plantes à tubercules**

Chez la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), les marqueurs microsatellites ont révélé un polymorphisme génétique (STAGEL *et al.*, 2008 ; SOLANO *et al.*, 2013 ; DANANSTAGEL, 2020). La diversité génétique des ignames *Dioscorea sp* a été analysée grâce aux marqueurs microsatellites (GABRIEL *et al.*, 2021). Des marqueurs chloroplastiques SSRcp (NTCP et CCMP) (NANEMA *et al.*, 2010) et des marqueurs microsatellites SSR (HUA *et al.*, 2018) ont été utilisés dans l'analyse de la diversité génétique de *S. rotundifolius* respectivement sur des accessions du Burkina Faso et du Ghana. Mais la diversité génétique de l'ensemble des accessions des zones de culture du *S. rotundifolius* Burkina Faso et du Ghana avec des marqueurs SSR développés sur *S. rotundifolius* n'est pas encore connue.

## **1.8. Phytochimie de *Solenostemon rotundifolius***

Des marqueurs biochimiques actifs extraits des feuilles de *S. rotundifolius* ont révélé une variabilité biochimique de l'espèce. Il s'agit des saponosides triterpéniques, flavonoïdes (coleon A), tanins, iridoïdes, triterpènes, stérols, polyphénols, coumarines (NACOUUMA, 1996) ; des huiles essentielles, des sesquiterpènes et des diterpènes (LUKHOBBA *et al.*, 2006) et des  $\gamma$ -muurolène (21%),  $\alpha$ -humolène (12,5%), E-caryophyllène (5,67%), ndodécane (5,55%) et 1-octène-3-ol (4,63%), épi- $\alpha$ - cardinol (15,52%), sesquicénole (9,36%), cyperène (4,88%), épi- $\alpha$ -bisabolol (3,0%) et (2.25%) (PHUNGpanya *et al.*, 2012). Mais comme dans le cas de

plusieurs espèces de la famille des lamiacées, la détermination de l’empreinte phytochimique et l’évaluation de l’activité anti radicalaire DPPH des feuilles de *S. rotundifolius* ne sont pas connues.


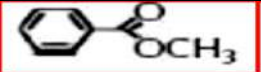

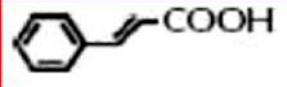
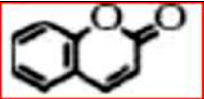
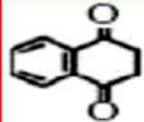
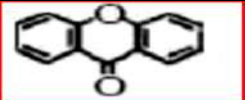
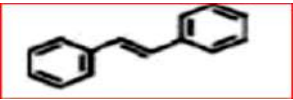
## 1.9. Métabolites secondaires


### 1.9.1. Classification des polyphénols

Les polyphénols constituent une famille de molécules très largement répandues dans le règne végétal. On les trouve dans les plantes, depuis les racines jusqu’aux fruits. Les principales classes de composants phénoliques sont : les acides phénoliques (acide caféique, acide hydroxycinnamique, acide chlorogénique), les flavonoïdes qui représentent plus de la moitié des polyphénols, les tanins, et les coumarines (TAPIERO *et al.*, 2002).

Les polyphénols forment un très vaste ensemble de substances chimiques, ils peuvent être classifiés selon le nombre et l’arrangement de leurs atomes de carbone (tableau II).

**Tableau II:** Structure des squelettes des polyphénols

Nombre de carbones	Squelette	Classification	Exemple	Structure de base
7	C6-C1	Acides phénols	Acide gallique	
8	C6-C2	Acétophénones	Gallacetophénone	
8	C6-C2	Acide Phénylacétique	Acide phydroxyphényl acétique	
9	C6-C3	Acides Hydroxycinnamiques	Acide Coumarique	
9	C6-C3	Coumarines	Esculitine	
10	C6-C4	Naphthoquinones	Juglone	
13	C6-C1-C6	Xanthones	Mangiferine	
14	C6-C2-C6	Stilbènes	Resveratrol	

15	C6-C3-C6	Flavonoïdes	Naringénine	

Source : CROZIER et *al.* (2006)

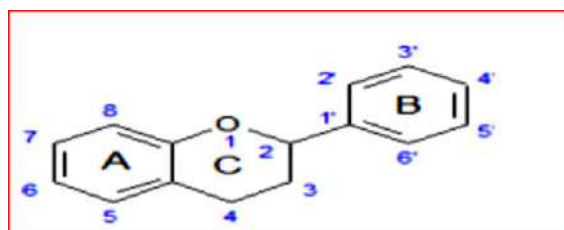
### 1.9.2. Effets biologiques des polyphénols

Les composés polyphénoliques sont de plus en plus utilisés en thérapeutique. Les polyphénols participent à la prévention des maladies cardio-vasculaires (MANACH et *al.*, 2006). Leur consommation se traduit par une augmentation transitoire de la capacité antioxydante du plasma dans les heures qui suivent le repas. Parvenus au niveau des artères, ils préviennent l'oxydation des lipoprotéines de faible densité (Low Density Lipoproteins ou LDL), qui est l'un des facteurs clé du processus physiopathologique de l'athérosclérose. En inhibant l'oxydation des LDLs, ils limitent leur incrustation dans les parois des artères qui contribuent à l'épaississement des parois et à réduire le flux de sang qui parvient au niveau des tissus. La capacité d'une espèce végétale à résister à l'attaque des insectes et des microorganismes est souvent corrélée à la teneur en composés phénoliques (BAHORUN, 1997).

### 1.9.3. Structure et classification des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments quasiment universels des végétaux. Presque toujours hydrosolubles, ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Du point de vue structural, les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes de molécules. En effet plus de 6400 structures ont été identifiées (HARBORNE et *al.*, 2000).

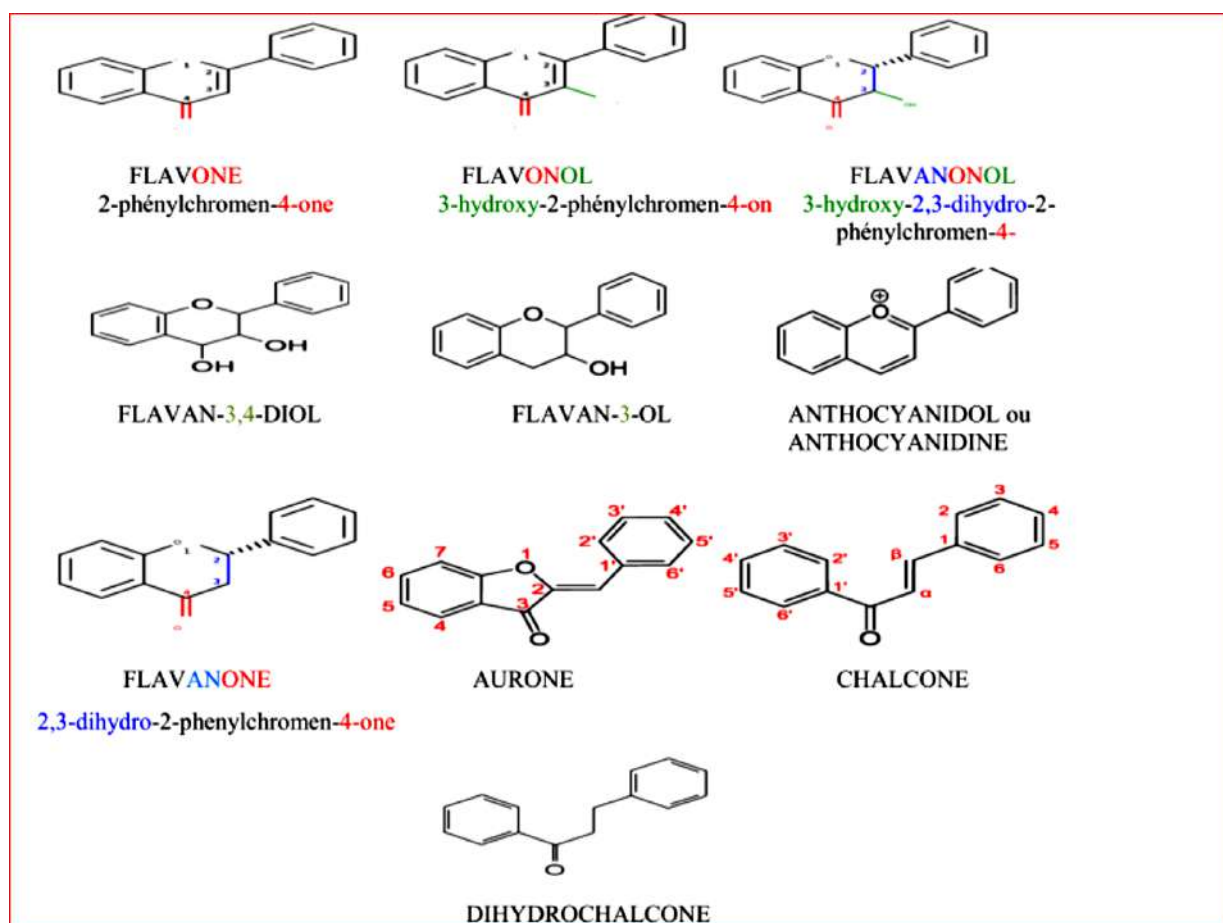
Les flavonoïdes sont des dérivés benzo-y-pyranne (SKERGET et *al.*, 2005). Leur structure de base est celle d'un diphenyl propane à 15 atomes de carbone (C6-C3-C6), constitué de deux noyaux aromatiques qui désignent les lettres A et B, reliés par un hétérocycle oxygéné, qui désigne la lettre C (figure 6) (DACOSTA, 2003).



**Figure 6** : Structure de base des flavonoïdes

Source : DACOSTA (2003)

Tous les flavonoïdes ont une origine biosynthétique commune et de ce fait possèdent le même élément structural de base (figure 7) (BOUAKAZ, 2006).



**Figure 7:** Structures chimiques de quelques flavonoïdes

Source : SCALBERT et *al.* (2000)

## 1.9.4. Effets biologiques des flavonoïdes

### 1.9.4.1. Activité antioxydante

Les flavonoïdes possèdent de nombreuses activités biologiques. Ces activités sont attribuées en partie aux propriétés antioxydantes de ces composés naturels (FUHRMAN et *al.*, 1995). À cause de leurs faibles potentiels redox, les flavonoïdes (Fl-OH) sont thermodynamiquement capables de réduire les radicaux libres oxydants (R\*), comme le superoxyde, le peroxyde, l'alkoxyde et l'hydroxyde, par transfert d'hydrogène et le radical Flavonoxy (FL-o) qui en résulte peut réagir avec un autre radical pour former une structure stable (JOVANOVIC et *al.*, 1994).

### 1.9.4.2. Activité antibactérienne

Grâce à leur structure caractérisée par la présence de groupes phénoliques et d'autres fonctions chimiques, les flavonoïdes sont considérés comme de très bons agents antimicrobiens

(MARFAK, 2003). De nombreuses études ont rapporté les activités antimicrobiennes des flavonoïdes (YAPO et *al.*, 2020 ; HANIFI et *al.*, 2022 ; MOROU et *al.*, 2023).

Les flavonoïdes, en particulier les anthocyanes, sont les seules molécules du règne végétal capables de produire une vaste gamme de couleurs, susceptibles de donner des teintes allant du jaune-orangé au bleu, en passant par le pourpre et le rouge (LUIGIA et *al.*, 2006). Les flavones, aurones et chalcones donnent plutôt des couleurs jaune, beige voire blanche, ou participent aux nuances produites par les anthocyanes et les caroténoïdes.

## **CHAPITRE II : CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE DES ACCESSIONS DE *SOLENOSTEMON ROTUNDIFOLIUS* (POIR.) J. K. MORTON DU BURKINA FASO ET DU GHANA**

### **Introduction**

*Solenostemon rotundifolius* est cultivée pour ses tubercules qui sont exploités principalement dans l'alimentation humaine. Son adaptation aux conditions pédoclimatiques de la zone sahélienne en Afrique de l'Ouest est un atout pour la promotion de sa culture dans un contexte de perturbation du régime pluviométrique et de dégradation des agrosystèmes (SCHIPPERS, 2000 ; GOUADO et al., 2003 ; SUGRI et al., 2013). Toutefois, une gestion durable des ressources génétiques d'une espèce nécessite la connaissance de l'étendue de la variabilité agromorphologique des germoplasmes existants.

Le besoin de connaître la variabilité agromorphologique de *S. rotundifolius* a conduit à des travaux de caractérisation de germoplasmes locaux au Ghana (OPOKU-AGYEMAN et al., 2007) au Burkina Faso (NANEMA et al., 2009 ; NANEMA et al., 2019) et en Inde (ASHA et al., 2023). Ces travaux ont permis de proposer des caractères qui pourront servir de base pour le développement de descripteurs pour l'espèce.

Au Burkina Faso, les caractérisations agromorphologiques ont par ailleurs permis de mettre en évidence une faible variabilité des caractères liés au rendement et à la taille des tubercules au sein du germoplasme local. En tant que culture mineure à multiplication végétative, l'évaluation de l'étendue de la variabilité de *S. rotundifolius* nécessite une collection plus importante incluant des zones à conditions agroécologiques variables. C'est dans cette perspective que la présente étude a été conduite. Elle vise à connaître la variabilité agromorphologique des germoplasmes de *S. rotundifolius* du Ghana et du Burkina Faso.

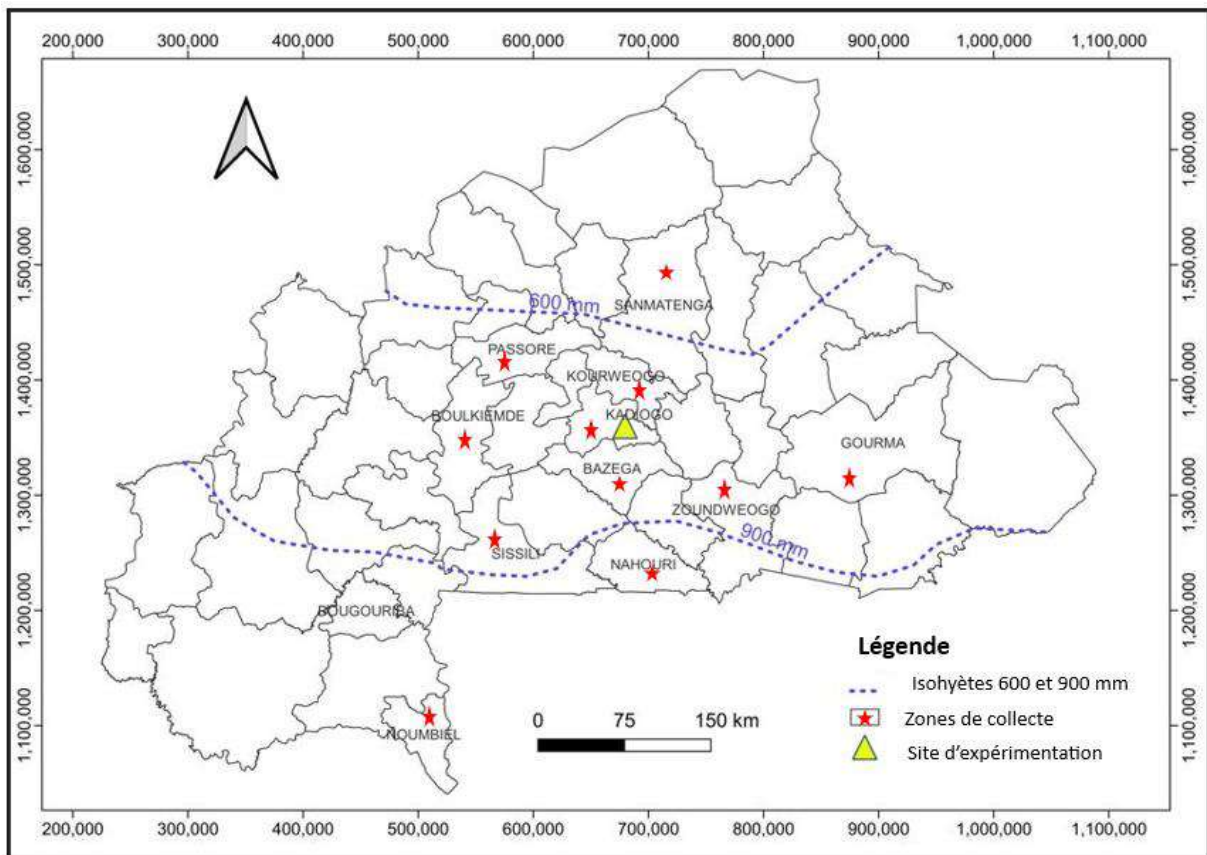
### **2.1. Matériel et méthodes**

#### **2.1.1. Matériel végétal**

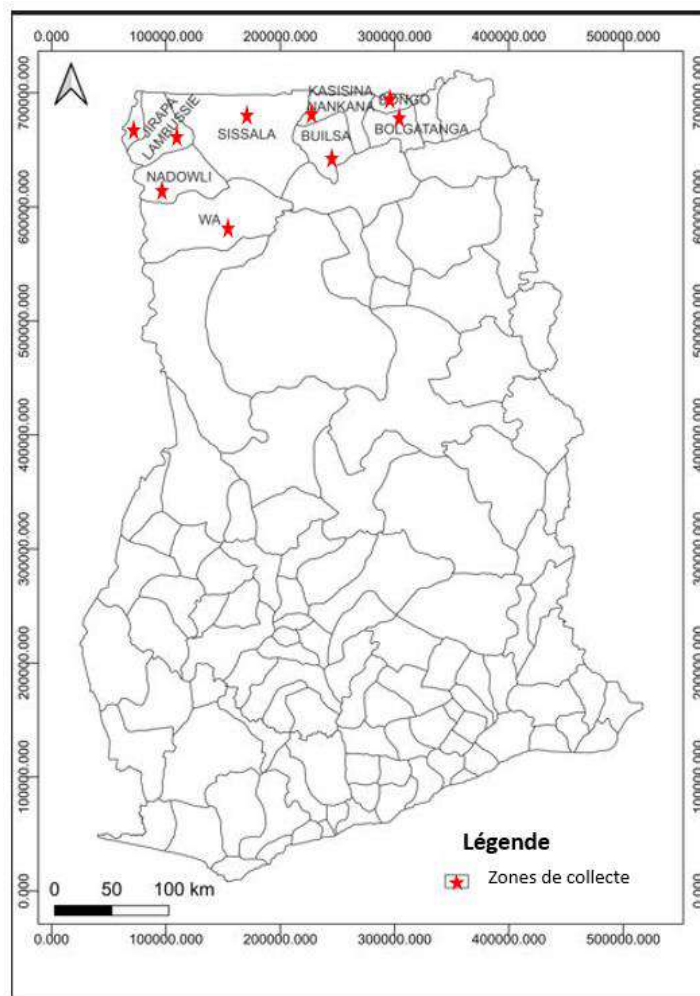
*Solenostemon rotundifolius* est une plante à multiplication végétative dont les tubercules constituent la principale source de semences. Pour la caractérisation agromorphologique, le matériel végétal est constitué de tubercules de 174 accessions de *S. rotundifolius* dont 58 proviennent du Burkina Faso et 116 du Ghana (annexe II). Les 58 accessions du Burkina Faso proviennent des provinces du Bazèga, du Boulkiemdé, du Gourma, du Kadiogo, du Kourwéogo, du Nahouri, du Nounbiel, du Passoré, du Sanmatenga, du Sissili et du Zoundwéogo couvrant les trois zones climatiques du Burkina Faso avec 5 accessions de la zone sahélienne (<600 mm)

, 39 accessions de la zone soudano-sahélienne (600 mm- 900 mm) et 14 accessions de la zone soudanienne (>900 mm) (figure 8). Les 116 accessions du Ghana proviennent de deux régions dont 84 accessions proviennent de la région Upper East et 32 accessions de la région de Upper West couvrant deux zones agro écologiques dont Sudan Savannah (900 mm- 1000 mm) et Guinea Savannah (1100 mm-1200 mm). Les accessions du Ghana ont été collectées dans 9 districts dont Kassena Nankana West, Sissala, Wa, Nabdam, Bolgatanga municipal, Bongo, Builsa Nord, Nadowli-kaleo et Lawra municipal au Nord du pays (figure 9).

Les zones de collecte constituent les principales zones de culture de *S. rotundifolius* dans les deux pays. Au Burkina Faso, les accessions sont issues dans la banque de gènes du Laboratoire Biosciences de l'Université Joseph KI-ZERBO. Les accessions du Ghana ont été fournies par la banque de gènes du Council for Scientific and Industrial Research/Savanna Agricultural Research Institute (CSIR-SARI).



**Figure 8:** Localisation des sites de collecte des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso

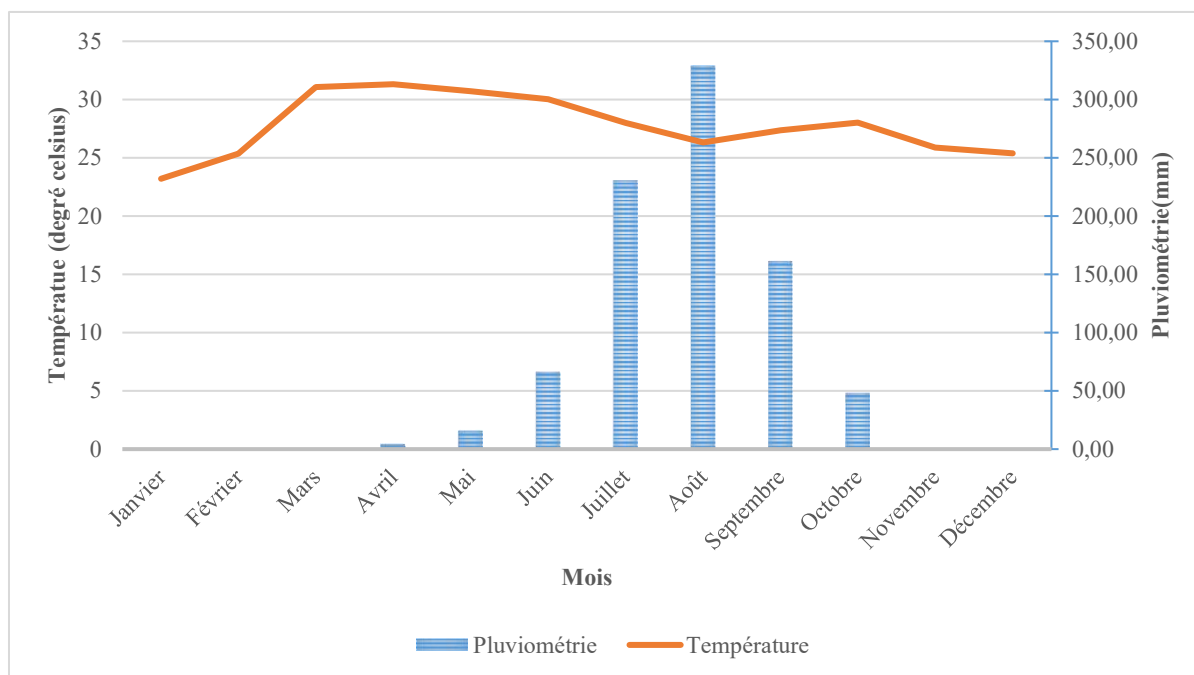


**Figure 9** : Localisation des sites de collecte des accessions de *S. rotundifolius* du Ghana

## 2.1.2. Site expérimental

### 2.1.2.1. Localisation et conditions climatiques du site expérimental

Une parcelle expérimentale pour la caractérisation agromorphologique de l'ensemble des accessions des deux pays a été mise en place sur la station expérimentale de l'Institut du Développement Rural (IDR) à Gampèla. Gampèla est une localité située sur la route nationale n°4 (axe Ouagadougou- Fada N'Gourma), à 20 km du centre ville de Ouagadougou, dans la commune rurale de Saaba, province du Kadiogo (Burkina Faso). La station de recherche est traversée dans sa direction nord-sud par un affluent du Massili. Le climat est de type soudano-sahélien régi par l'alternance d'une période pluvieuse allant de mai à octobre et d'une période sèche de novembre à avril. Une pluviométrie de 865,6 mm a été enregistrée au cours de la période de l'expérimentation de juillet à Octobre 2020 ; le mois d'Août ayant été le plus pluvieux avec 329 mm (figure 10).



**Figure 10:** Pluviométrie et température du site expérimental de Gampèla en 2020

### 2.1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental

Le sol du site expérimental a été de texture à dominance sablo-limoneux avec 11,5% d'argile, 2,5% de limons fins, 14,9% de limons grossiers, 32,05% de sables fins et 39,05% de sables grossiers (Tableau III). La teneur en matière organique a été de 0,70% et celles en carbone total et en azote total de 0,41% et de 0,05% respectivement, avec un rapport C/N de 8,89%. Les teneurs en phosphore total et en phosphore assimilable ont été respectivement de 95,65 ppm et 49,13 ppm avec 250,38 ppm en Potassium total, pour 24,82 ppm en Potassium disponible. La composition en bases échangeables du sol a été comme suit : 1,95 méq/100g pour le Calcium ; 1,28 méq/100g pour le Magnésium ; 0,43 méq/100g pour le Potassium ; 0,06 méq/100g pour le Sodium et 3,72 méq/100g pour la somme des bases (S). La capacité d'échange cationique a été de 7,56 méq/100g et le taux de saturation a été de 49%. Le pH du sol a été de 6,6.

**Tableau III** : Caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental

<b>Eléments du sol</b>	<b>Composition</b>	<b>Taux</b>
<b>Granulométrie (%)</b>	Argile	11,5
	Limons fins	2,5
	Limons grossiers	14,9
	Sables fins	32,05
	Sables grossiers	39,05
<b>Carbone et matière organique (%)</b>	Matière organique totale	0,70
	Carbone total	0,41
	Azote total	0,05
	C/N	8,89
<b>Phosphore (ppm)</b>	Phosphore total	95,65
	Phosphore assimilable	49,13
<b>Potassium (ppm)</b>	Potassium total	250,38
	Potassium disponible	24,82
<b>Bases échangeables méq/100g</b>	Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	1,95
	Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	1,28
	Potassium (K <sup>+</sup> )	0,43
	Sodium (Na <sup>+</sup> )	0,06
	Somme des bases (S)	3,72
	Capacité d'échange cationique (T) méq/100g	7,56
	Taux de saturation (S/T) %	49
<b>Réaction du sol</b>	pH eau (P/V : 1/2,5)	6,6

### 2.1.3. Dispositif expérimental et pratiques culturales

Le dispositif expérimental a été en blocs de Fisher avec trois répétitions ,dont 174 traitements par répétition. La mise en terre des tubercules a été réalisée le 18 juillet 2020 sur des billons de 4,5 m de long (25 cm de haut et 25 cm de large) avec un espacement de 0,5 m entre les billons et de 0, 5 m entre les poquets. Une allée de 2 m a été observée entre deux blocs et de 1 m entre deux sous blocs. La mise en terre des tubercules a été précédée d'un apport de fumure organique (fumier d'ovins) à la dose de 15t/ha. Un buttage a été réalisé trois mois après repiquage au stade épiaison-floraison. Le désherbage a été fait à la demande.

### 2.1.4. Observation des caractères agromorphologiques

Au total vingt-cinq (25) caractères dont treize (13) qualitatifs et douze (12) quantitatifs ont été utilisés pour la caractérisation de la collection. Ces caractères ont été proposés comme de potentiels descripteurs pour *S. rotundifolius* au cours des travaux de NANEMA (2010) et NANEMA et al. (2019).

### 2.1.4 .1. Caractères qualitatifs

Deux (02) caractères qualitatifs ont été observés au stade plantule. Il s'agit de la couleur de la base de la plantule (CBP) et de la couleur des feuilles de la plantule (CFeP). Au stade tallage cinq (05) caractères ont été observés. Ce sont : le gaufrage des feuilles (GFe), la densité du feuillage (DFe), le port de la tige principale (PTP), le port des tiges secondaires (PTS) et la section de la tige principale (STP). A l'épiaison et à la floraison trois (03) caractères ont été observés. Il s'agit de la couleur des boutons floraux (CBF), la couleur de la tige de la plante adulte (CTP) et de la couleur du feuillage de la plante adulte (CFeP). A maturité et après la récolte les caractères qualitatifs ont été la forme du tubercule (FTu), la couleur de la peau du tubercule (CPTu) et la ramification du tubercule (RTu) (tableau IV).

**Tableau IV:** Caractères qualitatifs de *S. rotundifolius*

Stades de développement	Caractères	Abréviations
<b>Plantule</b>	Couleur de la base de la plantule	CBP
	Couleur des feuilles de la plantule	CFeP
<b>Développement végétatif</b>	Gaufrage des feuilles	GFe
	Densité du feuillage	DFe
	Port de la tige principale	PTP
	Port des tiges secondaires	PTS
	Section de la tige principale	STP
<b>Stade épiaison -floraison</b>	Couleur des boutons floraux	CBF
	Couleur de la tige de la plante adulte	CTP
	Couleur du feuillage de la plante adulte	CFeP
<b>Maturité</b>	Couleur de la peau du tubercule	CPTu
	Forme du tubercule	FTu
	Ramification du tubercule	RTu

### 2.1.4 .2. Caractères quantitatifs

Les caractères quantitatifs évalués ont porté sur le développement végétatif, le cycle, et le potentiel de production en tubercules (tableau V). Les caractères relatifs au cycle de développement ont été le délai de début épiaison (DDE) qui correspond au nombre de jours entre le repiquage et l'apparition du premier épi sur chaque ligne et le délai de début maturité (DDM). Ils ont été évalués par ligne (accessions).

Les caractères relatifs au développement végétatif et au potentiel de production en tubercules ont été mesurés sur trois pieds étiquetés par ligne. Les caractères relatifs au feuillage ont été mesurés après la floraison à l'aide d'une règle graduée. La hauteur du feuillage (HFe) a été mesurée de la base du pied à la limite supérieure du feuillage. La longueur de la tige principale (LTP), la largeur et la longueur du limbe de la feuille en position III (LALFe3 et LOLFe3) ont été aussi mesurées à l'aide d'une règle graduée. L'envergure du feuillage (EVG) a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban.

Les tubercules de chaque pied étiqueté à la récolte ont été récoltés séparément. Le nombre de tubercules par pied (NTuP) a été déterminé par comptage et le poids de tubercules de chaque pied (PTuP), avec une balance électronique de poids maximum 1 Kg. Le poids moyen du tubercule a été calculé suivant la formule:  $PMTu = \frac{PTuP}{NTuP}$ . Les mesures du diamètre (DMTu) et de la longueur des tubercules (LMTu) ont été réalisées à l'aide d'un pied à coulisse sur neuf tubercules aléatoirement choisis par pied.

**Tableau V:** Caractères quantitatifs de *S. rotundifolius*

	<b>Caractères quantitatifs</b>	<b>Abréviations</b>
<b>CYCLE</b>	Date de début épiaison	<b>DDE</b>
	Date de début maturité	<b>DDM</b>
<b>FEUILLAGE</b>	Hauteur du feuillage	<b>HFe</b>
	Envergure du feuillage	<b>EVG</b>
	Longueur de la tige principale	<b>LTP</b>
	Longueur du limbe de la F3 de la tige principale	<b>LOLFe3</b>
	Largeur du limbe de la F3 de la tige principale	<b>LALFe3</b>
	Nombre de tubercules par pied	<b>NTuP</b>
<b>TUBERCULES</b>	Poids de tubercules par pied	<b>PTuP</b>
	Poids moyen du tubercule	<b>PMTu</b>
	Longueur moyenne du tubercule	<b>LMTu</b>
	Diamètre moyen du tubercule	<b>DMTu</b>

### 2.1.5. Expression des résultats

Tous les caractères qualitatifs ont été exprimés en pourcentage (%) par rapport au nombre total d'accessions. Les paramètres relatifs à la taille du feuillage ont été évalués en centimètre (cm) et ceux relatifs au diamètre et à la longueur des tubercules exprimés en millimètre (mm). Les

pois ont été exprimés en gramme (g). Les paramètres relatifs au cycle de développement (épiaison et maturité) ont été exprimés en nombre de jours après repiquage.

### **2.1.6. Analyses des données**

Des codes chiffrés ont été attribués aux différentes variantes de chaque caractère qualitatif observé au champ. Une synthèse des données a été effectuée par accession, par bloc et pour l'ensemble des trois répétitions. Un calcul de fréquence de chaque variante pour les différents caractères qualitatifs a ensuite été effectué à l'aide du logiciel SPSS version 2015-20.

Pour chaque caractère quantitatif mesuré, les paramètres descriptifs de l'ensemble des accessions ont été calculés. Ces paramètres ont été le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart type, le coefficient de variation et le coefficient de détermination pour chaque caractère. Une analyse de variance a été effectuée sur la base des facteurs accessions, pays d'origine et zones climatiques. Un test de corrélations de Pearson a été réalisé pour l'ensemble des caractères étudiés. Quelques caractères non fortement corrélés couvrant le développement végétatif, le cycle et le potentiel de production en tubercules ont été retenus pour l'analyse de la structuration de variabilité à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) avec pour critère d'agrégation le lien moyen. La différenciation des groupes issus de la classification ascendante hiérarchique a été analysée grâce à une analyse factorielle discriminante (AFD).

Les analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées avec le logiciel R.v4.3.2. Le logiciel XLSTAT version 2016 a été utilisé pour la réalisation du test de corrélations de Pearson, la classification ascendante hiérarchique (CAH) et l'analyse factorielle discriminante (AFD).

## **2.2. Résultats**

### **2.2.1. Variabilité des caractères qualitatifs de *S. rotundifolius***

#### **2.2.1.1. Variabilité morphologique au stade plantule**

Une variabilité a été observée pour la couleur de la base de la plantule (CBP) et des feuilles de la plantule (CFP). Selon la couleur de la base de la plantule, deux types de plantules ont été identifiés. Il s'agit des plantules à base violacée (figure 11a) qui représentent 75 % des accessions et des plantules à base verte (figure 11b) qui représentent 25 % des accessions) de la collection (Tableau VI).



**a**



**b**

Légende : a : plantule à base violacée, b : plantule à base verte

**Figure 11:** Variation de couleur de la base de la plantule de *S. rotundifolius*

Sur la base de la couleur des feuilles, deux types de plantules ont été identifiés. Il s'agit de plantules à feuilles verte (figure 12a) et des plantules à feuilles violacée (figure 12b). Les proportions de ces deux types de plantules au sein de la collection ont été respectivement de 87 % et de 13 %.



**a**



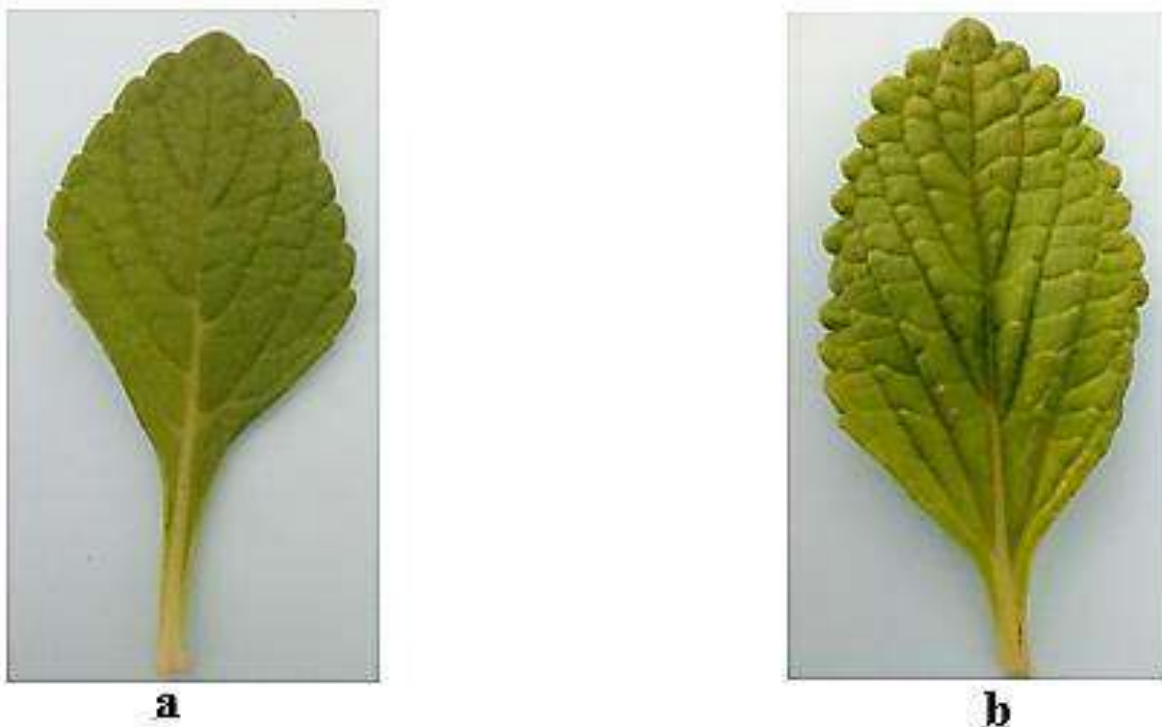
**b**

Légende : a : plantule à feuilles vertes, b : plantule à feuilles violacées

**Figure 12:** Variation de couleur des feuilles de la plantule de *S. rotundifolius*

### 2.2.1.2. Variabilité morphologique au stade développement végétatif

Les accessions ont varié pour tous les cinq caractères qualitatifs observés au stade développement végétatif. La couleur de la tige au stade adulte (CTP) a été verte pour la majorité des accessions (95 %) mais quelques accessions (5 %) ont eu des tiges de couleur rouge. L'observation de l'aspect des feuilles a montré deux variantes selon l'épaisseur et la forme du limbe (GFe). Il s'agit des feuilles faiblement gaufrées avec des limbes moins épais (figure 13a), comparativement aux feuilles fortement gaufrées (figure 13b) dont les limbes sont plus épais à bordures profondément découpées. La majorité des accessions ont eu des feuilles fortement gaufrées (68 %).



Légende : a : feuille à faible gaufrage, b : feuille à fort gaufrage

**Figure 13:** Variation du degré de gaufrage des feuilles de *S. rotundifolius*

Une variabilité a été aussi observée pour la densité du feuillage (DFe). Le feuillage a été faiblement dense pour 47 % des accessions (figure 14a) et fortement dense pour 53 % des accessions de la collection (figure 14b).



Légende : a : feuillage peu dense ; b : feuillage fortement dense

**Figure 14:** Variation de la densité du feuillage de *S. rotundifolius*

Une faible proportion des accessions (7 %) a présenté des tiges principales (PTP) retombantes à la base puis dressées à l'extrémité tandis que 93% ont présenté des tiges principales dressées. Deux variantes ont été aussi observées pour le port des tiges secondaires (PTS). Il s'agit des tiges secondaires retombantes à la base puis dressées à l'extrémité (90 %) et des tiges secondaires dressées (10 % des accessions). Dans l'ensemble de la collection, une très faible proportion d'accessions (1 %) a présenté des tiges à section (STP) hexagonale tandis que 99 % ont présenté des tiges à section quadrangulaire.

### **2.2.1.3. Variabilité morphologique au stade épiaison-floraison**

Les caractères qualitatifs observés au stade épiaison-floraison ont été variables. Pour la couleur des boutons floraux (CBF), deux variantes ont été identifiées au sein de la collection. Il s'agit des boutons floraux violacés (21% des accessions) (figure 15a) et des boutons floraux verts (79% des accessions) (figure 15b).



Légende : a : boutons floraux violacés, b : boutons floraux verts

**Figure 15:** Variation de la couleur des boutons floraux de *S. rotundifolius*

Après l'épiaison, les feuilles apicales (CFeP) ont présenté deux colorations. Ainsi, 87% des accessions de l'ensemble de la collection ont présenté des feuilles apicales de couleur verte (figure 16a) et 13% des accessions ont eu des feuilles apicales vertes au centre rougeâtre (figure 16b).



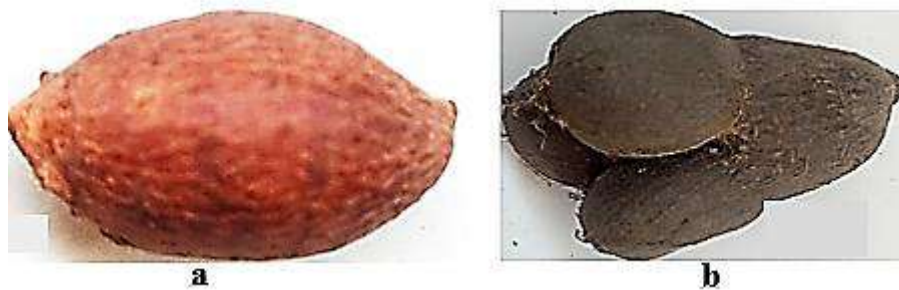
Légende : a : feuilles apicales vertes, b : feuilles apicales vertes au centre rougeâtre

**Figure 16:** Variation de la couleur des feuilles de *S. rotundifolius*

#### 2.2.1.4. Variabilité des accessions pour les caractères observés sur les tubercules

Après la récolte, une variabilité a été mise en évidence pour la couleur et la forme des tubercules. Pour la couleur de la peau du tubercule (CPTu), deux variantes ont été observées. Il

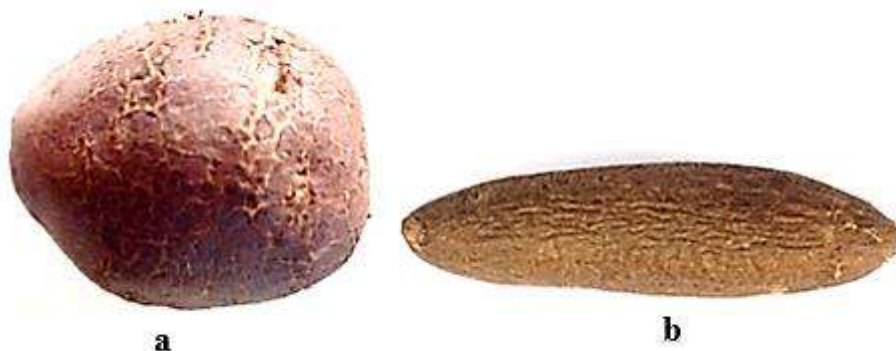
s'agit des tubercules à peau de couleur rougeâtre (27% des accessions) (figure 17a) et des tubercules à peau de couleur noire (73% des accessions) (figure 17b).



Légende : a : tubercule de couleur rougeâtre, b : tubercule de couleur noirâtre

**Figure 17** : Variation de couleur de la peau du tubercule de *S. rotundifolius*

Pour la forme du tubercule, deux variantes ont été observées. Il s'agit des tubercules ovoïdes (figure 18a) et des tubercules oblongs (figure 18b). La majorité des accessions de la collection (98%) ont produit des tubercules oblongs et seulement 2% ont produit des tubercules ovoïdes.



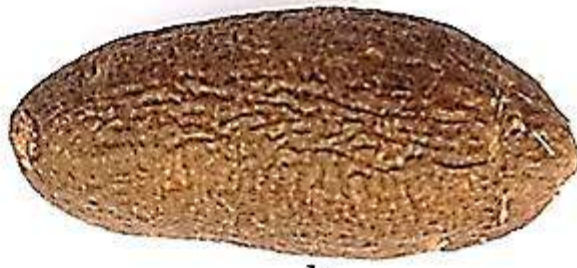
Légende : a : tubercule de forme ovoïde, b : tubercule de forme oblongue

**Figure 18**: Variation de la forme du tubercule de *S. rotundifolius*

En plus de la forme, une variabilité a été observée pour la ramification des tubercules (RTu). Il s'agit de la présence (88%) (figure 19a) ou de l'absence (12%) (figure 19b) de tubercules latéraux.



**a**



**b**

Légende : a : tubercule ramifié, b : tubercule non ramifié

**Figure 19** : Variabilité pour la ramification du tubercule de *S. rotundifolius*

**Tableau VI:** Variation des caractères qualitatifs dans la collection de *Solenostemon rotundifolius*

Stades	Caractères	Variantes	Proportion (%)
Stade plantule	Couleur de la base de la plantule (CBP)	Rouge	75
		Verte	25
	Couleur des feuilles de la plantule (CFeP)	Rouge	13
		Vert	87
Développement végétatif	Gaufrage des feuilles (GFe)	Fort	32
		Faible	68
	Densité du feuillage (DFe)	Forte	53
		Faible	47
	Port de la tige principale (PTP)	Retombant	7
		Dressé	93
	Port de la tige secondaire (PTS)	Retombant	90
		Dressé	10
	Section de la tige principale (STP)	Quadrangulaire	99
		Hexagonale	1
Couleur de la tige de la plante adulte (CTP)	Rouge	5	
	Verte	95	
Stade épiaison-floraison	Couleur des boutons floraux (CBF)	Rouge	21
		Verte	79
	Couleur du feuillage de la plante adulte (CFeP)	Rouge	13
		Verte	87
Maturité	Couleur de la peau du tubercule (CPTu)	Noire	73
		Rouge	27
	Forme du tubercule (FTu)	Oblongue	98
		Ovoïde	2
	Ramification du tubercule (RTu)	Présence	88
		Absence	12

## **2.2.2. Variation des caractères quantitatifs de *S. rotundifolius***

### **2.2.2.1. Performances des accessions *S. rotundifolius* pour les caractères quantitatifs étudiés**

Le tableau VII montre les valeurs moyennes et les intervalles de variation pour les caractères quantitatifs. Des différences significatives au seuil de 5% ( $p < 0,0001$ ) ont été observées entre les accessions pour l'ensemble des caractères évalués. La hauteur du feuillage (HFe), a varié entre 9 et 47 cm et l'envergure du feuillage (EVG) entre 35 et 220 cm. En moyenne, la hauteur du feuillage (HFe) a été de 17,74 cm et l'envergure du feuillage (EVG) de 104,75 cm avec de forts coefficients de variation ( $CV > 21\%$ ). La tige principale a mesuré 17,39 cm de long (LTP) mais a varié de 7 à 45 cm. La longueur du limbe de la feuille (LOLFe3) a été de 4,35 cm et la largeur du limbe (LALFe3) de 2,77 cm avec des coefficients de variation respectifs de 14,65% et 17,10%.

Une importante variation a été observée pour le cycle (DDE et DDM). Les accessions les plus précoces ont épié au bout de 44 jours après repiquage et celles tardives à 90 jours après repiquage. Quant à la maturité, 31 jours se sont écoulés entre les accessions précoces et les accessions tardives. Le cycle à la maturité a varié de 110 jours pour les accessions précoces et 141 jours pour les accessions tardives.

Les caractères relatifs aux tubercules ont été les plus variables. Les accessions les moins productives n'ont donné que quatre tubercules (NTuP) pour un poids total (PTuP) de 3,6 g. Par contre, les plus productives ont atteint 172 tubercules pour un poids de 409,9 g. Pour l'ensemble des accessions, la production moyenne a été de 32 tubercules pour un poids moyen de 57,56g. Le poids moyen par tubercule (PMTu) a varié de 0,35 à 8,32 g avec une moyenne de 1,73 g. La longueur moyenne (LMTu) minimale du tubercule a été de 14,9 mm, mais certains tubercules ont atteint 110,7 mm. En moyenne, la longueur du tubercule a été de 32,93 mm. Quant au diamètre du tubercule (DMTu), il a varié entre 7 mm et 45,75 mm.

**Tableau VII:** Variabilité des accessions de *S. rotundifolius* pour les caractères quantitatifs

Variables	Min.	Max.	Moyenne	Ecart-type	CV (%)	R <sup>2</sup> (%)	F	p-value	Signification du F
HFe (cm)	9,00	47,00	17,74	3,88	21,86	50,85	1,84	< 0,0001	***
LTP (cm)	7,00	45,00	17,39	4,29	24,68	55,41	2,31	< 0,0001	***
EVG (cm)	35,00	220,00	104,75	30,67	29,28	56,83	2,44	< 0,0001	***
LOLFe3 (cm)	2,40	6,50	4,35	0,64	14,65	51,71	1,83	< 0,0001	***
LALFe3 (cm)	1,20	4,60	2,77	0,47	17,10	50,74	1,91	< 0,0001	***
DDE (j)	44,00	90,00	67,63	7,15	10,57	61,95	3,02	< 0,0001	***
DDM (j)	110,00	141,00	131,92	5,48	4,15	68,60	4,05	< 0,0001	***
NTuP (nbr)	4,00	172,00	32,27	22,03	68,25	53,54	2,14	< 0,0001	***
PTuP (g)	3,60	409,90	57,56	50,98	88,57	52,56	2,06	< 0,0001	***
PMTu (g)	0,35	8,32	1,73	0,81	46,91	54,01	2,18	< 0,0001	***
LMTu (mm)	14,90	110,70	32,93	7,69	23,35	58,63	2,63	< 0,0001	***
DMTu (mm)	7,00	45,75	13,59	2,82	20,73	52,93	2,09	< 0,0001	***

**Légende** : CV (%): coefficient de Variation ; F : coefficient de Fisher issu de l'analyse de variance ; R<sup>2</sup>(%) : coefficient de détermination J : jours ; nbr : nombre \*\*\* : très hautement significative ; HFe : hauteur du feuillage ; LTP : longueur de la tige principale ; EVG : circonférence du feuillage ; LOLFe3 : longueur du limbe de la F3 de la tige principale, LALFe3 : largeur du limbe de la F3 de la tige principale ; DDE : nombre de jours de début épiaison ,DDM : nombre de jours de début maturité ; NTuP : nombre de tubercules par pied ; PTuP : poids de tubercules par pied ; PMTu : poids moyen de tubercule ; LMTu : longueur moyenne du tubercule ; DMTu : diamètre moyen du tubercule ; cm : centimètre ; g : gramme ; mm : millimètre, nbr : nombre

### 2.2.2.2. Comparaison des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana pour les caractères quantitatifs

L'analyse de variance réalisée entre les accessions sur la base du pays de provenance (Burkina Faso et Ghana) a montré des différences significatives au seuil de 5% pour la hauteur du feuillage (HFe), l'envergure (EVG), le nombre de jours à la maturité (DDM), et le poids de tubercules par pied (PTuP) et autement significative au seuil de 5% pour le nombre de tubercules par pied (NTuP) et la longueur moyenne du tubercule (LMTu) (tableau VIII). La longueur de la tige principale (LTP), la longueur et la largeur de la feuille (LOLFe3 et LALFe3), la date d'épiaison (DDE), le poids moyen du tubercule (PMTu) et le diamètre moyen du tubercule (DMTu) n'ont pas été des caractères discriminants.

Les accessions du Ghana ont eu un développement végétatif plus important, un cycle plus long et un niveau de production en tubercules plus élevé que celles du Burkina Faso. En effet, la hauteur du feuillage (HFe) et l'envergure (EVG) des accessions du Ghana ont été respectivement de 19,85 cm et de 106,97 cm contre 17,51 cm et 99,83 cm pour les accessions du Burkina Faso. Les accessions du Ghana ont produit en 132 jours (DDM) en moyenne 39 tubercules par pied (NTuP) pour un poids moyen de (PTuP) de 60,92 g. Celles du Burkina Faso ont produit au bout de 125 jours (DDM) en moyenne 28 tubercules par pied (NTuP) pour un

poids moyen de 50,10 g. La longueur moyenne du tubercule (LMTu) des accessions du Ghana a été de 33,52 mm contre 28,63 mm pour celles du Burkina Faso.

**Tableau VIII:** Variation des caractères quantitatifs des accessions en fonction du pays de provenance (Burkina Faso et Ghana)

Variables	F	p-value	Signification du F	Pays de collecte des accessions	
				Burkina Faso	Ghana
HFe (cm)	0,79	<b>0,037</b>	*	17,51 (b)	19,85 (a)
LTP (cm)	1,47	0,23	NS	17,05	17,55
EVG (cm)	5,82	0,02	*	99,83 (b)	106,97 (a)
LOLFe3 (cm)	0,06	0,80	NS	4,34	4,35
LALFe3 (cm)	0,07	0,79	NS	2,78	2,77
DDE (j)	1,26	0,26	NS	68	67
DDM (j)	4,47	<b>0,03</b>	*	125 (b)	132 (a)
NTuP (nbr)	7,36	<b>0,01</b>	**	28 (b)	39 (a)
PTuP (g)	4,82	<b>0,03</b>	*	50,10 (b)	60,92 (a)
PMTu (g)	0,09	<b>0,76</b>	NS	1,91	2,04
LMTu (mm)	6,50	<b>0,01</b>	**	28,63 (b)	33,52 (a)
DMTu (mm)	0,02	<b>0,88</b>	NS	17,56	19,60

**Légende :** F : coefficient de Fisher issu de l'analyse de variance ; J : jours ; nbr : nombre ; \*\* : hautement significatif ; \* : significatif au seuil de 0,05 ; ns : non significatif au seuil de 0,05 ; a et b : classes de valeurs Issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b ; HFE : hauteur du feuillage ; LTP : longueur de la tige principale ; EVG : circonférence du feuillage ; LOLFe3 : longueur du limbe de la F3 de la tige principale, LALFe3 : largeur du limbe de la F3 de la tige principale ; DDE : nombre de jours de début Épiaison, DDM : nombre de jours de début maturité ; NTuP : nombre de tubercules par pied ; PTuP : poids de tubercules par pied ; PMTu : poids moyen de tubercule ; LMTu : longueur moyenne du tubercule ; DMTu : diamètre moyen du tubercule ; cm : centimètre ; g : gramme ; mm : millimètre, nbr : nombre

### 2.2.2. 3. Variabilité des accessions suivant la pluviométrie de la zone de collecte de *S. rotundifolius* au Ghana et au Burkina Faso

L'analyse comparative des accessions selon la zone climatique de collecte des accessions a révélé une différence significative au seuil de 5% pour la hauteur du feuillage (HFe), l'envergure (EVG), nombre de tubercules par pied (NTuP), le poids de tubercules par pied (PTuP), le poids moyen du tubercule (PMTu), la longueur moyenne du tubercule (LMTu) et le diamètre moyen du tubercule (DMTu) et hautement significative au seuil de 5% pour le nombre de jours à la maturité (DDM) (tableau IX). Les différences entre les accessions n'ont pas été significatives pour la longueur de la tige principale (LTP), la longueur et la largeur de la feuille (LOLFe3 et LALFe3) et le nombre de jours à l'épiaison (DDE).

Les plantes de petite taille ont été celles de la zone sahélienne (< 600 mm) (HFE=14,97 cm et EVG=79,52 cm). La hauteur de la plante (HFe) et l'envergure des accessions de la zone soudano-sahélienne (600 à 900 mm) ont été de 16,79 cm et 97,13 cm, respectivement. Les

accessions de la zone soudanienne du Burkina Faso, sudan-savanah du Ghana et la zone guinea-savanah du Ghana (>900 mm) ont développé un grand couvert végétatif. La hauteur de la plante (HFe) et l'envergure du feuillage des accessions collectées dans ces zones ont varié de 18,34 cm à 19,68 cm et de 102,85 cm à 107,10 cm, respectivement.

Les accessions de la zone sahélienne (< 600 mm) ont été précoces et moins productives que celles des autres zones. La maturité de ces accessions a été effective 122 jours après le repiquage (DDM). Ils ont produit 20 tubercules (NTuP) correspondant à 41,62 g (PTuP). Les tubercules de petite taille ont été enregistrés dans cette zone climatique (LMTu=28,03 mm et DMTu=12,28 mm). Le poids moyen du tubercule (PMTu) a été de 1,10 g.

Le cycle et la productivité des accessions de la zone soudano-sahélienne (600 à 900 mm) ont été intermédiaires entre la zone sahélienne et les autres zones climatiques (>900 mm). La maturité (DDM) des accessions de cette zone climatique s'est produite 121 jours après le repiquage, le nombre total de tubercules (NTuP) et le poids des tubercules (PTuP) par plante ont été respectivement de 25 et 56,67 g. Le poids moyen du tubercule (PMTu), la longueur du tubercule (LMTu) et le diamètre du tubercule (DMTu) ont été respectivement de 1,34 g, 30,40 mm et 15,89 mm.

Les accessions de la zone soudanienne du Burkina Faso, sudan-savanah du Ghana et la zone guinea-savanah (>900 mm) ont été plus longues avec une productivité plus importante que celles des autres zones climatiques. Le nombre de jours à la maturité des accessions (DDM) a été de 131 ou 132 jours, le nombre de tubercules (NTuP) et le poids des tubercules par plante (PTuP) ont varié de 36 à 37 et de 85,01 g à 87,98 g. Le poids moyen des tubercules a varié de 1,85 g à 1,90 g. La longueur du tubercule (LMTu) a varié de 32,51 mm à 34,66 mm et le diamètre (DMTu) de 21,54 mm à 23,93 mm.

**Tableau IX** : Variation des caractères quantitatifs des accessions en fonction de la zone climatique du Burkina Faso et du Ghana

Variables	Burkina Faso			Ghana			
	F	Pr > F	Sahélienne (<600mm)	Soudano-sahélienne (600-900mm)	Soudanienne (>900mm)	sudan-savanah (900-1000mm)	guinea-savanah (1100-1200mm)
HFe (cm)	2,14	<b>0,032</b>	14,97 c	16,79 b	18,34 a	18,64 a	19,68 a
LTP (cm)	2,43	0,063	17,13	17,33	17,40	17,52	17,64
EVG (cm)	2,70	<b>0,032</b>	79,52 c	97,13 b	102,85 a	103,00a	107,10a
LOLFe3 (cm)	6,40	0,052	4,06	4,11	4,50	4,30	4,55
LALFe3 (cm)	3,66	0,061	2,40	2,62	2,84	2,86	2,89
DDE (j)	2,23	0,057	71,70	66,66	69,02	68,14	65,88
DDM (j)	1,91	<b>0,010</b>	112c	121b	131a	132a	132a
NTuP (nbr)	2,65	<b>0,034</b>	20 c	25b	36a	36a	37a
PTuP (g)	3,67	<b>0,0067</b>	41,62c	56,67 b	85,01 a	86,12 a	87,98 a
PMTu (g)	5,31	<b>0,0004</b>	1,10c	1,34 b	1,85 a	1,90 a	1,90 a
LMTu (mm)	2,91	<b>0,022</b>	28,03 c	30,40 b	32,51 a	33,27 a	34,66 a
DMTu (mm)	1,76	<b>0,013</b>	12,28c	15,89 b	21,54 a	22,31 a	23,93 a

**Légende** : F : coefficient de Fisher issu de l'analyse de variance ; J : jours ; nbr : nombre; a, b et c : classes de valeurs issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b>c ; HFe : hauteur du feuillage ; LTP : longueur de la tige principale ; EVG : circonférence du feuillage; LOLFe3 : longueur du limbe de la F3 de la tige principale, LALFe3 : largeur du limbe de la F3 de la tige principale ; DDE : nombre de jours à l'épiaison, DDM : nombre de jours à la maturité ; NTuP : nombre de tubercules par pied; PTuP : poids de tubercules par pied ; PMTu : poids moyen de tubercule ; LMTu : longueur moyenne du tubercule ; DMTu : diamètre moyen du tubercule ; cm : centimètre ; g : gramme ; mm : millimètre, nbr : nombre

#### 2.2.2.4. Corrélations entre caractères quantitatifs

Des fortes corrélations entre les caractères relatifs au cycle de développement, au feuillage, et à la productivité en tubercules ont été mises en évidence (tableau X). Les plus fortes corrélations entre les caractères relatifs au feuillage ont été observées entre la longueur (LOLFe3) et la largeur (LALFe3) de la feuille ( $r=0,77$ ), entre l'envergure du feuillage (EVG) et la longueur de la tige principale (LTuP) ( $r=0,69$ ) et entre la longueur de la tige principale (LTuP) et la hauteur du feuillage (HFe) ( $r=0,67$ ). Pour les caractères liés à la production en tubercules, de fortes corrélations ont été trouvées entre le nombre et le poids de tubercules par pied (NTuP et PTuP) avec  $r=0,85$  ; entre le poids moyen du tubercule (PMTu) et le poids des tubercules par pied (PTuP) ( $r=0,58$ ) ; entre le poids moyen du tubercule (PMTu) et diamètre moyen du tubercule (DMTu) avec  $r=0,56$  et entre le diamètre moyen et la longueur moyenne du tubercule (DMTu et LMTu) avec  $r=0,51$ . Le coefficient de corrélation entre les caractères relatifs au cycle (DDE et DDM) a été de 0,33.

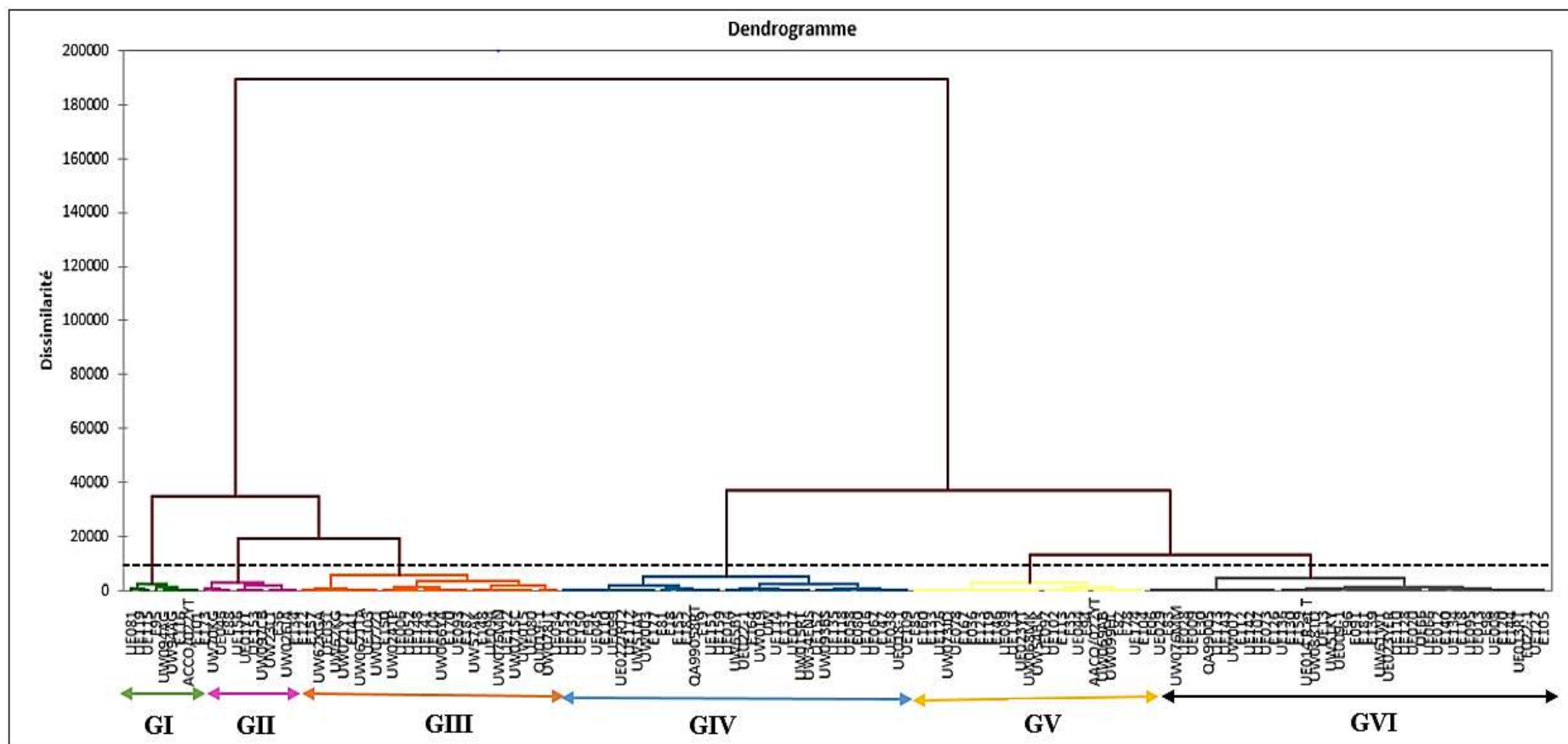
**Tableau X:** Matrice de corrélations entre les caractères quantitatifs de *S. rotundifolius*

Variables	DDE	DDM	HFe	LTP	EVG	LOLFe3	LALFe3	NTuP	PTuP	PMTu	LMTu
DDM	0,33**										
HFe	0,07	0,11									
LTuP	0,04	0,18*	0,67**								
EVG	0,18*	0,04	0,58**	0,69**							
LOLFe3	-0,06	-0,02	0,27**	0,20**	0,27**						
LALFe3	-0,08	-0,17*	0,18*	0,13	0,25**	0,77**					
NTuP	0,16*	0,18*	0,25**	0,31**	0,52**	0,05	0,14				
PTuP	0,22**	0,17*	0,38**	0,35**	0,61**	0,17*	0,22*	0,85**			
PMTu	0,24**	0,08	0,29**	0,17*	0,36**	0,18*	0,18*	0,17*	0,58**		
LMTu	0,14	0,06	0,33**	0,22**	0,34**	0,20**	0,20**	0,31**	0,48**	0,44**	
DMTu	0,29**	0,12	0,26**	0,18*	0,33**	0,08	0,10	0,24**	0,44**	0,56**	0,51**

**Légende** :\* : significatif au seuil de 0,05 ; \*\* : significatif au seuil de 0,01 ; **DDE** : nombre de jours à l'épiaison ; **DDM** : nombre de jours à la maturité ; **HFe** : hauteur du feuillage ; **LTP** : longueur de la tige principale ; **EVG** : circonférence du feuillage ; **LOLFe3** : longueur du limbe de la F3 de la tige principale, **LALFe3** : largeur du limbe de la F3 de la tige principale , **NTuP** : nombre de tubercules par pied ; **PTuP** : poids de tubercules par pied ; **PMTu** : poids moyen de tubercule ; **LMTu** : longueur moyenne du tubercule ; **DMTu** : diamètre moyen du tubercule.

#### 2.2.2.5. Structuration de la variabilité des accessions de *S. rotundifolius*

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été faite sur la base du nombre de jours début maturité (DDM), de la hauteur du feuillage (HFe), de l'envergure du feuillage (EVG), du nombre de tubercules par pied (NTuP) et du poids de tubercules par pied (PTuP). Le dendrogramme issu de la CAH avec une troncature à 10 000 dissimilarités révèle une répartition des 174 accessions en six groupes (figure 20).



**Figure 20:** Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique des 174 accessions de *S. rotundifolius*

Le tableau XI présente pour chaque groupe issu de la CAH, le nombre d'accessions et leur provenance. Le groupe I est constitué de neuf (9) accessions dont six (6) du Ghana et trois (3) du Burkina Faso. Le groupe II est composé de 12 accessions dont huit (8) du Ghana et quatre (4) du Burkina Faso. Le groupe III est constitué de 32 accessions dont 25 du Ghana et sept (7) du Burkina Faso. Le groupe IV, est constitué de 43 accessions dont 31 du Ghana et 12 du Burkina Faso. Le groupe V est constitué de 29 accessions dont 15 du Ghana et 14 du Burkina Faso. Quant au groupe VI, il est constitué de 49 accessions dont 31 accessions du Ghana et 18 accessions du Burkina Faso.

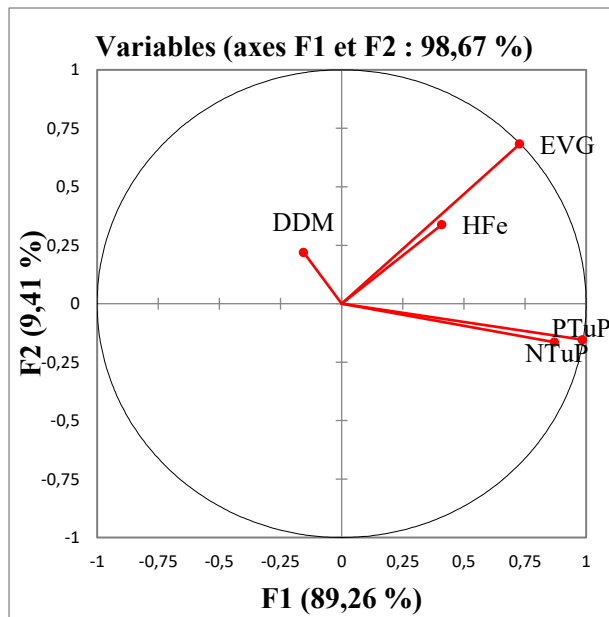
**Tableau XI** : Composition des groupes d'accessions de *S. rotundifolius* issus de la CAH

	Groupes	I	II	III	IV	V	VI	Total
	Effectifs	9	12	32	43	29	49	<b>174</b>
Provenances	Burkina Faso	3	4	7	12	14	18	<b>58</b>
	Ghana	6	8	25	31	15	31	<b>116</b>

#### 2.2.2.6. Caractérisation des groupes d'accessions de *S. rotundifolius* issus de la CAH

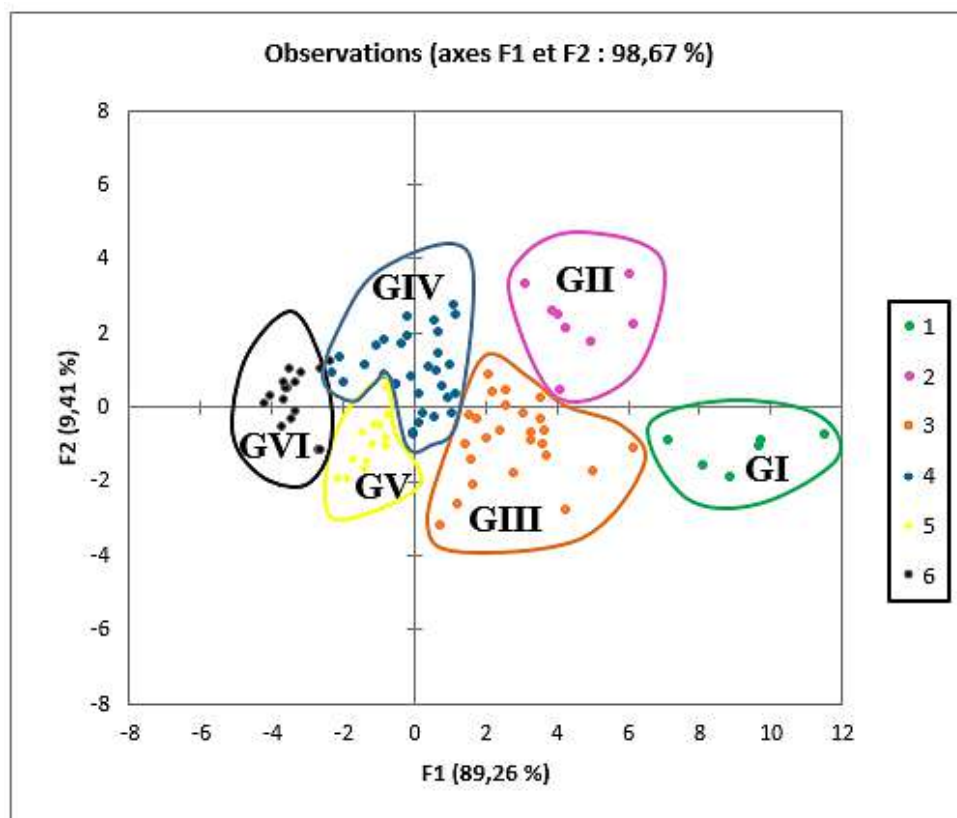
La caractérisation des groupes issus de la CAH a été faite grâce à l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) (figure 21). Elle a été réalisée sur la base du nombre de jours début maturité (DDM), de la hauteur du feuillage (HFe), de l'envergure du feuillage (EVG), du nombre de tubercules par pied (NTuP), et du poids de tubercules par pied (PTuP).

Le plan  $\frac{1}{2}$  de l'AFD, avec 98,67% de l'inertie totale, associe d'une part la hauteur du feuillage (HFe), le poids de tubercules par pied (PTuP), et le nombre de tubercules par pied (NTuP) à l'axe F1 (89,26% de l'inertie totale). Le plan  $\frac{1}{2}$  associe d'autre part l'envergure de feuillage (EVG) et le nombre de jours à la maturité (DDM) à l'axe F2 (9,41% de l'inertie totale) (figure 22).



**Légende :** HFe : hauteur du feuillage ; DDM : nombre de jours au début maturité ; EVG : envergure du feuillage ; NTuP : nombre de tubercules par pied ; PTuP : poids de tubercules par pied

**Figure 21:** Association des caractères quantitatifs de *S. rotundifolius* aux axes de l'AFD



**Légende :** GI, GII, GIII, GIV, GV et GVI : différents groupes issus de la CAH

**Figure 22:** Plan ½ de l'AFD des groupes issus de la CAH d'accessions de *S. rotundifolius*

La relation entre les groupes issus de la CAH et les axes de l'AFD a montré que le groupe I est positivement corrélé à l'axe F1 et s'oppose au groupe VI (figure 22). Les groupes II et IV, positivement corrélés à l'axe F2 sont opposés aux groupes III et V.

L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les groupes pour le cycle, la taille du feuillage et la production en tubercules (tableau XII). Le groupe (GI) a été caractérisé par un fort développement du feuillage (HFe = 20,61 cm et EVG = 160,91 cm), un cycle long (DDM = 132 jours) avec une bonne productivité (NTuP = 62 et PTP = 148,21g). Le deuxième groupe (GII) a été caractérisé par un assez fort développement du feuillage (HFe = 19,62 cm et EVG = 150,78 cm), et un cycle long (DDM = 130 jours). Le nombre de tubercules par plant (NTP) des accessions de ce groupe a été de 46 et le poids des tubercules (PTuP) a été de 90,88 g. Le troisième groupe (GIII) a été caractérisé par un développement moyen du feuillage (HFe = 18,89 cm ; EVG = 115,37 cm), un cycle moyen (DDM= 127 jours) avec une productivité moyenne (NTuP = 42 et PTuP = 85,42g). Le quatrième groupe (GIV) a été caractérisé par un développement foliaire moyen (HFe = 17,91 cm ; EVG= 113,47 cm), un cycle moyen (DDM = 122 jours) et une productivité moyenne (NTuP = 39 ; et PTuP = 83,46 g). Le cinquième groupe (GV), opposé au premier (GI), a été caractérisé par la petite taille du feuillage (HFe = 16,50 cm ; EVG= 99,57 cm), une maturation précoce (DDM = 121 jours) et une productivité moyenne (NTuP = 26 et PTuP = 39,81 g). Le sixième groupe (GVI) a été caractérisé par des plantes de petite taille (HFe= 15,84 cm ; EVG = 98,63 cm), une maturité précoce (DDM = 118 jours) et une faible productivité (NTuP = 24 ; PTuP = 37,36 g).

**Tableau XII:** Caractéristiques des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des groupes issues de la CAH

Groupes	DDM (j)	HFe (cm)	EVG (cm)	NTuP (nbr)	PTuP(g)
I	132a	20,61a	160,91a	62a	148,21a
II	130b	19,62b	150,78b	46b	90,88b
III	127c	18,89c	115,37c	42c	85,42c
IV	122d	17,91d	113,47d	39d	83,46d
V	121d	16,50d	99,57e	26e	39,81e
VI	118e	15,84e	98,63f	24f	37,36f
ddl	5	5	5	5	5
F	43,04	9,97	28,59	11,61	14,28
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

**Légende :** a, b, c, d, e et f : classes de valeurs issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b>c> d>e>f, **ddl** : degré de liberté, **F** : F de Fischer issu de l'analyse de variance, **DDM** : nombre de jours à la maturité ; **HFe** : Hauteur du feuillage ; **EVG** : Envergure du feuillage; **NTuP**: Nombre de tubercules par pied; **PTuP** : Poids de tubercules par pied ; **nbr** : nombre.

### 2.3. Discussion

Du stade plantule à la récolte des tubercules, les caractères qualitatifs liés au feuillage, à l'inflorescence ou aux tubercules ont discriminé les différentes accessions de *S. rotundifolius*. Les couleurs verte et rouge que nous avons observées sur la base des plantules, ont également été mentionnées par NANEMA et al. (2018) dans la description des morphotypes de *S. rotundifolius*. PRICE and STURGESS (1938), REIN (2005) expliquent l'apparition des colorations rougeâtres par la présence d'anthocyanines chez les *Lamiacées* (principalement la cyanidine saccharides, les anthocyanines sont responsables de la coloration rougeâtre des organes végétaux. L'instabilité de cette coloration s'explique par le fait que les anthocyanines sont fortement influencées par le pH, la température, la lumière et les enzymes.

L'observation du gaufrage des feuilles a permis d'identifier des feuilles fortement gaufrées (épaisses) et des feuilles à faible gaufrage. Nous avons noté aussi des pieds à feuillage dense et des pieds à feuillage peu dense. Ces variations d'épaisseur des feuilles ont été aussi mentionnées par NRI (1987), TARPAGA (2001) et NANEMA et al. (2018). Le gaufrage des feuilles de *Solenostemon rotundifolius* pourrait être considéré comme l'un des paramètres d'adaptation de la plante à la zone tropicale, particulièrement à la zone sahélienne telle que mentionnée par RYDING (1994) et NKANSAH (2004).

La couleur des boutons floraux et les caractères qualitatifs observés sur les tubercules ont varié au sein de la collection de *S. rotundifolius*. Selon NANEMA et al. (2018), la couleur des boutons floraux, les couleurs rougeâtre, noirâtre ainsi que les formes oblongue et ovoïde des tubercules sont des caractères discriminants les morphotypes de *S. rotundifolius*. La présence de cette variabilité pour les caractères qualitatifs traduirait donc la présence de plusieurs morphotypes au sein de la collection.

La variabilité des caractères quantitatifs mesurés sur la partie végétative aérienne a été plus forte que celle observée lors des travaux antérieurs sur *S. rotundifolius*. L'étendue de la variation de la hauteur de la plante (9-47 cm), l'envergure (35-220 cm), la longueur (2,40-6,40 cm) et la largeur des feuilles (1,20-4,6 cm) a été plus importante que celle mentionnée précédemment (NANEMA et al., 2009 ; NANEMA et al., 2019 et ASHAA et al., 2023) qui a été respectivement 14,5-30,38 cm, 33,89-100,43 cm, 3,8-6,1 cm et 2,3-5,1 cm. La présente étude a inclu des accessions de différentes zones climatiques dans deux pays (Burkina Faso et Ghana) et cela aurait contribué à capturer davantage de variabilité au sein de l'espèce. Malgré la grande amplitude de variation des caractères liés au cycle végétal, les résultats de la présente étude pour le nombre de jours à l'épiaison (44-90 jours) et à la maturité (110-140 jours) n'ont pas couvert l'ensemble de la variation de *S. rotundifolius* mentionnée lors de travaux

précédents. Selon NANEMA et al. (2019), l'initiation de l'épi s'est produite entre 61 à 90 jours et la maturité entre 113 à 164 jours après le repiquage lors de la caractérisation agromorphologique de certains morphotypes de *S. rotundifolius* du Burkina Faso. Selon GUILLAUMET et CORNET (1976) et ABRAHAM et RADHAKRISHNAN (2005), *S. rotundifolius* est une plante photosensible. Le cycle et le rendement peuvent donc varier selon la période de repiquage. La variation du cycle en fonction de la période de mise en culture fait partie des mécanismes d'adaptation des espèces à leur environnement (NANEMA et al., 2009). Un repiquage tardif pourrait donc conduire à la réduction du cycle des accessions. Cela pourrait expliquer le repiquage précoce en milieu rural comme mentionné par NANEMA et al. (2009) et SUGRI et al. (2013).

La petite taille des tubercules a été identifiée comme l'une des principales contraintes pour la promotion de *S. rotundifolius* (NANEMA et al., 2017). Le taux de tubercules non commercialisables (diamètre inférieur à 16 mm) peut atteindre 90 % par récolte (NANEMA et al., 2019). Dans la présente étude, les accessions ont produit 3,6 à 409,9 g de tubercules par plante. La longueur et le diamètre des tubercules ont varié respectivement de 14,90 mm à 110,7 mm et de 7 mm à 45,75 mm. Malgré la présence de quelques accessions à faible productivité et de tubercules de petite taille dans la collection, un nombre important d'accessions à haute productivité et à gros tubercules ont pu être identifiés. Le poids total de tubercules par plante est toutefois inférieur à celui mentionné par OPOKU-AGYEMAN et al. (2007) et ASHAA et al. (2023) ; 480 g et 465,3 g respectivement. Le rendement potentiel des accessions pourrait être amélioré grâce à de meilleures conditions de culture, notamment un repiquage précoce, une alimentation en eau adéquate et une meilleure fertilité des sols.

La zone climatique de collecte des accessions s'est révélée être un facteur plus discriminant que le pays de provenance. Les accessions de la zone sahélienne ont eu un cycle court et moins productives alors que celles des zones de pluviométrie supérieure à 900 mm ont enregistré un cycle long, avec un potentiel élevé et un feuillage important. *S. rotundifolius* étant cultivée en conditions pluviales (NANEMA et al., 2010 ; SUGRI et al., 2013), les paysans ont dû sélectionner des variétés locales adaptées à leurs conditions agricoles. Cette pratique aurait contribué à la répartition actuelle des variétés locales dans différentes zones climatiques. Dans le contexte actuel de changement climatique, des variations importantes du régime pluviométrique pourraient conduire à la disparition de *S. rotundifolius* de certaines zones.

Six groupes ont été identifiés au sein de la collection. Ces groupes ont varié par la taille du feuillage, le cycle, le rendement et la taille des tubercules. NANEMA (2010) a mentionné la taille du feuillage, la productivité et le cycle comme principaux caractères pour la structuration

de la variabilité. Le nombre de groupes est plus élevé que celui obtenu lors des travaux antérieurs sur *S. rotundifolius* (NANEMA et al., 2010 ; ASHAA et al., 2023). Les six groupes offrent plus de possibilités de sélection au sein de la collection.

### **Conclusion**

Cette étude a mis en évidence l'existence d'une grande variabilité au sein des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana. Tous les caractères étudiés ont été variables traduisant l'importance de l'étendue de la collection dans la possibilité de cerner la variabilité au sein de l'espèce. La variabilité génétique observée dans cette étude constitue un atout important pouvant être exploitée dans les programmes de sélection et la proposition de Core collection de *S. rotundifolius* au Burkina Faso.

### CHAPITRE III : VALIDATION DE MARQUEURS MICROSATELLITES ET ETUDE DE LA DIVERSITE GENETIQUE MOLECULAIRE DE *SOLENOSTEMON ROTUNDIFOLIUS* (POIR.) J. K. MORTON DU BURKINA FASO ET DU GHANA

#### Introduction

La gestion durable des ressources génétiques d'une espèce nécessite la connaissance de sa diversité génétique. En effet, la connaissance de la diversité génétique est primordiale pour définir les objectifs, les méthodes et les priorités dans les programmes d'amélioration et de conservation (STOCHWELL et *al.*, 2003). Selon KREMER (1998), une description exhaustive de la diversité génétique d'une espèce permet une gestion efficace de ses ressources génétiques. En plus des marqueurs morphologiques qui permettent d'évaluer la variabilité phénotypique, les marqueurs moléculaires sont largement utilisés dans les études de diversité génétique (BUDAK et *al.*, 2003 ; QURESHI et *al.*, 2016; SARWAT et *al.*, 2018 ; SALEH et *al.*, 2018 et SARWAT et *al.*, 2019). Les marqueurs moléculaires offrent, en effet, l'opportunité de contourner les insuffisances liées aux observations morphologiques en identifiant des variations directement à partir de l'ADN (MINGEOT et WATILLON, 2005 ; MINN et *al.*, 2016 ; THIA et *al.*, 2016 ; ARCA et *al.*, 2020 et ARCA et *al.*, 2021). L'analyse de la diversité génétique des accessions à travers des techniques moléculaires, permettrait de comprendre les différences et les similitudes qui existent entre elles. Elle permettrait également le choix le plus adéquat des accessions génétiquement éloignées et complémentaires des programmes d'amélioration variétale .

Comme dans le cas de la plupart des plantes négligées, la diversité génétique de *S. rotundifolius* révélée par des marqueurs moléculaires a été peu étudiée. NANEMA et *al.* (2010) ont testé la proximité de trois morphotypes de *S. rotundifolius* cultivés au Burkina Faso sur la base de marqueurs microsatellites chloroplastiques universelles (NTCP et CCMP). Une étude sur la diversité génétique d'une collection de *S. rotundifolius* du Ghana a été conduite par HUA et *al.* (2018) sur la base de marqueurs microsatellites. L'ensemble de ces travaux a permis d'apprécier la diversité génétique de *S. rotundifolius* sur la base de quelques accessions issues des germoplasmes de chaque pays. Au regard du potentiel d'adaptation de l'espèce à des conditions pédoclimatiques variables de sa zone de culture (NANEMA et *al.*, 2009 et SUGRI et *al.*, 2013), l'étude de la diversité génétique d'une collection plus large couvrant les conditions variables de sa zone de culture pourraient permettre de mieux cerner le niveau et la structuration de la diversité génétique de *S. rotundifolius*.

La présente étude vise à évaluer le niveau et la structuration de la diversité génétique de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana à l'aide de marqueurs microsatellites.

### **3.1. Matériel végétal**

#### **3.1.1. Provenance des accessions**

L'étude de la diversité génétique a porté sur 267 accessions de *S. rotundifolius* dont 98 proviennent du Burkina Faso et 169 du Ghana (annexe II). Les 98 accessions du Burkina Faso proviennent des provinces du Bazèga, du Boulkiemdé, du Gourma, du Kadiogo, du Kourwéogo, du Nahouri, du Nounbiel, du Passoré, du Sanmatenga, du Sissili et du Zoundwéogo couvrant les trois zones climatiques du Burkina Faso avec 5 accessions de la zone sahélienne (<600mm), 75 accessions de la zone soudano-sahélienne (600mm- 900mm) et 18 accessions de la zone soudanienne(>900mm).

Les 169 accessions du Ghana proviennent de deux régions dont 133 accessions de la région Upper East et 36 accessions de la région de Upper West couvrant deux zones agro écologiques dont Sudan Savannah (900 mm- 1000 mm) et Guinea Savannah (1100 mm-1200 mm). Les accessions du Ghana ont été collectées dans 9 districts dont Kassena Nankana West, Sissala, Wa, Nabdam, Bolgatanga municipal, Bongo, Builsa Nord, Nadowli-kaleo et Lawra municipal au Nord du pays.

Les accessions du Burkina Faso proviennent de la banque de gènes du Laboratoire Biosciences de l'Université Joseph KI-ZERBO. Celles du Ghana ont été fournies par la banque de gènes du *Council for Scientific and Industrial Research/Savanna Agricultural Research Institute* (CSIR-SARI) dans le cadre d'une collaboration de recherche sur *S. rotundifolius*.

#### **3.1.2. Mise en culture et entretien des plants**

Les accessions ont été mises en culture dans le jardin expérimental de l'Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre de l'Université Joseph KI-ZERBO, qui a pour coordonnées géographiques 12°21'56" Nord et 1°32'01" Ouest. Pour ce faire, des pots de culture remplis de terreau ont été préparés pour chaque accession le 27 Juillet 2020. Le repiquage des semenceaux dans les pots a été fait le 28 Juillet 2020. Les tubercules ont été individuellement mis en terre dans chaque pot de sorte que le bourgeon apical affleure légèrement. Le dispositif ainsi mis en place a été quotidiennement arrosé en évitant le dessèchement ou l'engorgement des pots. La croissance des plantules a été suivie jusqu'à la formation des premières feuilles des plantules.

### **3.1.3. Prélèvement du matériel végétal**

Le matériel végétal pour l'extraction d'ADN a été prélevé 37 jours après le repiquage des semenceaux. Cinq feuilles de chaque accession ont été prélevées et séchées à l'aide d'un séchoir à masse de courant d'air de marque VISMARA. Le matériel végétal ainsi récolté et séché a été conservé dans des enveloppes avec du silicagel avant l'extraction d'ADN.

### **3.2. Marqueurs moléculaires utilisés**

Cinquante (50) amorces microsatellites générées à la suite d'un séquençage partiel du génome de *S. rotundifolius* réalisé en collaboration avec l'Unité Mixte de Recherche Diversité Adaptation Développement des plantes (U.M.R.-D.I.A.D.E.) de l'Institut de Recherche pour le Développement (I.R.D.) Montpellier en France ont été testées. Elles ont été retenues parmi 2147 sur la base de deux critères que sont : la diversité des motifs microsatellites (nombre et composition) et la taille des séquences. Pour l'ensemble des 50 amorces microsatellites retenues. La taille du produit PCR attendue varie entre 91 et 266 pb. Les températures d'hybridation des amorces retenues varient entre 57 et 62 °C (tableau XIII).

**Tableau XIII:** Caractéristiques des cinquante (50) amorces SSR de *S. rotundifolius* testées

Noms	Motifs	Nombre de rép.	Taille du produit PCR (pb)	Amorce F	Amorce R	T amorce F	T amorce R
SSRSR01	AT	18	140	TCAGCAAGCCTACTATGCCG	TCATCATAGTGAGTTCTTTCCATAAGC	59	59
SSRSR02	AAT	17	186	CCGGTACATAGGGTCCCTGA	TTGTCACAGTCCTCACCTGC	60	59
SSRSR03	AT	21	98	TCAAATTAGTCCAAGAAGATCAAAGAC	AAGCACAACATCAACCTTCTAAAT	57	57
SSRSR04	AG	10	166	TTAAGCAGTCCATGGCGTCG	GTGATGTGGGCCTAGGCTAC	60	59
SSRSR05	AC	11	114	GTGAGGCCGGGTGGATTC	AGCAATCGGAGAAGACACGT	60	59
SSRSR06	AAT	20	142	CTTTCTATCCAAATATCCTAAGGCTC	CGAGACAATCTACTCGCAAACA	57	58
SSRSR07	AG	16	157	TCCTCCATTTCTGACAATTTAGCA	GCGTGCCAGAGATGAGAGAG	58	60
SSRSR08	AG	21	185	GAGCTGGGCAAAGTCAGTGA	TGCTTTCCACAATATAGAGGCCT	60	59
SSRSR09	AT	23	193	TGACTCGTTGAAATTGGCTGT	TGGCTATTTAGATGTGCAAACGT	58	58
SSRSR10	AAT	21	110	GAGACGGTCTCATATGAGTGTT	TACTCCATGTGCACCAAACA	57	57
SSRSR11	AAT	23	209	TCTAGGTGCCATCTGTAAACAA	TTGGTTCCAATCAGGTGGCT	57	59
SSRSR12	AAG	10	212	AGAGGGCACACGTTCTTCAA	CGGGACAGCCAAGGTCTC	59	59
SSRSR13	ATC	10	203	ACTCGTTGGTTACAAATCCCA	TGAAGCTATGGGACTACGCG	57	59
SSRSR14	AAGCTG	5	107	TCAGGAGACTTGGGTGGAAT	TGGAGGCAGTGATTTGTATTGAC	57	59
SSRSR15	AATCT	6	164	AACTCACCGATCTTCTGCCC	TCTGCAACAAGCTTGGCATG	59	59
SSRSR16	AAG	12	156	TGCAGGAACGTGGAAAGAGA	CAACGTCGCACTTCACACTC	59	59
SSRSR17	AAAT	5	251	TCATGCCTCCACCAACATGA	GGCATGATGATTCAATCACCT	59	58
SSRSR18	AGC	7	124	AGAGATTTCTCATCTTGATTAGGGA	ACCAAGTTTCACAGCTGCAG	57	58
SSRSR19	AAG	13	240	TGGTCCATATTATTTCCATAATTCAGC	AAATACGTTGTGGCTTAATTTCAATT	57	57
SSRSR20	AATAT	5	139	TCGCTGGCGATGAAGAATGA	GTAGGGCTGATGCTACGGC	59	60

Noms	Motifs	Nombre de rép.	Taille du produit PCR (pb)	Amorce F	Amorce R	T amorce F	T amorce R
SSRSR21	AGG	5	205	GGTCCCGGTTACACCAACA	TCGACATCACCTGTGCTCTTC	60	60
SSRSR22	AG	23	266	AAGTGGTGGACAGAGGCAGG	ACTCGTAGCCTGCAACAACA	61	59
SSRSR23	ACT	6	162	TGGAGGCGAAGATGTCAAGG	TGGCCGCCTTTGATTAACC	59	59
SSRSR24	ACTG	5	152	GGCAGAGCCGACTAACAGG	AAATCTTGCTGCTAAATCTTCTACTC	60	59
SSRSR25	AAAG	5	186	TTCCCTCAACCGATCAACGC	CTGATGCACATACGAACGCG	60	60
SSRSR26	CCG	7	131	AAGGTTGCTTGGTGAGAGGG	TCGCGAAAGGCAGGAGTAAA	59	59
SSRSR27	AATG	6	189	TGCTGCGATACTTGAGCTGA	TCATCGATATGCATAACCATCCCT	59	59
SSRSR28	AAGG	5	219	ACTGTGCTTTCGACCTAGGA	CCTCCCTTGGACGCTTCTTG	58	60
SSRSR29	AGATAT	6	118	ATGGATCAAAGCGAGCAACT	TCCAATTATGCCCTCCGGTC	57	59
SSRSR30	AT	31	140	TTTCACTTTATAGGATTCCTGGAATT	TACATCTCCCACAAATTTCTAAATTCG	57	58
SSRSR31	ACC	7	177	GCTGCCTGCTTAGGTATTACA	ACCTTGTAAGCAGCTTGTCT	57	57
SSRSR32	AGG	6	246	ATGCTGGCCGTTTCTGGG	AAGGCTTGCATCTCTAAAGGT	60	57
SSRSR33	CG	5	140	GGTCGTCTGGGTGTGAGC	CATATTGTGCAAAGATGAGAGCA	60	57
SSRSR34	AAATC	6	182	GCACGAATGCCCATATCAAATT	GGCGCAGTTGCAAGTGTAATA	58	59
SSRSR35	AT	5	114	TTGGGTATGATGTACAGTACAAATGA	CCGCCGCTGCTGATCTATTA	58	60
SSRSR36	ACAT	5	141	GCTTTCTCATTAGCAGCCACC	AGCTATGAATGAGATCAATGCAGG	59	58
SSRSR37	AC	9	139	AGCATCTAGAAAGGTATTCTCATGT	AAATGCATTTCTAGTTAGCATGTT	57	57
SSRSR38	AGAGGG	5	193	TGGGAGCTTGATCTACGAAGC	TGTGTTGCTCAACCGTTCT	59	60
SSRSR39	AT	33	169	TGCTCAAACCTCAGCTGATCACA	AGACATAATCAAGCAGCGTTCT	60	58
SSRSR40	AC	7	190	TGATTTGATAATTGAGGAGGGAGGC	ATGTGGTATGTGTGTATGCAATTCC	60	59
SSRSR41	AATAT	6	189	GGTTAGTCTGATGTTCCAGGT	GTTCTCACTGGATCCACCC	57	57

Noms	Motifs	Nombre de rép.	Taille du produit PCR (pb)	Amorce F	Amorce R	T amorce F	T amorce R
SSRSR42	ACG	6	91	AATACCTCCATGTGTGGCCG	AGTCGCCATCGCTCACCTTC	60	62
SSRSR43	ACG	6	105	AATCAAATAATCCTTCTATGGCGAAA	CTCACCTTCGCCGTCAACA	57	60
SSRSR44	CG	6	128	TACATCAGATGCGGCTGTGG	GTCCTGTCGCACGAGAACAA	60	60
SSRSR45	ACAGCC	6	105	CGAATCGTGGTGAGGAGGG	TCTTCGTGCCGACAACAAGA	59	59
SSRSR46	AG	18	134	AAGCAATATCTCCACCCTTCAT	TACGCTACTCTGATCCGGGA	57	59
SSRSR47	AAT	14	242	CGATGGAGTAACTTACAATCCCA	CAGGTCATCCTTATGAGTGTTCGT	58	59
SSRSR48	AT	16	146	CTGTGTAACCATATAATGCAACCC	GGGACTGATAAACTGACAGACCA	57	59
SSRSR49	AG	14	106	ACACAAGTGAGTGATCTCCCTC	GCCACAACCACCACATTTCC	59	59
SSRSR50	AAT	16	168	TGTCACAATTCGCACGGGA	TTTGACAGAGTTCAAGTAAGCAAA	59	57

**Légende** : Rép : Répétition ; T : Température d'hybridation ; Motif répété : G : Guanine, C : Cytosine, A : Adénine ; T : Thymine

### 3.3. Méthodes

#### 3.3.1. Méthode d'extraction, quantification et purification de l'ADN génomique

L'extraction de l'ADN génomique a été effectuée au sein de l'unité de biologie moléculaire de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) de Niamey au Niger. Le protocole d'extraction utilisé à cet effet a été celui dit « méthode CTAB (Cétyltriméthyl Ammonium Bromure) » de Doyle et Doyle (DOYLE et DOYLE, 1990). Ainsi, un échantillon de 0,2 g de feuilles par accession a été finement broyé dans 750 µl de tampon d'extraction composé de 2% CTAB, 100 ml de sel (NaCl -Tris-EDTA), 2% PVP (PolyVinylPyrolidone) à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Le broyat de chaque accession a été recueilli dans un tube eppendorf de 2 ml. Les tubes ont été ensuite incubés à 65 °C pendant 2 h 30 mn. Ensuite le contenu des tubes a été homogénéisé par retournement des tubes chaque 15 mn.

Après l'incubation, les tubes ont été refroidis pendant quelques minutes à température ambiante. Un volume de 750 µl du mélange chloroforme et alcool isoamylique (CIAA) dans les proportions (24/1) a été ajouté au contenu de chaque tube. Les tubes ont été par la suite centrifugés à 10 000 RPM pendant 15 mn à 4 °C. Le surnageant a été récupéré dans de nouveaux tubes eppendorf de 1,5 ml et 2 µl d'ARNase ont été ajoutés à chaque tube. Après ajout de l'ARNase, les tubes ont été incubés pendant 30 mn à 37 °C. Un volume de 300 µl du mélange chloroforme et alcool isoamylique (CIAA) dans les proportions (24/1) a été ajouté au contenu de chaque tube. Les tubes ont été de nouveau centrifugés à 10 000 RPM pendant 15 mn à 4 °C. Le surnageant a été récupéré dans de nouveaux tubes eppendorf de 1,5 ml et 500 µl d'isopropanol frais (4 °C) ont été ajoutés dans chaque tube afin de précipiter l'ADN. Les tubes ont été ensuite agités par retournement jusqu'à l'observation de la pelote d'ADN. Ils ont à nouveau été centrifugés à 10 000 RPM pendant 20 mn à 4 °C. Puis le surnageant a été éliminé et la pelote d'ADN a été rincée avec de l'alcool (70 °). L'ADN a été ensuite repris dans 60 µl du tampon Tris-EDTA (TE) et conservé dans un congélateur à -20 °C.

Pour chaque tube d'ADN, l'absorbance à 260 nm et à 280 nm a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre. La pureté de l'ADN a été déterminée grâce au rapport =  $\frac{\text{absorbance à 260}}{\text{absorbance à 280}}$

Un rapport situé entre 1,8 et 2 signifie que l'ADN est de bonne qualité.

#### 3.3.2. Amplification PCR pour le test de validation des marqueurs SSR

Un test de validation a été effectué afin de retenir les amorces pour lesquels les résultats sont concluants. Il a consisté à réaliser une amplification PCR de toutes les 50 amorces sur 24 accessions aléatoirement choisies afin de vérifier la présence ou non d'amplification PCR et

d'apprécier la netteté des bandes obtenues. Par la suite, l'ensemble des accessions a fait l'objet d'amplification PCR par marqueur.

Pour chaque réaction PCR un mélange réactionnel de 20 µl a été préparé dans un tube eppendorf de 0,2 ml. Le mélange réactionnel est constitué de 5µl (25 ng) d'ADN, 4µl de mixte PCR, 1 µl de chaque amorce (F et R) et 9 µl d'eau pure. Après homogénéisation, le mélange réactionnel a été ensuite placé dans un thermocycleur pour l'amplification PCR. Cette amplification a été réalisée suivant un programme composé d'une phase de dénaturation initiale : 94 °C pendant 4 mn, suivie d'une série de 36 cycles. Chaque cycle est composé d'une phase de dénaturation à 94 °C pendant 30 s, une hybridation à 55 °C pendant 1 mn et une synthèse à 72 °C pendant 1 mn. A la fin des 36 cycles PCR, une synthèse finale à 72 °C pendant 5 mn a été suivie d'un refroidissement à 4 °C jusqu'au dépôt sur le gel d'agarose à la concentration de 2 %.

### **3.3.3. Migration électro-phorétique et lecture des bandes pour la validation des marqueurs SSR**

Les produits PCR ont été soumis à une migration électro-phorétique sur gel d'agarose à 2 % préparé avec une solution de TBE 1 X. Le dépôt des produits d'amplification a été réalisé en présence d'un marqueur de poids moléculaire de taille variant entre 50 et 500 pb. La migration a été faite à 100 V avec un ampérage de 50 A pendant 2 h 30 dans un tampon Tris Borate EDTA 0,5x (TBE).

A la fin de la migration, les gels ont été déposés dans une solution contenant du Bromure d'Ethidium 5 % (BET) comme révélateur fluorescent pendant 20 mn. Ils ont été ensuite rincés à l'eau distillée pendant 5 mn avant d'être lus sous lumière ultra violette d'un trans-illuminateur de modèle UVDI-01-254 surmonté d'un appareil photo de 10 méga pixels. Les bandes ont été identifiées sur la base de leur position sur le gel.

### **3.3.4. Amplification PCR et électrophorèse capillaire sur séquenceur**

A l'issue de l'étape de validation des marqueurs, douze amorces ayant donné des résultats satisfaisants ont été utilisées pour le génotypage de l'ensemble des accessions (tableau XIV). Il s'agit de SSRSR03, SSRSR05, SSRSR07 ; SSRSR17, SSRSR20, SSRSR24, SSRSR27, SSRSR31, SSRSR34, SSRSR38, SSRSR46, et SSRSR47. Ces amorces ont été réparties en deux multiplex, composés chacun de 6 amorces Au total, quatre types de fluorochromes ont été utilisés pour l'émission de la lumière de fluorescence dont NED (jaune), FAM (bleu), VIC (vert) et PET (rouge).

**Tableau XIV:** Caractéristiques des 12 amorces microsatellites utilisées pour le génotypage des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana

Multiplex	Amorces	Motifs	Nb de rep.	Taille du produit PCR (pb)	TM amorce F	Couleurs du fluorochrome
1	SSRSR03	AT	21	98	57	Jaune
	SSRSR05	AC	11	114	60	Vert
	SSRSR07	AG	16	157	58	Rouge
	SSRSR17	AAAT	5	251	59	Bleu
	SSRSR34	AAATC	6	182	58	Jaune
	SSRSR38	AGAGGG	5	193	59	Vert
2	SSRSR20	AATAT	5	139	59	Jaune
	SSRSR24	ACTG	5	152	60	Vert
	SSRSR27	AATG	6	189	59	Rouge
	SSRSR31	ACC	7	177	57	Bleu
	SSRSR46	AG	18	134	57	Rouge
	SSRSR47	AAT	14	242	58	Bleu

**Légende** : Nb : Nombre ; rep : Répétition

Pour chaque réaction PCR un mélange réactionnel de 10  $\mu\text{l}$  a été préparé soit 2  $\mu\text{l}$  d'ADN (5 ng.  $\mu\text{l}^{-1}$ ) d'ADN, 5  $\mu\text{l}$  de mixte PCR, 0,2  $\mu\text{l}$  de chaque amorce, 1  $\mu\text{l}$  de la solution Q-EDTA utilisée pour l'élimination de radicaux libres et 0,8  $\mu\text{l}$  d'eau pure. Le mixte PCR est composé de tampon PCR 1X (10  $\mu\text{M}$  de Tris, 50  $\mu\text{M}$  de KCl et 0,01% de glycérol), de  $\text{MgCl}_2$  (1 mM), de dNTP (200  $\mu\text{M}$ ), de la séquence M13 marquée (0,1 $\mu\text{M}$ ) et de la taq (0,1 U/ $\mu\text{l}$ ). La concentration des amorces dans le mixte PCR a été de 0,1  $\mu\text{M}$  chacune. Après homogénéisation, le mélange réactionnel a été ensuite placé dans un thermocycleur pour l'amplification PCR. L'amplification a été réalisée suivant un programme composé d'une phase de dénaturation initiale : 94 °C pendant 4 mn, suivie d'une série de 36 cycles. Chaque cycle est constitué d'une phase de dénaturation à 94 °C pendant 1 mn, une hybridation à 55 °C pendant 30 s et d'une extension à 72 °C pendant 1 mn. À la fin des 36 cycles PCR, une extension finale a été faite à 72 °C pendant 5 mn.

Un mélange des produits PCR d'un même multiplex (poolage) a été réalisé. Les volumes mélangés ont varié en fonction de la couleur utilisée : 3,5  $\mu\text{L}$  des produits PCR contenant la couleur rouge + 2,5  $\mu\text{l}$  de couleur jaune + 2  $\mu\text{l}$  de couleur bleu + 2  $\mu\text{l}$  de couleur verte. Ce

volume a été complété par la suite à 20 µL avec de l'eau ultra pure. La plaque de dépôt a été préparée à partir des produits PCR poolés, du marqueur de taille (LIZ 600) et d'eau milliQ. Les produits PCR ainsi dilués ont été séparés par électrophorèse capillaire sur séquenceur ABI 3500xL (Applied Biosystems) à l'IRD Montpellier. Les données de génotypage issues du séquenceur ont été ensuite lues avec le logiciel d'analyse Genious v7.1.3, qui a permis de déterminer la taille des produits PCR.

### 3.4. Analyse des données moléculaires

#### 3.4.1. Paramètres de diversité génétique intrapopulation de *S. rotundifolius*

Pour décrire la diversité génétique intra-population, des paramètres génétiques ont été calculés avec le logiciel GenAIEx version 6 501. Il s'agit de :

- taux de polymorphisme (**P %**), qui est le nombre de locus polymorphes par rapport au nombre de locus étudiés ;
- le nombre moyen d'allèles par locus (**N**) est la somme des allèles trouvés par locus divisé par le nombre total de loci. Ce paramètre traduit la richesse en allèles d'une population ;
- le nombre d'allèles efficaces (**Ne**) est l'inverse de la probabilité que, pour un locus donné, deux allèles pris de façon aléatoire soient identiques.  $Ne = 1 / (1-h) = 1 / \sum p_i^2$  où  $p_i$  = la fréquence de l'allèle  $i$  du locus considéré ;
- la variation de la taille des allèles ( $t_{max}-t_{min}$ ) où  $t_{max}$ =la taille maximale d'allèle du marqueur et  $t_{min}$ =la taille minimale d'allèle du marqueur ;
- l'indice de diversité de Shannon (**I**) qui a été calculé selon la formule de MARTYNOV et al. (2003) :  $I = -\sum p_i \ln(p_i)$ , où  $p_i$  est la fréquence de l'allèle  $i$  ;
- l'hétérozygotie observée (**Ho**) a été également déterminée par locus. Il s'agit de la proportion des individus hétérozygotes observés à un locus dans l'ensemble de la population. La somme des  $H_o$  par locus sur le nombre total de loci correspond à l'hétérozygotie moyenne observée par locus ;
- le contenu en information de polymorphisme (**PIC**) qui donne une estimation du pouvoir discriminatoire d'un locus tient compte du nombre d'allèles qui s'est exprimé mais également de la fréquence relative de chaque allèle .Il est calculé selon la formule :  $PIC = 1 - \sum f_i^2$ , avec  $f_i$ , la fréquence de chaque allèle. Le locus est très informatif si  $PIC \geq 0,5$ , moyennement informatif si  $0,5 \geq PIC \geq 0,25$  et peu informatif si  $PIC \leq 0,25$ . Ainsi, les loci avec de nombreux allèles et un PIC proche de 1 offrent un maximum d'information (SMITH et al., 2000).
- la diversité génétique ou hétérozygotie non biaisée espérée à l'équilibre de Hardy Weinberg (**He**) qui exprime la probabilité que deux allèles d'un même locus tiré au hasard dans une

population donnée soient différents. :  $H_e = \frac{n}{n-1} (1 - \sum p_i^2)$ , où  $p_i$  représente la fréquence de l'allèle  $i$  au locus considéré et  $n$ , le nombre d'accessions. La moyenne d' $H_e$  pour tous les locus est un estimateur de la variabilité génétique de la population ;

- indice de fixation ( $F_{is}$ ), il mesure l'écart entre le taux d'hétérozygotie observée et d'hétérozygotie attendue d'une population d'individus trouvée à l'écart de l'équilibre de Hardy Weinberg (GUO et THOMPSON, 1992). Le paramètre  $F_{IS}$  est calculé selon la formule,  $F_{IS} = (H_e - H_o) / H_e = 1 - (H_o / H_e)$ , avec  $H_o$ , hétérozygotie observée et  $H_e$  hétérozygotie attendue.

### 3.4.2. Paramètres de diversité inter populations

La diversité inter populations est la différence constatée entre les sous-populations d'une collection en fonction des différents facteurs. Pour cette étude, les facteurs pays, zones climatiques et groupes génétiques ont été considérés afin de déterminer la structuration de la population. L'analyse de la variance moléculaire (AMOVA) qui est une procédure statistique qui permet de partitionner de façon hiérarchique la variation génétique entre populations et groupes de populations (EXCOFFIER et *al.*, 1992) et l'estimation des paramètres de différenciation inter populations tel que le degré de différenciation génétique ( $F_{st}$ ) et la distance minimale de Nei entre paires de groupes génétiques ont été réalisées grâce au logiciel GenAlEx version 6.5. Les  $F_{st}$  correspondent à l'indice de différenciation qui mesure la diminution de l'hétérozygotie d'une sous population par rapport à la population totale, provoquée par la dérive génétique. Cet indice de diversité a été testé après 999 permutations. Sa formule est :  $F_{st} = (H_T - H_s) / H_T$ , avec  $H_T$ , hétérozygotie théorique d'un individu dans la population totale en panmixie et  $H_s$  hétérozygotie théorique d'un individu dans sa sous-population panmictique. Il varie de 0 à 1. Si les populations sont identiques  $F_{st} = 0,00$   $< F_{st} < 0,05$  signifie une différenciation faible,  $0,05 < F_{st} < 0,15$  signifie une différenciation modérée et  $0,15 < F_{st} < 0,25$  signifie une différenciation importante et au-delà,  $F_{st}$  sera très important (BAUTISTA-SALAS, 2009).

### 3.4.3. Structuration et organisation de la diversité génétique

La structuration génétique de la collection a été réalisée sur la base du modèle Bayésien à l'aide du logiciel STRUCTURE 2.3.4. (PRITCHARD et *al.*, 2000). Le programme STRUCTURE utilise les fréquences alléliques et la relation éventuelle de ces fréquences alléliques entre les populations. Un coefficient  $Q$  a été attribué à chaque individu et correspond au coefficient d'appartenance à un groupe. Toutes les analyses ont été effectuées avec 100 permutations

indépendantes par valeur de K (nombre de groupes) allant de 1 à 10. Le programme a été exécuté avec 150 000 itérations de « burn-in », étape suivie de 200 000 répétitions de Markov Chain Monte-Carlo (MCMC). Les résultats de STRUCTURE ont été présentés sous forme d'histogramme où chaque barre correspond à un individu et le coefficient d'appartenance (Q) à chaque groupe est donné en ordonnée.

### **3.5. Résultats et discussion**

#### **3.5.1. Diversité génétique de la collection de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana à l'aide des SSR**

Sur les 50 marqueurs microsatellites SSRs (Simple Sequence Repeat) testés avec les 24 accessions, 12 ont donné des résultats satisfaisants et 11 ont révélé du polymorphisme au sein de la collection de *S. rotundifolius*, soit un taux de marqueurs polymorphes (P) de 92 %. Il s'agit des microsatellites de motifs di, tri, tétra, penta ou hexanucléotidiques dont le nombre de répétitions varie entre 5 et 21. Ces marqueurs microsatellites polymorphes ont permis de détecter 57 allèles avec un nombre moyen de 5,18 allèles par marqueur. Le nombre d'allèles a varié de 2 (pour les marqueurs SSRSR24 et SSRSR46) à 12 (pour le marqueur SSRSR34) et la variation de la taille des allèles (tmax-tmin) de 3 (pour les marqueurs SSRSR24) à 45 (pour le marqueur SSRSR34) (tableau XV).

**Tableau XV:** Nombre et taille des allèles obtenus avec les marqueurs SSR de *S. rotundifolius*

Amorces	Motifs et rep	Nb d'allèles	Différents niveaux d'allèles	tmax-tmin
SSRSR3	(AT)21	8	94 ;96;100;102;104, 105, 106,107	13
SSRSR5	(AC)11	6	107;109;120;125;130,133	26
SSRSR7	(AG)16	4	134;138;146;162	28
SSRSR17	(AAAT)5	2	249;265	16
SSRSR20	(AATAT)5	3	190;194;202	12
SSRSR24	(ACTG)5	2	129;132	3
SSRSR27	(AATG)6	3	184 ; 187;192	8
SSRSR31	(ACC)7	3	178;180;192	14
SSRSR34	(AAATC)6	12	169;173;180;184;190;194;200;203;205;208,210;214	45
SSRSR38	(AGAGGG)5	6	193;204;206;208;222;224	31
SSRSR46	(AG)18	2	121;135	14
SSRSR47	(AAT)14	8	209;214;215;218;235;239;242;247;	35

**Légende :** Nb : Nombre ; rep : Répétition ; pb : paire de bases ; tmax : taille maximale d'allèles et t<sub>min</sub> : taille minimale d'allèle

La proportion des allèles rares (fréquence < 5%) a été de 42,10 % ; les marqueurs SSRSR47 et SSRSR34 ayant enregistré le plus grand nombre d'allèles rares (respectivement 6 et 5) (tableau XVI).

**Tableau XVI:** Fréquences alléliques des marqueurs SSR dans la collection du *S. rotundifolius*

<b>SSRSR31</b>		<b>SSRSR24</b>		<b>SSRSR46</b>		<b>SSRSR17</b>	
Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence
SSRSR31-178	0,502	SSRSR24-129	0,579	SSRSR46-121	0,984	SSRSR17-249	0,500
SSRSR31-180	0,430	SSRSR24-132	0,421	SSRSR46-135	0,016	SSRSR17-265	0,500
SSRSR31-192	0,068						
<b>SSRSR38</b>		<b>SSRSR7</b>		<b>SSRSR20</b>		<b>SSRSR27</b>	
Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence
SSRSR38-193	0,579	SSRSR7-134	0,498	SSRSR20-190	0,5	SSRSR27-184	0,002
SSRSR38-204	0,006	SSRSR7-138	0,498	SSRSR20-194	0,405	SSRSR27-187	0,504
SSRSR38-206	0,091	SSRSR7-146	0,002	SSRSR20-202	0,095	SSRSR27-192	0,494
SSRSR38-208	0,010	SSRSR7-162	0,002				
SSRSR38-222	0,310						
SSRSR38-224	0,004						
<b>SSRSR34</b>		<b>SSRSR47</b>		<b>SSRSR3</b>		<b>SSRSR5</b>	
Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence	Allèles	Fréquence
SSRSR34-169	0,008	SSRSR47-209	0,002	SSRSR3-94	0,160	SSRSR5-107	0,004
SSRSR34-173	0,120	SSRSR47-214	0,040	SSRSR3-96	0,344	SSRSR5-109	0,466
SSRSR34-180	0,071	SSRSR47-215	0,006	SSRSR3-100	0,142	SSRSR5-120	0,091
SSRSR34-184	0,175	SSRSR47-218	0,043	SSRSR3-102	0,273	SSRSR5-125	0,008
SSRSR34-190	0,173	SSRSR47-235	0,291	SSRSR3-104	0,073	SSRSR5-130	0,421
SSRSR34-194	0,250	SSRSR47-239	0,564	SSRSR3-105	0,002	SSRSR5-133	0,010
SSRSR34-200	0,112	SSRSR47-242	0,047	SSRSR3-106	0,004		
SSRSR34-203	0,057	SSRSR47-247	0,006	SSRSR3-107	0,002		
SSRSR34-205	0,024						
SSRSR34-208	0,006						
SSRSR34-210	0,002						
SSRSR34-214	0,002						

Le nombre d'allèles efficaces ( $N_e$ ), a varié entre 1,032 (SSRSR46) et 4,101 (SSRSR3) avec une moyenne de 2,656 alors que l'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) a varié entre 0,031 pour le marqueur SSRSR46 et 0,758 pour le marqueur SSRSR3 avec une moyenne de 0,547 (Tableau XVII). L'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) a varié entre 0,031 pour le marqueur SSRSR46 et 0,996 pour le marqueur SSRSR31 avec une moyenne de 0,845. L'indice de diversité de Shannon ( $I$ ) a varié de 0,087 pour le marqueur SSRSR46 à 1,988 pour le marqueur SSRSR34. Le contenu en information de polymorphisme a varié de 0,31 pour le marqueur SSRSR46 à 0,726 pour les

marqueurs SSRSR3 avec une moyenne de 0,509. Indice de fixation (FIS) a été négative pour tous les marqueurs.

**Tableau XVII:** Paramètres de diversité génétique de la collection de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana

Amorces	N	Na	Ne	I	Ho	PIC	He	Fis
SSRSR3	8	2	4,101	1,530	0,984	0,726	0,758	-0,302
SSRSR5	6	2	2,480	1,044	0,957	0,517	0,598	-0,603
SSRSR7	4	2	2,016	0,719	0,992	0,384	0,505	-0,969
SSRSR20	3	2	2,364	0,936	0,988	0,507	0,578	-0,712
SSRSR24	2	2	1,951	0,680	0,833	0,377	0,488	-0,710
SSRSR27	3	2	2,008	0,707	0,983	0,381	0,503	-0,959
SSRSR31	3	2	2,264	0,891	0,996	0,518	0,559	-0,784
SSRSR34	12	2	6,283	1,988	0,965	0,821	0,843	-0,147
SSRSR38	6	2	2,273	0,995	0,842	0,530	0,561	-0,503
SSRSR46	2	2	1,032	0,087	0,031	0,312	0,031	-0,014
SSRSR47	8	2	2,447	1,167	0,719	0,531	0,593	-0,216
Moyenne	5,181	2	2,656	0,976	0,845	0,509	0,547	-0,538

**Légende** : N : nombre total d'allèles par marqueur, Na : nombre moyen d'allèles par locus, Ne : nombre d'allèles efficaces, He : hétérozygotie attendue, Ho : hétérozygotie observée, PIC : Polymorphism Information Content, I : indice de diversité de Shannon-, Fis : indice de fixation.

### 3.5.2. Diversité de *S. rotundifolius* en fonction de la provenance (pays)

De faibles variations ont été observées entre les accessions du Ghana et celles du Burkina Faso pour l'ensemble des paramètres génétiques (Tableau XVIII). En effet, pour les accessions du Ghana, le nombre moyen d'allèles efficaces a été de 2,673, l'indice de diversité de Shannon a été de 0,951, hétérozygotie observée a été de 0,859, l'hétérozygotie attendue a été de 0,544 et l'indice de fixation a été de -0,579. Pour les accessions du Burkina Faso, le nombre moyen d'allèles efficaces a été de 2,470, l'indice de diversité de Shannon a été de 0,931, hétérozygotie observée a été de 0,855, l'hétérozygotie attendue a été de 0,542 et l'indice de fixation a été de -0,581.

**Tableau XVIII:** Paramètres de diversité génétique de la collection de *S. rotundifolius* en fonction du pays de provenance

Pays	Nombre d'accessions	Na	Ne	I	Ho	He	Fis
Burkina Faso	98	2	2,470	0,931	0,855	0,542	-0,581
Ghana	169	2	2,673	0,951	0,859	0,544	-0,579

**Légende** : Na : nombre moyen d'allèles par locus, Ne : nombre efficace d'allèles, I : indice de diversité de Shannon, Ho : hétérozygotie observée, He : hétérozygotie attendue, Fis : indice de fixation

L'analyse de variance moléculaire (AMOVA) selon la méthode d'EXCOFFIER *et al.* (1992) a montré que le facteur « pays » n'intervient pas significativement dans l'expression de la variabilité moléculaire. La variance entre les deux collections des deux pays a été de 4% alors que 96% de la variance se justifie par la diversité au sein de la collection de chaque pays (tableau XIX).

**Tableau XIX:** Proportion de la variance moléculaire entre les accessions du Burkina Faso et du Ghana

Source	ddl	SS	MS	Est. Var.	D%
Variance entre pays	1	10,440	10,440	0,047	4
Variance dans les pays	265	1209,286	4,563	4,563	96
Total	266	1219,727		4,611	100

**Légende** : ddl : degré de liberté ; SS : somme des carrés ; MS : carré moyen ; Est. Var. : variance estimée ; D% : distribution de la variance totale ; ns=non significatif

L'analyse de la différenciation des accessions en fonction du pays d'origine a donné un Fst faible entre les deux pays. La distance minimale de Nei a été de 0,07 et l'indice de différenciation génétique (Fst), entre les accessions des deux pays a été de 0,04 (Tableau XX).

**Tableau XX:** Paramètres de différenciation génétique entre les accessions du Burkina Faso et du Ghana

Pays	Distance minimale de Nei		Indice de différenciation Fst	
	Burkina Faso	Ghana	Burkina Faso	Ghana
Burkina Faso	0		0	
Ghana	0,007	0	0,004ns	0

**Légende** : Ns : non significatif

### 3.5.3. Diversité de *S. rotundifolius* en fonction des zones climatiques du Burkina Faso et du Ghana

Les paramètres génétiques des sous populations de *S. rotundifolius* constituées sur la base des 5 zones climatiques des deux pays sont consignés dans le tableau XXI. Le nombre d'allèles efficaces et l'indice de diversité de Shannon ont varié respectivement de 2,131 à 3,159 et de 0,731 à 1,217 pour les zones sahélienne et soudanienne. L'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) varie de 0,531 à 0,686 pour les zones sahélienne et soudanienne, respectivement. Enfin, l'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) a varié de 0,735 à 0,850 pour les zones soudanienne et sahélienne. D'une manière générale, les paramètres de diversité sont plus importants au sein de la zone soudanienne tandis que la zone sahélienne à l'exception de l'hétérozygotie observée est celui qui possède les plus faibles valeurs.

**Tableau XXI:** Paramètres de diversité génétique de la collection de *Solenostemon rotundifolius* des zones climatiques du Burkina Faso et du Ghana

Zones climatiques	Nb d'accessions	Nb					
		Na	Ne	I	Ho	He	Fis
Sudan-savannah (1100-1200mm)	112	2	2,993	1,114	0,806	0,592	-0,326
Guinea –savannah (900-1000mm)	57	2	3,086	1,158	0,785	0,613	-0,231
Soudanienne (>900mm)	11	2	3,159	1,217	0,735	0,686	-0,119
Soudano-sahélienne (600-900mm)	82	2	2,661	1,049	0,821	0,575	-0,392
Sahélienne (<600mm)	5	2	2,131	0,731	0,850	0,531	-0,791

**Légende :** Na : nombre d'allèles par locus, Ne : nombre d'allèles efficace, He : hétérozygotie attendue, Ho : hétérozygotie observée, PIC : Polymorphism Information Content, I : indice de diversité de Shannon-, Fis : indice de fixation

L'analyse de variance moléculaire (AMOVA) selon la méthode d'EXCOFFIER et *al.* (1992) a montré que le facteur « zone climatique » intervient significativement dans l'expression de la variabilité moléculaire (22% de la variance totale) de la collection étudiée (tableau XXII). Le facteur accession intervient donc à 78% dans l'expression de la variabilité.

**Tableau XXII:** Proportion de la variance moléculaire entre les accessions en fonction du facteur des zones climatiques

Source	ddl	SS	MS	Est. Var.	D%
Variance entre zone climatique	4	66,145	22,536	0,21	22*
Variance dans les zones climatiques	262	1197,581	4,571	4,571	78
Total	266	1263,726		4,592	100

**Légende** : ddl : degré de liberté ; SS : somme des carrées ; MS : carrée moyen ; Est.Var.: variance estimée ; D% : distribution de la variance totale ; \*p= 0,0001

L'indice de différenciation (Fst) révèle une différence hautement significative entre les accessions en fonction des zones climatiques. Il a varié de 0,0013 entre la zone climatique guinea-savannah et la zone climatique sudan-savannah à 0,230 entre zone climatique sahélienne et la zone climatique guinea-savannah. Par conséquent, les accessions de la zone climatique sahélienne et de la zone climatique guinea-savannah sont éloignées génétiquement tandis que celles des zones climatiques guinea-savannah et sudan-savannah sont les plus proches (tableau XXIII).

**Tableau XXIII:** Paramètre de différenciation génétique entre les accessions par zone climatique

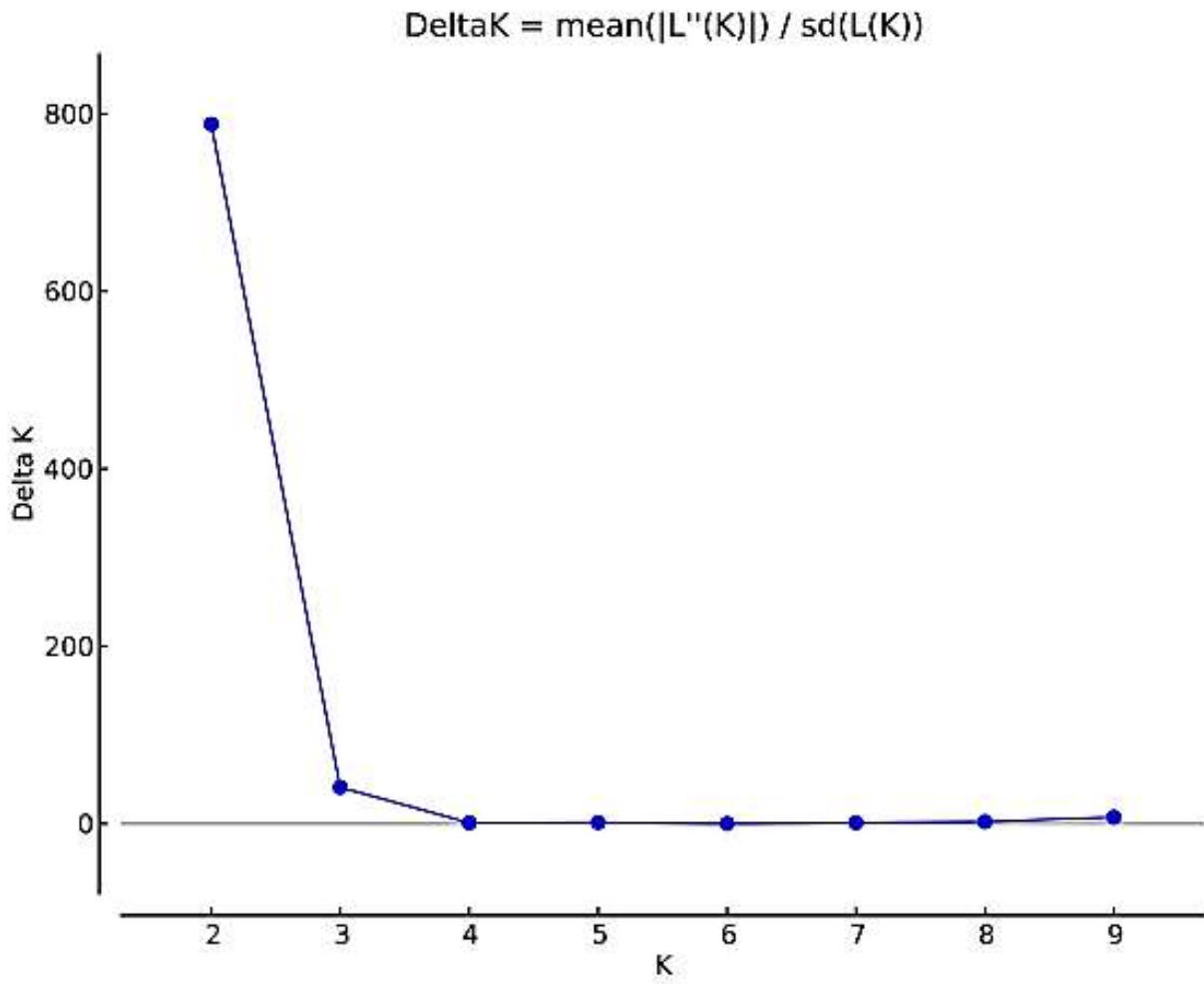
Zones climatiques	Indice de différenciation Fst				
	Sudan-savannah	Guinea - savannah	Soudanienne	Soudano-sahélienne	Sahélienne
Sudan-savannah (1100-1200mm)	0,0000				
Guinea -savannah (900-1000mm)	0,0013	0,0000			
Soudanienne (>900mm)	0,0073	0,0052	0,0000		
Soudano-sahélienne (600-900mm)	0,0691	0,059	0,045	0,0000	
Sahélienne (<600mm)	0,23	0,214	0,182	0,151	0,0000

### 3.5.4. Organisation de la diversité

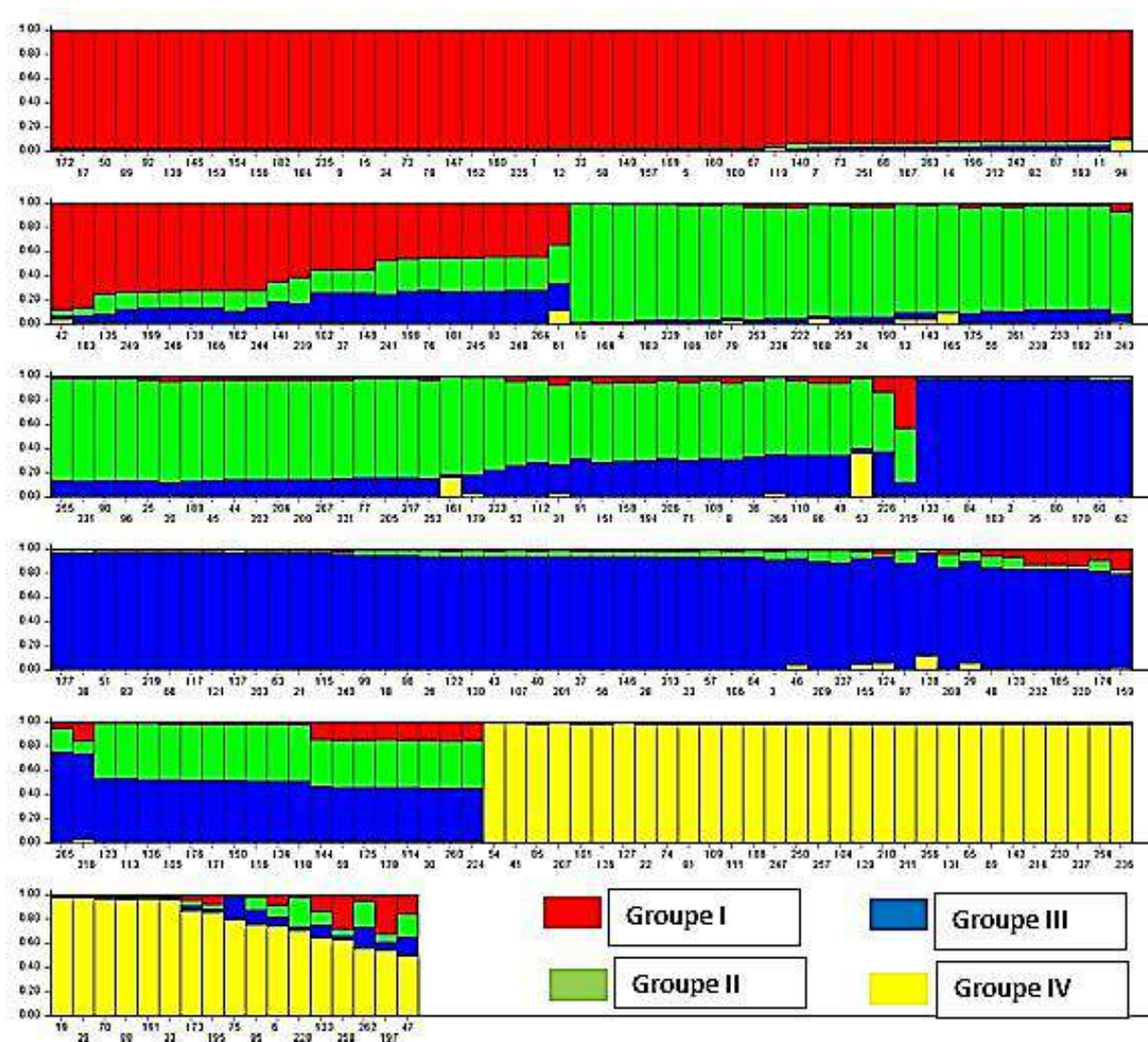
#### 3.5.4.1. Structuration de la diversité génétique de l'ensemble de la collection de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana

La figure 23 montre le profil de la variation de delta K. Les résultats statistiques adhoc Delta (K) calculés ont donné un meilleur K = 4 (figure 24). La structuration génétique des accessions établie avec les 11 marqueurs polymorphes ont donné une répartition des accessions en quatre groupes génétiques I, II, III et IV. Le nombre d'accessions de ces groupes a été respectivement de 74, 66, 80 et 47. Les accessions des deux pays (Burkina Faso et Ghana) ont été réparties dans les quatre groupes. Les accessions de la zone climatique sahélienne ont été tous dans le groupe

IV et le groupe IV n'est composé d'aucune accession de la zone climatique soudanienne (tableau XXIV).



**Figure 23:** profil de variation de delta (K)



**Figure 24:** Structure de la diversité génétique de 267 accessions de *S. rotundifolius* basées sur l'analyse bayésienne de 11 marqueurs SSR polymorphes à K=4  
Chaque barre individuelle représente une accession. Les barres de couleur se réfèrent à quatre groupes génétiques.

**Tableau XXIV :** Provenances des accessions de *S. rotundifolius* par groupe génétique

Groupes	Effectifs totaux	Pays		Zones climatiques				
		Burkina Faso	Ghana	sudan- savannah	guinea- savannah	Soudanienne	Soudano- sahélienne	Sahélienne
Groupe I	74	25	49	38	11	9	16	0
Groupe II	66	35	31	15	16	1	30	0
Groupe III	80	20	60	55	5	1	19	0
Groupe IV	47	18	29	4	25	0	17	5

### 3.5.4.2. Paramètres génétiques inter- groupes de *S. rotundifolius*

Les paramètres génétiques des 4 groupes génétiques obtenus à partir de l'analyse bayésienne réalisée sont consignés dans le tableau XXV. Le nombre d'allèles total et le nombre d'allèles efficaces ont variés respectivement de 4,833 à 5,333 et de 2,666 à 3,022 pour les groupes génétiques IV et I. L'hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) et celle observée ( $H_o$ ) ont varié respectivement de 0,586 à 0,603 et de 0,794 à 0,908 pour les groupes génétiques IV et I. Enfin, l'indice de diversité de Shannon a oscillé de 1,076 à 1,127 pour les groupes I et IV. D'une manière générale, les paramètres de diversité ont été plus importants au sein du groupe I tandis que le groupe IV est celui qui possède les plus faibles valeurs.

**Tableau XXV:** Paramètres de diversité génétique de la collection de *S. rotundifolius* en fonction des groupes génétiques

Groupes	Na	Ne	I	Ho	He	Fis
Groupe I	5,333	3,022	1,127	0,908	0,603	-0,304
Groupe II	4,833	3,063	1,119	0,823	0,598	-0,311
Groupe III	4,917	2,780	1,102	0,808	0,594	-0,308
Groupe IV	4,833	2,666	1,076	0,794	0,586	-0,345
<b>Moyenne</b>	<b>4,979</b>	<b>2,883</b>	<b>1,106</b>	<b>0,833</b>	<b>0,594</b>	<b>-0,317</b>

**Légende** : N : nombre d'allèles total par amorce, Ne : nombre d'allèles efficaces, He : hétérozygotie attendue, Ho : hétérozygotie observée, PIC : Polymorphism Information Content, I : indice de diversité de Shannon-, Fis : indice de fixation.

### 3.5.4.3. Différenciation inter-groupes génétiques

L'analyse de variance moléculaire (AMOVA) selon la méthode d'EXCOFFIER et *al.* (1992) a montré que le facteur « groupe génétique » intervient significativement dans l'expression de la variabilité moléculaire (11% de la variance totale) de la collection étudiée (tableau XXVI). Les résultats de la différenciation génétique (tableau XXVII) entre les quatre (04) groupes génétiques ont montré une différence entre ces différents groupes génétiques ; l'indice de différenciation ( $F_{st}$ ) a varié de 0,101 entre le groupe I et le groupe II à 0,161 entre les groupes I et IV. Par conséquent, les groupes I et IV sont les plus éloignés tandis que les groupes I et II sont les plus proches

**Tableau XXVI:** Proportion de la variance moléculaire entre les accessions en fonction du facteur groupes génétiques

Source	df	SS	MS	Est. Var.	D%
Variance entre groupes génétiques	3	17,616	17,539	0,251	11*
Variance dans les groupes génétiques	263	1205,231	4,583	4,583	89
<b>Total</b>	266	1222,847		4,734	100

**Légende :** df : degré de liberté ; SS : somme des carrées ; MS : carrée moyen ; Est.Var.: variance estimée ; D% : distribution de la variance totale ; \*p= 0,0001

**Tableau XXVII:** Différenciation génétique inter groupes génétiques

Groupe	Indice de différenciation Fst			
	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV
<b>Groupe I</b>	0,000			
<b>Groupe II</b>	0,101	0,000		
<b>Groupe III</b>	0,133	0,137	0,000	
<b>Groupe IV</b>	0,161	0,154	0,128	0,000

### 3.6. Discussion

Les marqueurs SSR ont été utilisés par plusieurs auteurs pour l'étude de la diversité génétique des plantes à racines et tubercules dont l'igname (SAGBADJA et al., 2014), la patate douce (QUAIN et al., 2018), du taro TRAORE (2014) et *S. rotundifolius* (HUA et al., 2018). Les marqueurs utilisés ont permis de mettre en évidence l'existence d'une diversité génétique au sein de la collection de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana.

Les 11 marqueurs microsatellites validés et utilisés pour l'étude de la diversité génétique ont montré un taux de polymorphisme de 92 %. Selon OULD AHMED et al. (2010), un taux de polymorphisme élevé témoigne du niveau élevé de polymorphisme au sein des accessions et de l'efficacité des marqueurs utilisés.

Le PIC qui varie de 0 pour un locus monomorphique à 1 pour un locus hautement discriminant révèle le degré de polymorphisme des marqueurs testés. Ainsi, les marqueurs SSRSR3 et SSRSR34 ont été les plus polymorphes avec des valeurs de PIC de 0,726 et 0,821, respectivement indique un grand pouvoir discriminatoire des marqueurs testés. La valeur élevée de l'indice de diversité de Shannon compris entre 0,031 et 1,530 avec une moyenne de 0,976 indique une variabilité importante au sein des accessions étudiées.

La richesse allélique qui est comprise entre 2 et 12 allèles avec une moyenne de 5,181 allèles par marqueur et supérieure à celle observée (5) par HUA et al. (2018), pourrait s'expliquer par

les différences entre les accessions étudiées. Le nombre important d'allèles par marqueur s'expliquerait par la diversité génotypique, la taille de l'échantillon et l'origine du matériel végétal. Cette observation traduirait l'existence d'une base génétique large de l'espèce au sein de la zone couverte par la présente étude. En effet, la richesse allélique d'une population est connue pour dépendre de la taille de l'échantillon, puisque les chances de découvrir un nouvel allèle augmentent chaque fois qu'un nouvel individu est observé (FOULLEY *et al.*, 2006). De même, selon BEN NACEUR *et al.* (2008), le nombre d'allèles par locus est affecté par plusieurs facteurs tels que le génotype ainsi que les variations mineures dans les protocoles d'amplification. Les marqueurs microsatellites SSR sont réputés pour le nombre d'allèles qu'ils révèlent et à leur pouvoir à révéler du polymorphisme (VAZ PATTO *et al.*, 2004 et MORALES *et al.*, 2010).

L'hétérozygotie attendue qui a varié de 0,031 à 0,843 avec une moyenne de 0,547 est inférieure à l'hétérozygotie observée qui a varié de 0,031 à 0,996 avec une moyenne de 0,845, traduisant un écart négatif suggérant un excès d'hétérozygotes. Avec 15 marqueurs SSRs testés sur 57 accessions de *S. rotundifolius* du Ghana, HUA *et al.* (2018) ont trouvé une hétérozygotie observée de 0,58. Ce niveau d'hétérozygotie confirme l'affirmation de LEBOT *et al.* (2005) selon laquelle l'hétérozygotie est généralement reconnue chez les plantes à multiplication végétative. Le fort niveau des paramètres génétiques dans la présente étude pourrait s'expliquer par l'étendue de la collection et du dispositif technique utilisé qui a permis d'apprécier avec efficacité le profil génétique de chaque individu.

La moyenne de l'indice de fixation  $F_{is}$  est de -0,538. Cet indice confirme les résultats obtenus pour l'hétérozygotie attendue et l'hétérozygotie observée. La valeur de  $F$  suggère un excès en Hétérozygote de la population totale. La population totale s'éloigne par conséquent, de l'équilibre panmictique. Trois principaux facteurs, peuvent expliquer le déséquilibre observé. Il s'agit de facteurs génétiques, de l'existence d'allèles nuls et de l'effet Wahlund (JORDANA *et al.*, 2003). Le facteur génétique se traduirait par la présence d'une consanguinité excessive induisant la modification des fréquences génotypiques, ce qui se traduit par une perte de variabilité génétique au fil des générations. Les allèles nuls affectent ce déséquilibre par le fait qu'ils ne donnent lieu à aucune amplification lors de la PCR. Ces allèles sont la cause de délétions au niveau des amorces ou de mutations dans les séquences flanquantes du microsatellite (LALIBERTE, 1998). Le dernier facteur rapporté à l'effet Wahlund est en relation avec l'excès d'homozygotes (ou un déficit en hétérozygotes) par rapport à l'équilibre de HardyWeinberg qui traduit la subdivision de la population étudiée en plusieurs sous populations qui n'échangent pas ou peu de gamètes.

Les marqueurs moléculaires SSR ont montré une proximité génétique entre les accessions du Burkina Faso et du Ghana. Cette faible différenciation pourrait s'expliquer par le fait que les échanges de matériel végétal sont fréquents entre les producteurs des deux pays (NANEMA, 2010). Toutefois, la comparaison des accessions sur la base des zones climatiques de collecte a révélé une différenciation génétique ; la plus grande différenciation génétique ayant été observée entre la zone sudan-savannah plus arrosée (>900 mm) et la zone sahélienne moins arrosée (< 600 mm). Cette différenciation génétique traduirait la répartition des génotypes de *S. rotundifolius* en fonction des conditions pluviométriques.

La structuration de la diversité génétique de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana en quatre groupes génétiques est supérieure à celle mise en évidence par HUA et *al.* (2018) sur des accessions de *S. rotundifolius* du Ghana (trois groupes génétiques).

### **Conclusion**

La caractérisation moléculaire à l'aide des marqueurs SSR de *S. rotundifolius* cultivée au Burkina Faso et au Ghana a révélé une diversité génétique au sein de la collection. Onze sur douze marqueurs testés se sont montrés polymorphes. Une structuration de la diversité en quatre groupes génétiques est établie avec les 11 marqueurs polymorphes.

Au regard de l'efficacité des 11 marqueurs SSR utilisés, ils peuvent être recommandés pour l'analyse de la diversité génétique de *S. rotundifolius*. La collecte d'accessions dans plusieurs pays de la sous région pourrait permettre de mieux appréhender la diversité génétique de l'espèce au niveau régional. Ceci contribuera à approfondir la connaissance de la diversité génétique de *S. rotundifolius*.

## **CHAPITRE IV : EVALUATION DE LA TENEUR EN COMPOSES PHENOLIQUES ET DU POUVOIR ANTIOXYDANT DES FEUILLES DE *S. ROTUNDIFOLIUS* (POIR.) J. K. MORTON DU BURKINA FASO ET DU GHANA**

### **Introduction**

Le continent africain regorge des plantes médicinales très diversifiées (HAIDARA *et al.*, 2020). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2013), plus de 80% des populations africaines font recours à la pharmacopée traditionnelle pour faire face aux problèmes de santé. Sur plus ou moins 300 000 espèces de plantes médicinales recensées sur la planète, plus de 200 000 sont dans les pays tropicaux de l'Afrique et ont des vertus médicinales (KOLLING, 2010 ; MANGAMBU *et al.*, 2012).

Les investigations antérieures montrent que parmi les potentialités biologiques reconnues des plantes, vient en premier lieu l'activité antioxydante face à des radicaux libres qui sont produits dans l'organisme. Selon KAMATE *et al.* (2023), les composés antioxydants retrouvés dans les plantes vont jouer un rôle important dans le traitement et la prévention des maladies du stress oxydatif. Pour une meilleure valorisation des plantes à potentialités médicinales, la connaissance de leur teneur en composés antioxydants est donc une étape importante.

*Solenostemon rotundifolius* est l'une des espèces de la famille des Lamiaceae connue pour ses vertus médicinales (NIINO *et al.*, 2003). Dans la pharmacopée traditionnelle, les feuilles sont exploitées dans le traitement contre la dysenterie, la drépanocytose, la dysménorrhée, l'hématurie, la stérilité de la femme, le rhumatisme, des maux d'yeux, du retard de fermeture des fontanelles (NACOULMA, 1996). Toutefois, des travaux sur la caractérisation des principaux composés à propriétés médicinales de *S. rotundifolius* en Afrique de l'Ouest ne sont pas encore connus.

Avec le fort développement végétatif de *S. rotundifolius*, la valorisation médicinale des feuilles pourrait contribuer à la promotion de cette espèce pour un double usage (alimentaire et médicinal). La présente étude vise à quantifier la teneur des feuilles de *S. rotundifolius* en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux, en flavonols totaux et d'évaluer leur pouvoir antioxydant.

### **4.1. Matériel et méthodes**

#### **4.1.1. Matériel végétal**

Le matériel végétal est constitué de feuilles de 121 accessions de *S. rotundifolius* dont 40 proviennent du Burkina Faso et 81 du Ghana (annexe II). Les accessions du Burkina Faso proviennent de la banque de gènes du Laboratoire Biosciences de l'Université Joseph KI-

ZERBO. Elles ont été collectées dans 11 provinces réparties dans les trois zones climatiques du pays que sont : la zone sahélienne ; soudano sahélienne et soudanienne. Les accessions du Ghana ont été fournies par la banque de gènes du Council for Scientific for Industrial and Research/Savanna Agricultural Research Institute (CSIR-SARI) dans le cadre d'un programme de recherche collaboratif sur l'espèce. Elles ont été collectées dans 9 districts au nord du pays. Les feuilles de chaque accession (5 g) ont été prélevées 15 jours avant la récolte dans la parcelle expérimentale mise en place pour l'évaluation agromorphologique décrite au chapitre 2.

#### 4.1.2. Méthodes

Les feuilles fraîches récoltées de chaque accession ont été au préalable nettoyées et séchées à l'ombre. Les feuilles sèches ont été broyées et réduites en poudre à l'aide d'un mortier. La poudre obtenue a été tamisée par la suite. Les polyphénols totaux, les flavonoïdes totaux et les flavonols totaux ont été dosés en triplet et le résultat a été la moyenne (annexe I). L'activité antioxydante a été exprimée en concentration inhibitrice 50 (IC<sub>50</sub>) c'est à dire la concentration de l'extrait susceptible de provoquer 50% d'inhibition. Les travaux sur l'étude phytochimique et l'évaluation de la capacité antioxydante des feuilles de *S. rotundifolius* ont été réalisés au Laboratoire de Biochimie et de Chimie Appliquées (LABIOCA) de l'Université Joseph KI-ZERBO.

##### 4.1.2.1. Criblages phytochimiques

###### ▪ Extraction

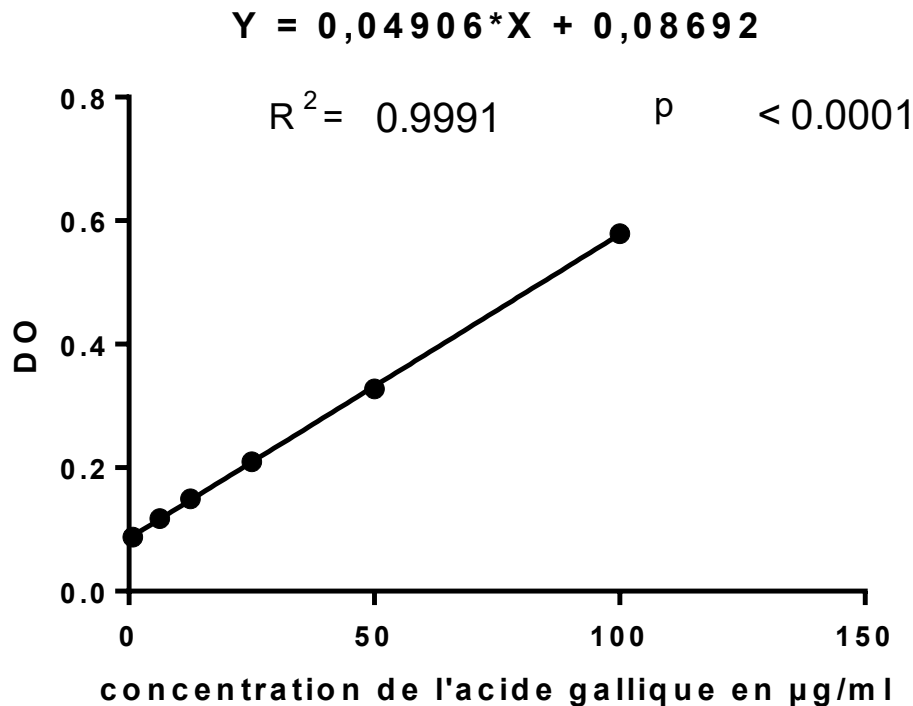
Un gramme (1 g) de poudre de feuille de chaque accession a été dissout dans un solvant éthanolique absolu (250 ml) pendant 24 h à la température ambiante du laboratoire. Après cette étape, le mélange poudre végétale plus solvant a été centrifugé à 5 000 RPM pendant 3 mn puis filtré à l'aide un papier filtre. L'extrait recueilli a été séché par évaporation du solvant à l'étuve. Le rendement d'extraction a été calculé suivant la formule :

$$R = \frac{\text{Masse d'extrait (mg)}}{\text{Masse de poudre végétale (mg)}} \times 100$$

où : **R** est le rendement en %.

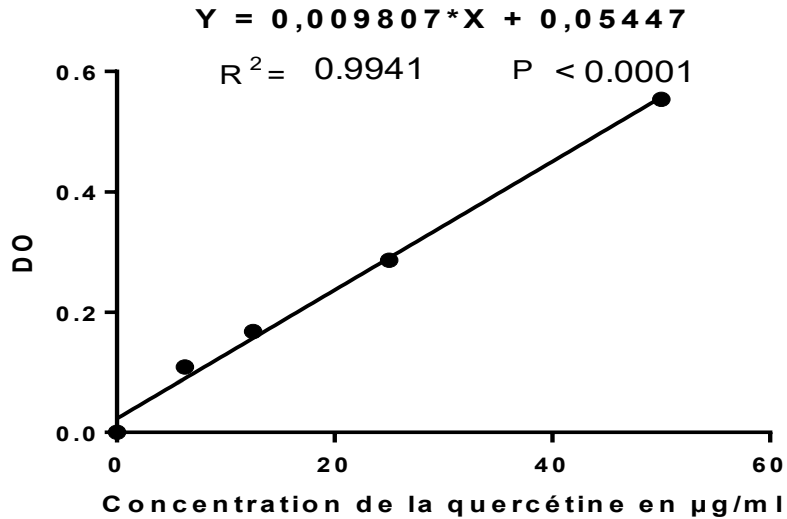
Les polyphénols totaux des extraits ont été déterminés par la méthode décrite par LAMIEN-MEDA et *al.* (2008). Les extraits ont été dissouts dans du méthanol pur pour avoir une concentration de 10 mg/ml, puis dilués au 1/100 dans l'eau distillée. Un volume de 0,5 ml de la solution diluée a été alors mélangé à 2,5 ml du réactif de Folin-ciocalteu à 0,2 N et incubé pendant 5 mn. Un volume de 2 ml d'une solution de carbonate de sodium à 75 g/l dans l'eau

distillée a été ensuite ajouté et le mélange incubé pendant 2 h. A la fin de l'incubation, les densités optiques ont été lues à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les teneurs en polyphénols totaux ont été déterminées à l'aide d'une courbe de référence avec l'acide gallique (0-100 mg/l) comme standard (figure 25). Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent acide gallique pour 1 g d'extrait sec (mg EAG/ g).



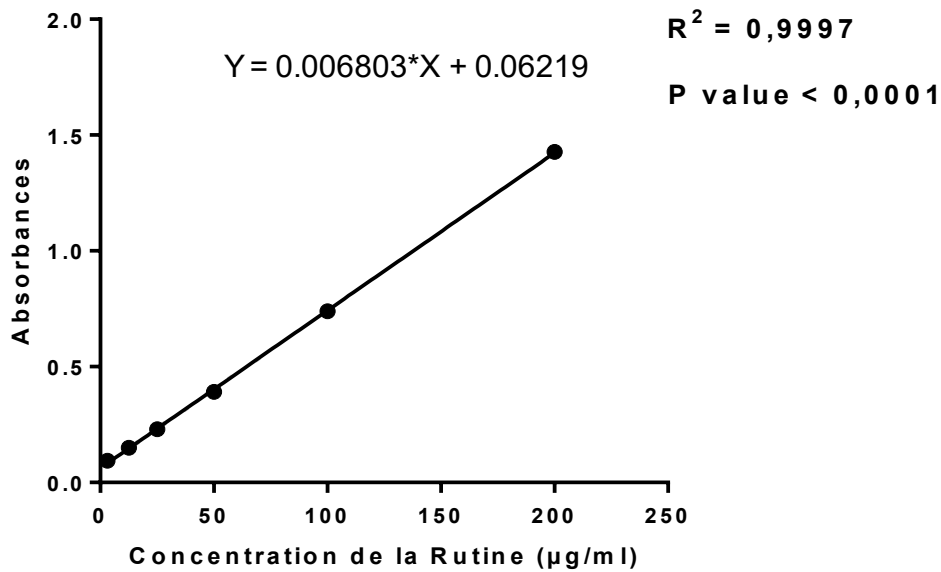
**Figure 25:** Courbe d'étalon de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux

Les flavonoïdes totaux ont été déterminés selon la méthode de DOWD, adaptée par LAMIEN-MEDA et *al.* (2008). Un volume de 5 ml de  $AlCl_3$  à 2% dans du méthanol pur a été mélangé avec un volume égal d'extrait à 1 mg/ml dans le méthanol. Les densités optiques ont été lues après 10 mn à 415 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La quercétine (0-100 mg/l) a servi comme standard pour courbe d'étalonnage (figure 26). Un mélange de 5 ml d'extrait et de 5 ml de méthanol sans  $AlCl_3$  a servi de blanc. Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent quercétine pour 1 g d'extrait sec (mg EQ/ g).



**Figure 26:** Courbe d'étalon de l'acide gallique pour le dosage des flavonoïdes totaux

Les flavonols totaux ont été dosés selon la méthode d'ALMARAZ-ABARCA *et al* (2007). La lecture a été faite contre une courbe standard de quercétine (figure 27). Dans un tube à essai on additionne 1 ml d'extrait (0.1mg/ml) à 1 ml d'AlCl<sub>3</sub> (20%). La lecture est faite en 15 mn et à 425 nm. Les concentrations en flavonols totaux sont exprimées en mg Equivalent Quercétine (mg EQ) dans 100mg d'extrait. Les concentrations ont été calculées selon la formule  $C = (Cl \times D) \times 100 / Ci$  C = concentration en flavonols totaux en mg EQ/100mg d'extrait sec Cl = concentration de l'échantillon lue D = facteur de dilution Ci = concentration de la solution initiale.



**Figure 27:** Courbe d'étalon de l'acide gallique pour le dosage des flavonols totaux

#### **4.1.2.2. Test d'inhibition du radical DPPH**

L'activité anti-radicalaire des extraits végétaux traduit leur aptitude à piéger les radicaux libres de l'organisme. Les extraits ont été solubilisés dans du méthanol pour obtenir des concentrations mères de 10 mg/ml. Cette concentration a été diluée au 100ème pour le test. La méthode spectrophotométrique au 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) décrite par VELAZQUEZ et *al.* (2003) a été utilisée avec quelques modifications. Un volume de 100 µl d'une solution méthanolique de DPPH à 20 mg/l a été introduit dans des micros puits contenant au préalable 200 µl d'extraits à tester. Un témoin ne contenant pas d'extrait végétal a été aussi préparé. Les absorbances ont été lues à 700 nm contre une courbe d'étalonnage obtenue à partir de l'acide ascorbique (0-200 mg/L). Le pouvoir anti-radicalaire a été exprimé en équivalents acide ascorbique (EAA) (mmol acide ascorbique /g d'extrait sec).

#### **4.1.2.3. Analyses des données**

Pour les polyphénols, les flavonoïdes, et les flavonols quantifiés, les paramètres descriptifs de l'ensemble des échantillons ont été calculés. Ces paramètres ont été la moyenne, le minimum, le maximum, l'écart type et le coefficient de variation. Une analyse de variance a été effectuée sur la base des facteurs accessions, pays de collecte et zones climatiques. Un test de corrélation de Pearson a été réalisé pour les polyphénols, les flavonoïdes, les flavonols et IC<sub>50</sub>.

Les polyphénols, les flavonoïdes, les flavonols et IC<sub>50</sub> ont été utilisés pour l'analyse de la structuration des accessions en fonction des composés phénoliques à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) avec pour critère d'agrégation le lien moyen. La différenciation des groupes issus de la CAH a été analysée grâce à une analyse factorielle discriminante (AFD). Par la suite, une comparaison des accessions des groupes agromorphologiques et des groupes génétiques issus de la caractérisation moléculaire a été faite à l'aide d'une ANOVA. Les analyses de variance et le test de corrélations de Pearson ont été réalisées avec le logiciel R version 4.1.1. La classification ascendante hiérarchique (CAH) et l'analyse factorielle discriminante (AFD) ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT-Pro version 7.1.

### **4.2. Résultats**

#### **4.2.1. Rendements d'extraction**

Des différences significatives au seuil de 1% ( $p < 0,0001$ ) ont été observées entre les 121 accessions pour le rendement d'extraction. Pour l'ensemble des accessions, le rendement moyen d'extrait a été de 7,94 % (tableau XXVIII). Les rendements les plus faibles ont été obtenus avec les accessions E104 (R=5,3%) ; UE134 (R=5,3%) ; UE23YT (R=4,6%). Les

rendements les plus élevés ont été obtenus pour les accessions UE44 (R=15,4%), UE156 (R=12%), UE127 (R=11,9%).

**Tableau XXVIII:** Rendements d'extractions des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Accessions à faibles valeurs	Accessions à fortes valeurs
Rendement (%)	4,60	15,40	7,94	0,66	UE23YT, UE134, E104	UE44, UE156, UE127

#### 4.2.2. Teneurs de composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux

Des différences significatives au seuil de 1% ( $p < 0,0001$ ) ont été observées entre les accessions pour la teneur en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux en flavonols totaux et l'activité antioxydante exprimée en concentration inhibitrice l'IC<sub>50</sub> (tableau XXIX). Les teneurs en phénoliques totaux ont varié de  $28,96 \pm 1,5$  à  $174,09 \pm 3,70$  mg EAG/g extrait avec une moyenne de  $107,13 \pm 2,14$  mg EAG/g. Les plus fortes teneurs ont été obtenues avec les accessions UE52 ; UE19YT et UW99HL et les plus faibles teneurs avec les accessions UE109, UE134, UE58. En ce qui concerne les flavonoïdes totaux, les teneurs ont varié de  $6,74 \pm 0,47$  à  $100,55 \pm 3,87$  mg EQ/g extrait avec une moyenne de  $51,67 \pm 1,87$  mg EQ/g. Les plus fortes teneurs ont été enregistrées avec les accessions UE110 ; E80 et E30. Les accessions à faibles teneurs en flavonoïdes totaux ont été E111 ; UE58 et UE134.

La teneur moyenne en flavonols a été de 20,72 mg ER/g. Elle a varié de  $0,48 \pm 0,07$  à  $57,51 \pm 0,01$  mg ER/g. Les plus fortes valeurs ont été obtenues avec les extraits des accessions E140, E157 et UE66. Les plus faibles teneurs en flavonols ont été enregistrées avec les accessions UW97CB, E182, UE134.

Les capacités antioxydantes des extraits méthanoïques des accessions de *S. rotundifolius* ont varié de  $1,31 \pm 0,07$  à  $58,40 \pm 0,01 \mu\text{g/mL}$ . Les plus faibles capacités antiradicalaires ont été obtenues pour E187, UE174, UW99HL et les plus fortes avec les accessions E155, UW78JT et E78.

**Tableau XXIX:** Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana

	Polyphénols totaux (mg EAG/g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)	Flavonols totaux (mg ER/g)	IC50 (µg /ml)
Minimum	28,96± 1,5	6,74± 0,47	0,48± 0,07	1,31± 0,07
Maximum	174,09± 3,70	100,55± 3,87	57,51± 0,01	58,40± 0,01
Moyenne	107,13± 2,14	51,67± 1,87	20,72± 0,83	12,80± 0,32
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Signification du F	***	***	***	***
Accessions à faibles valeurs	UE109, UE134, UE58	E111, UE58, UE134	UW97CB, E182, UE134	E155, UW78JT, E78
Accessions à fortes valeurs	UE52, UE19YT, UW99HL	UE110, E80, E30	E140, E157, UE66	E187, UE174, UW99HL

**Légende :** \*\*\* : significatif au seuil de 0,01 ; EAG : équivalent acide gallique ; EQ : équivalent quercétine, ER : équivalent rutine

#### 4.2.3. Variation de la teneur en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions en fonction du pays de provenance

L'analyse de variance réalisée entre les accessions sur la base du pays d'origine (Burkina Faso et Ghana) n'a pas montré des différences significatives en teneurs de polyphénols, de flavonoïdes, de flavonols, des extraits et IC50 (activité anti radicalaire DPPH) (tableau XXX).

**Tableau XXX:** Variabilité de la teneur en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux en fonction du pays d'origine (Burkina Faso et Ghana)

PAYS	Polyphénols totaux (mg EAG/g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)	Flavonols totaux (mg ER/g)	IC50 (µg/ml)
BURKINA FASO	107,93± 0,75	50,33± 0,60	21,63± 0,37	13,88± 0,09
GHANA	108,71± 0,81	52,33± 0,45	20,26± 0,21	12,27± 0,02
Pr > F	0,076	0,199	0,063	0,089
Significatif	Non	Non	Non	Non

**Légende :** Non : non significatif au seuil de 0,05 ; F : coefficient de Fisher issu de l'analyse de variance ; EAG : équivalent acide gallique ; EQ : équivalent quercétine ; ER : équivalent rutine

#### **4.2.4. Variation de la teneur en composés polyphénoliques et concentration inhibant 50% de radicaux des accessions suivant la pluviométrie de la zone de collecte de *S. rotundifolius* au Ghana et au Burkina Faso**

L'analyse de variance réalisée entre les accessions sur la base du gradient pluviométrique de la zone de provenance a montré des différences significatives en teneur de polyphénols, de flavonoïdes, de flavonols et la concentration inhibant 50% de radicaux (IC50) (tableau XXXI). Les plus fortes teneurs ont été enregistrées par les accessions de la zone sahélienne (< 600 mm) (polyphénols totaux= 114,14± 1,75 mg EAG/g ; flavonoïdes totaux=55,29± 1,04 mg EQ/g et flavonols totaux=25,35± 0,94 mg ER/g). La teneur en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en flavonoïdes totaux des accessions de la zone soudano-sahélienne (600 à 900 mm) ont été de 103,48± 0,53 mg EAG/g, 50,27± 0,64 mg EQ/g et 23,4± 1,91 mg ER/g respectivement.

Les accessions de la zone soudanienne du Burkina Faso, soudan-savanah du Ghana et la zone guinea-savanah du Ghana (>900 mm) ont enregistré les faibles teneurs en composés polyphénoliques. La teneur en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en flavonoïdes totaux des accessions dans ces zones ont varié de 95,24± 1,06 mg EAG/g à 78,19± 0,65 mg EAG/g, de 45,31± 0,83 mg EQ/g à 26,79± 0,83 mg EQ/g et de 18,49± 0,51 mg ER/g à 8,99± 0,41 mg ER/g, respectivement.

Les accessions de la zone sahélienne (< 600 mm) ont enregistré une activité antioxydante la plus forte. La concentration inhibitrice 50 (IC50) de ces accessions a été de 0,50± 0,001 µg/mL. L'activité antioxydante des accessions de la zone soudano-sahélienne (600 à 900 mm) ont été intermédiaires entre la zone sahélienne et les autres zones climatiques (>900 mm). La concentration inhibitrice 50 (IC50) des accessions de cette zone a été de 4,12± 0,81 µg/mL. Les accessions de la zone soudanienne du Burkina Faso, soudan-savanah du Ghana et la zone guinea-savanah (>900 mm) ont eu une activité antioxydante plus faible que les accessions des autres zones climatiques. La concentration inhibitrice 50 (IC50) de ces accessions a varié de 6,023± 0,84 µg/ml à 15,15± 0,39 µg/ml.

**Tableau XXXI** : Variabilité en composés polyphénoliques et concentration inhibant 50% de radicaux des extraits des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des zones climatiques du Burkina Faso et du Ghana

Zone climatique	Polyphénols totaux (mg EAG/g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)	Flavonols totaux (mg ER/g)	IC <sub>50</sub> (µg/ml)
Sahélienne (<600mm)	114,14± 1,75a	55,29± 1,04a	25,35± 0,94a	0,50± 0,001e
Soudano-sahélienne (600-900mm)	103,48± 0,53b	50,27± 0,64b	23,4± 1,91b	4,12± 0,81d
Soudanienne (>900mm)	95,24± 1,06c	45,31± 0,83c	18,49± 0,51c	6,023± 0,84c
sudan-savanah (900-1000mm)	88,08± 0,95c	30,39± 1,03d	10,11± 0,63d	11,95± 1,06b
guinea-savanah (1100-1200mm)	78,19± 0,65d	26,79± 0,83d	8,99± 0,41d	15,15± 0,39a
Pr > F	0,017	0,014	0,033	0,019
Significatif	Oui	Oui	Oui	Oui

**Légende** : a, b, c, d, et e : classes de valeurs issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b>c> d>e, Oui : significatif au seuil de 0,05 ; EAG : équivalent acide gallique ; EQ : équivalent quercétine ; ER : équivalent rutine

#### 4.2.5. Corrélations entre les teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux de *S. rotundifolius*

Des fortes corrélations entre les teneurs en composés polyphénoliques ont été observées. Les plus fortes corrélations ont été observées entre la teneur en flavonoïdes totaux et la teneur en flavonols totaux ( $r=0,72$ ), entre la teneur en polyphénols totaux et la teneur en flavonoïdes totaux avec  $r=0,55$  (tableau XXXII). L'activité antioxydante est négativement corrélée à la teneur en composés polyphénoliques ( $r=-0,20$ ).

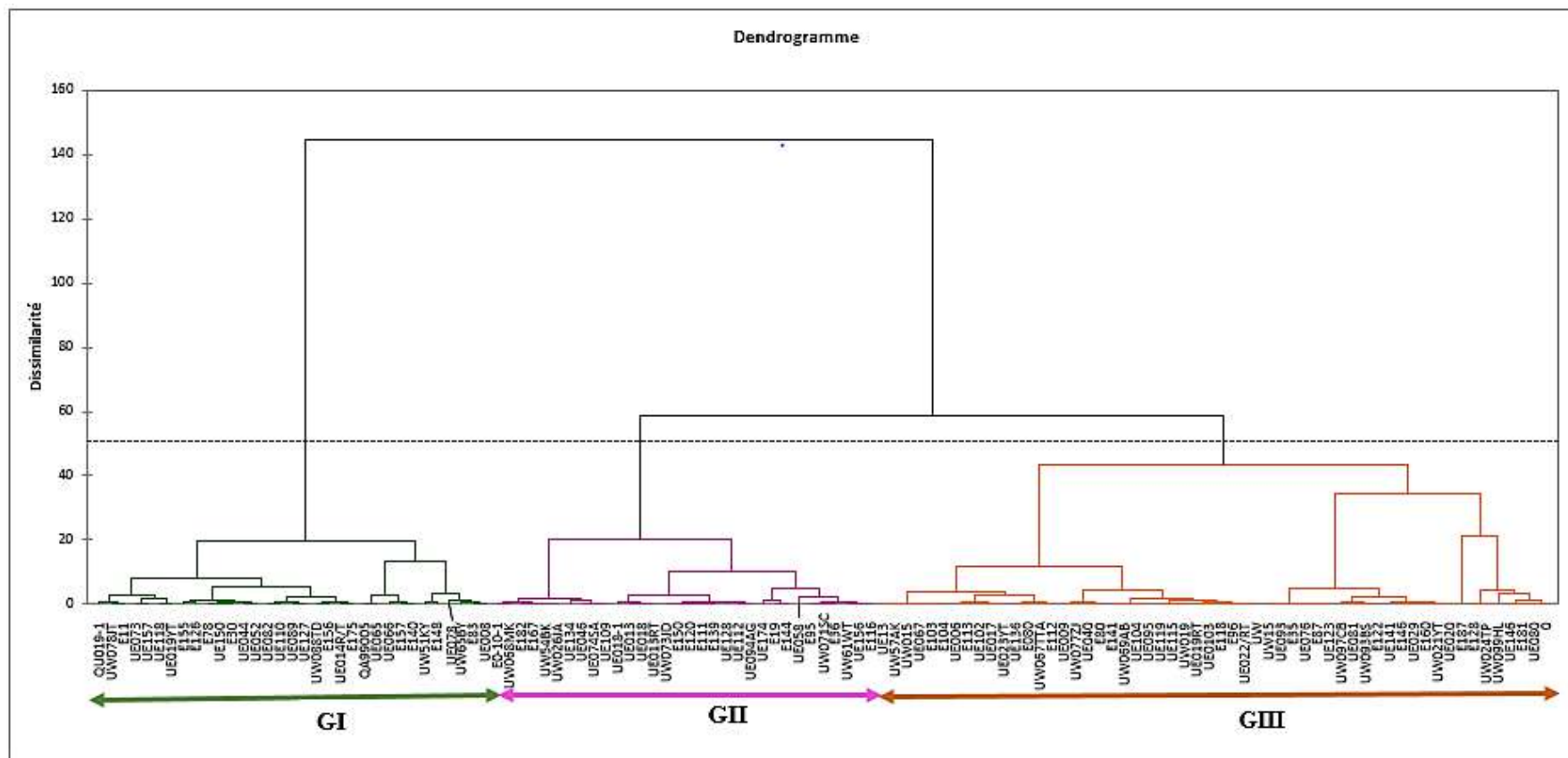
**Tableau XXXII**: Matrice de corrélations bivariées entre les teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux

Variabes	Polyphénols	Flavonoïdes	Flavonols	IC50
Polyphénols	1			
Flavonoïdes	0,55**	1		
Flavonols	0,416*	0,72**	1	
IC50	-0,20*	-0,12	-0,11	1

**Légende** : \* : significatif au seuil de 0,05 ; \*\* : significatif au seuil de 0,01

#### **4.2.6. Structuration de la variabilité des composés polyphénoliques des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux**

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été faite sur la base de la teneur de polyphénols totaux, de flavonoïdes totaux, de flavonols totaux et de leur activité antioxydante. Le dendrogramme issu de la CAH révèle une répartition des 121 accessions en trois groupes (figure 28).



**Figure 28:** Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des composés polyphénoliques et de la concentration inhibant 50% de radicaux

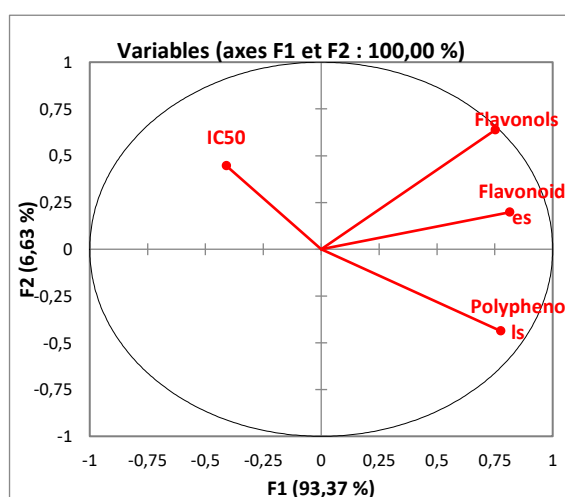
Le tableau XXXIII présente pour chaque groupe issu de la CAH, le nombre d'accessions et leurs provenances. Le groupe I est constitué de 33 accessions dont 22 du Ghana et 11 du Burkina Faso. Le groupe II est composé de 32 accessions dont 20 du Ghana et 12 du Burkina Faso. Quant au groupe III, il est constitué de 56 accessions dont 39 accessions du Ghana et 17 du Burkina Faso.

**Tableau XXXIII** : Composition des groupes issus de la CAH des accessions de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana

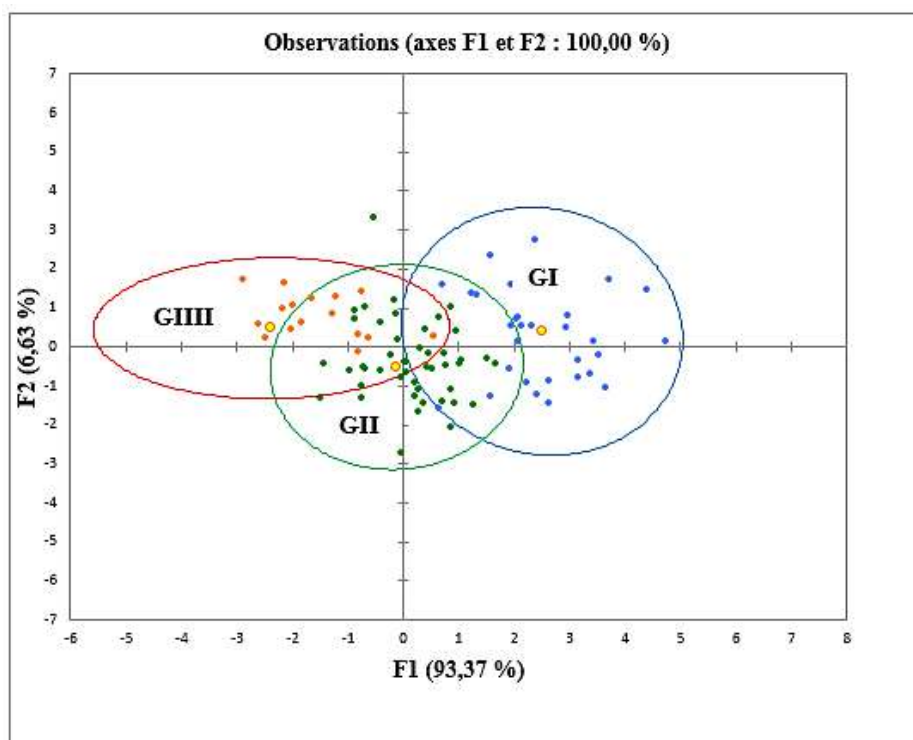
Groupes		I	II	III	Total
Effectifs		33	32	56	121
Provenances	Burkina Faso	11	12	17	40
	Ghana	22	20	39	81

#### 4.2.7. Caractérisation des groupes d'accessions de *S. rotundifolius* en fonction des polyphénols et la concentration inhibant 50% de radicaux issus de la CAH

La caractérisation des groupes de *S. rotundifolius* en fonction des polyphénols et de l'activité antioxydante issus de la CAH a été faite grâce à l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD). Elle a été réalisée sur la base de la teneur en polyphénols, en flavonoïdes, en flavonols et de l'activité antioxydante (figure 29). Le Plan ½ de l'AFD, avec 100% de l'inertie totale, associe d'une part la teneur en polyphénols, en flavonoïdes et en flavonols à l'axe F1 (93,37% de l'inertie totale). Le plan ½ associe d'autre part l'activité antioxydante (IC50) à l'axe F2 (6,63% de l'inertie totale) (figure 30).



**Figure 29**: Association des polyphénols, des flavonoïdes ; des flavonols et concentration inhibant 50% de radicaux de *S. rotundifolius* aux axes de l'AFD



**Légende :** GI, GII et GIII : différents groupes issus de la CAH

**Figure 30:** plan ½ de l'AFD des groupes issus de la CAH de teneur des des polyphénols, des flavonoïdes ; des flavonols et de la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de *S. rotundifolius*

L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les groupes pour les composés polyphénoliques et de la concentration inhibant 50% de radicaux (tableau VI). Le groupe (GI) a été caractérisé par des teneurs en composés polyphénoliques les plus fortes (polyphénols =  $133,13 \pm 3,15$  mg EAG/g, flavonoïdes =  $74,51 \pm 1,65$  mg EQ/g et flavonols =  $35,23 \pm 2,94$  mg ER/g). Les accessions du groupe I ont enregistré l'activité antioxydante la plus forte ( $5,06 \pm 0,64$  µg/ml).

Le deuxième groupe (GII) a été caractérisé par des teneurs en composés polyphénoliques comprises entre les deux autres groupes (polyphénols =  $112,43 \pm 1,05$  mg EAG/g, flavonoïdes =  $48,70 \pm 1,08$  mg EQ/g et Flavonols =  $16,42 \pm 1,08$  mg ER/g) avec une concentration inhibitrice 50 (IC50) de  $11,29 \pm 0,85$  µg/ml.

Le troisième groupe (GIII), opposé au premier (GI), a été caractérisé par des teneurs en composés polyphénoliques faibles (polyphénols =  $71,04 \pm 0,83$  mg EAG/g, flavonoïdes =  $33,29 \pm 1,93$  mg EQ/g et flavonols =  $13,25 \pm 1,05$  mg ER/g) avec pouvoir antioxydant faible dont la concentration inhibitrice 50 (IC50) est de  $18,24 \pm 1,01$  µg/ml.

**Tableau XXXIV:** Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de *S. rotundifolius* par groupe issu de la CAH

Groupes	Polyphénols	Flavonoïdes	Flavonols	IC50
	totaux (mg EAG/g)	totaux (mg EQ/g)	totaux (mg ER/g)	
I	133.13± 3,15a	74.51± 1,65a	35.23± 2,94a	5.06± 0,64c
II	112.43± 1,05b	48.70± 1,08b	16.42± 1,08b	11.29± 0,85b
III	71.04± 0,83c	33.29± 1,93c	13.25± 1,05c	18.24± 1,01a
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

**Légende :** a, b et c : classes de valeurs issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b>c, EAG : équivalent acide gallique ; EQ : équivalent quercétine, ER : équivalent rutine

L'analyse de variance des teneurs en composés polyphénoliques et la capacité anti-radicalaire des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des groupes issues de la caractérisation agromorphologique a révélé des différences significatives entre les groupes pour les teneurs en flavonoïdes totaux et en flavonols totaux (tableau XXXV). Le groupe VI constitué d'accessions de petite taille, à maturité précoce et à faible productivité a été caractérisé par de fortes teneurs en flavonoïdes totaux et en flavonols totaux (flavonoïdes= 56,369± 3,28 mg EQ/g et flavonols=25,145± 1,92 mg ER/g).

Le deuxième groupe II caractérisé par un fort développement végétatif, un cycle long avec une bonne productivité pour la caractérisation agromorphologique a été caractérisé par de faibles teneurs en flavonoïdes totaux et en flavonols totaux (flavonoïdes=29,402± 8,47 mg EQ/g et flavonols=8,855± 4,97mg ER/g).

**Tableau XXXV:** Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des groupes issues de la caractérisation agromorphologique

Groupes	Polyphénols totaux (mg EAG/g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)	Flavonols totaux (mg ER/g)	IC50 (µg/ml)
I	113,540± 10,46	42,309± 6,56 ab	13,720± 3,85 ab	13,290± 3,05
II	87,968± 13,51	29,402± 8,47 b	8,855± 4,97 b	11,400± 3,94
III	110,884± 6,49	49,852± 4,07 ab	20,812± 2,38 ab	11,443± 1,89
IV	114,054± 7,05	57,049± 4,42 a	21,900± 2,59 ab	18,676± 2,06
V	106,005± 7,59	51,694± 4,75 ab	18,935± 2,79 ab	13,049± 2,21
VI	103,868± 5,23	56,369± 3,28 a	25,145± 1,92 a	12,591± 1,52
Pr > F	0,541	0,033	0,015	0,156

**Légende :** a et b : classes de valeurs issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b,

EAG : équivalent acide gallique ; EQ : équivalent quercétine, ER : équivalent rutine

L'analyse de variance des teneurs en composés polyphénoliques et la capacité anti-radicalaire des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des groupes issues de la caractérisation moléculaire a révélé une différence significative entre les groupes pour les teneurs en polyphénols totaux (tableau XXXVI). Le groupe IV ayant les faibles paramètres de diversité génétique a enregistré les plus fortes teneurs en polyphénols totaux (polyphénols=125,956± 7,40 mg EAG/g).

Les groupes (GII) et (GIII) ont été caractérisés par de faibles teneurs en polyphénols totaux avec respectivement 102,380± 5,10 mg EAG/g et 101,992± 5,53 mg EAG/g.

**Tableau XXXVI:** Teneurs en composés polyphénoliques et la concentration inhibant 50% de radicaux des accessions de *S. rotundifolius* en fonction des groupes issues de la caractérisation moléculaire

Groupes	Polyphénols totaux (mg EAG/g)	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g)	Flavonols totaux (mg ER/g)	IC50 (µg/ml)
I	108,936± 5,89 ab	51,617± 3,92	19,607± 2,31	12,028± 1,79
II	102,380± 5,10 b	54,113± 3,40	19,182± 2,00	15,303± 1,55
III	101,992± 5,53 b	48,396± 3,69	22,122± 2,17	12,837± 1,68
IV	125,956± 7,40 a	54,170± 4,93	24,799± 2,90	13,254± 2,25
Pr > F	0,045	0,674	0,371	0,536

**Légende :** a et b : classes de valeurs issues de la comparaison par le test de Newman et Keuls telles que a>b,

EAG : équivalent acide gallique ; EQ : équivalent quercétine, ER : équivalent rutine

### 4.3. Discussion

Les résultats montrent l'existence d'une grande variabilité pour la teneur en composés polyphénoliques des accessions de *S. rotundifolius* du Ghana et du Burkina Faso. Cette variabilité porte sur les polyphénols, des flavonoïdes, des flavonols et l'activité antioxydante des extraits des feuilles de *S. rotundifolius*. Les flavonoïdes sont connus pour leurs propriétés hypoglycémiantes et antidiabétiques (PARK et al., 2019). Plusieurs mécanismes sont attribués aux flavonoïdes pour cette activité. Selon LIGA et al. (2023), les flavonoïdes préviennent le diabète en inhibant l'alcalose réductase. En outre, plusieurs études ont démontré que la consommation d'aliments riches en flavonoïdes est inversement corrélée au risque de développer des maladies cardio-vasculaires (TRESSERRA et al., 2018 ; CICCONE et al., 2020).

CARLOS et al. (2013), préconisent un minimum de 50 mg EAG /g pour les polyphénols dans les plantes médicinales. *S. rotundifolius* est une plante utilisée dans le traitement d'un grand nombre de maladies. C'est une espèce hautement médicinale et son efficacité s'expliquerait par la richesse et la diversité de ses composés chimiques (NACOULMA, 1996).

Le facteur «zone climatique» est le facteur ayant le plus influé sur la variabilité des feuilles des accessions de *S. rotundifolius* du Ghana Burkina Faso et du Ghana en teneurs des composés phytochimiques. En effet, les teneurs en composés phytochimiques des accessions de la zone sahélienne du Burkina Faso sont plus élevées par rapport à celles des zones climatiques soudano-sahélienne, soudanienne du Burkina Faso et des zones climatiques sudan-savanah et guinea-savanah du Ghana. En général, les teneurs des polyphénols varient qualitativement et quantitativement d'une plante à l'autre ; cela peut être attribué à plusieurs facteurs tels que les facteurs climatiques et environnementaux et la zone géographique (EBRAHIMI et al., 2008 ; FALLEH et al., 2008). La résistance d'une plante dans une zone peut se justifier, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître. La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (RAO et al., 2006). Ainsi, la balance entre l'acclimatation aux stress dépend d'interactions complexes entre, d'une part la production et l'utilisation du pouvoir réducteur des radicaux libres générés par le flux d'électrons dans les chloroplastes, et d'autre part de antioxydants qui détoxifient ces radicaux libres et donc influe sur leur pouvoir de signalisation (HEO et al., 2007).

Les accessions de la zone climatique sahélienne présentent les meilleures activités antioxydantes. L'activité antiradicalaire des extraits des accessions de la zone climatique

sahélienne ( $0,50 \pm 0,001 \mu\text{g/ml}$ ) est trente fois supérieure à celle des extraits des accessions de la zone climatique guinea-savannah du Ghana ( $15,15 \pm 0,39 \mu\text{g/ml}$ ). Selon CAI *et al.* (2006) ce sont les flavanols qui présentent une meilleure activité anti-DPPH. D'autres études ont montré qu'il existe bien un lien étroit entre les teneurs en polyphénols totaux et l'activité antioxydante de plusieurs composés d'origine végétale. Cette activité serait proportionnelle à la teneur en polyphénoliques totaux (DIEYE *et al.*, 2024). Ainsi les teneurs en polyphénoliques totaux pourraient justifier la meilleure activité des accessions de la zone climatique sahéenne.

Les corrélations positives trouvées entre les polyphénols, les flavonoïdes et les flavonols indiquent que les accessions à forte teneur en polyphénols ont une teneur élevée en flavonoïdes. En effet, les flavonols sont un sous-groupe de flavonoïdes qui sont un des sous-groupes de composés polyphénoliques. Cette faible contribution des flavonoïdes totaux aux phénoliques totaux pourrait s'expliquer par le fait que les feuilles de nos plantes renferment des teneurs en protéines et en sucres non discriminés par l'éthanol au cours de l'extraction et par le réactif de Folin-Ciocalteu (FCR) au cours du dosage. L'activité anti-oxydante des extraits végétaux a été corrélée à leur teneur totale en phénols en raison de leur capacité à récupérer les radicaux libres (EDZIRI *et al.*, 2012). La corrélation entre les phénols totaux et les flavonoïdes, trouve probablement son explication dans le fait que les flavonoïdes sont les composés polyphénoliques majoritaires. Les concentrations importantes notamment en polyphénols totaux, en flavonoïdes et phénols des feuilles montrent que *S. rotundifolius* est une source prometteuse en métabolites secondaires.

## **Conclusion**

Le dosage des composés phytochimiques des 121 accessions de *S. rotundifolius* a permis de mettre en évidence la présence des polyphénols totaux, de flavonoïdes totaux et des flavonols totaux dans les feuilles. Les extraits méthanoïques des feuilles des accessions possèdent une activité antioxydante très importante, grâce à leurs constituants (composés polyphénoliques). Cette étude a permis d'identifier des accessions potentielles en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en flavonols totaux, possédant des activités antioxydantes appréciables. Par ailleurs les activités antioxydantes de ces différents extraits sont en grande partie liées à la zone climatique. Ce travail est une première initiative sur la phytochimie des feuilles de *S. rotundifolius* au Burkina Faso et il serait intéressant pour la suite de l'étude de mener les études phytochimiques sur les différentes parties de la plante (feuilles, tiges et racines). Ceci contribuera à approfondir la connaissance phytochimique de *S. rotundifolius* et contribuer à sa valorisation.

## Conclusion générale et perspectives

*S. rotundifolius* est l'une des plantes négligées ou mineures dont les ressources génétiques ont été peu caractérisées ou valorisées. La présente étude a abordé trois aspects de la plante. Il s'agit de sa variabilité agromorphologique, de la caractérisation génétique à l'aide des SSRs et de la caractérisation biochimique par le criblage des accessions en métabolites secondaires. Ces différents points ont permis de réaliser les objectifs de cette étude.

Une importante diversité morphologique structurée en six groupes a été mise en évidence au sein de la collection de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana. L'organisation de cette diversité dépend plus du facteur « zone climatique » que du facteur « pays ». Des fortes corrélations entre les caractères quantitatifs ont été révélées et pourront être exploitées dans de futurs travaux de sélection.

L'analyse de la diversité à l'aide des marqueurs moléculaires SSR a révélé également la présence d'un polymorphisme structuré en quatre groupes génétiques. Cette structuration est faiblement influencée par le facteur « zone pays ». La diversité révélée dans cette étude pourrait être exploitée dans de programmes d'amélioration et de valorisation de *S. rotundifolius*.

Quant à la caractérisation biochimique sur la base d'extraits de feuilles, elle a montré l'existence d'une variabilité au sein de la collection de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana. Ces accessions sont riches en polyphénols, en flavonoïdes, en flavonols et ont une capacité antioxydante très élevée. Les accessions de la zone sahélienne du Burkina Faso ont été les accessions élites pour la teneur en métabolites secondaires et en capacité antioxydante.

*S. rotundifolius* appartient à une famille de plante (*Lamiacées*) dont la diversité génétique a été peu étudiée. Les microsatellites validés pourront servir de base pour l'analyse du polymorphisme de l'ADN nucléaire des plantes de la famille des *Lamiacées*.

Nous suggérons des tests multi locaux dans chaque zone climatique afin de mieux appréhender l'influence des différents facteurs sur le niveau et l'organisation de la diversité de *S. rotundifolius* du Burkina Faso et du Ghana.

Les accessions ayant montré une grande variabilité en métabolites secondaires, il serait important de faire l'analyse nutritionnelle des tubercules des accessions potentielles en métabolites secondaires de la collection afin d'apprécier la valeur nutritionnelle et la valeur thérapeutique de de *S. rotundifolius*. La réussite de ces travaux pourra par la suite servir de modèle pour la valorisation et la proposition d'une core collection de *S. rotundifolius* de la sous-région encore sous exploité.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**ABRAHAM M. AND RADHAKRISHNAN V.V., 2005.** Assessment and induction of variability in coleus (*Solenostemon rotundifolius*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 75(12): 834-836.

**ACULEY K., QUAINOO AK., MAHANU G., 2011.** Feasibility studies on the potential of grafting and budding of frafra potato (*Solenostemon rotundifolius*). *Journal of Bacteriology Research* 3(10) :327-332.

**AHMED, M.O., SALEM, F.B., BEDHIAF, S. AND M'NAOUER, D., 2010.** Analyse moléculaire de la diversité génétique des dromadaires (*Camelus dromedarius*) en Tunisie. *BASE*.

**ALMARAZ-ABARCA N., CAMPOS M.G., REYES.J.A.A. JIMÉNEZ N.N., CORRAL J.H. AND VALDEZ S.G., 2007.** Antioxidant activity of polyphenolic extract of monofloral honeybee-collected pollen from mesquite (*Prosopis juliflora*, Leguminosae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 119-124.

**ANBUSELVI S., BALAMURUGAN T.A., 2013.** Comparative study on physicochemical and nutritive constituents of *Manihot esculenta* Crantz and *Ipomoea batatas*. *Int J Pharm Biosci* 4(3):510–515.

**ARCA M., GOUESNARD B., MARY-HUARD T., LE PASLIER M.-C., BAULAND C., COMBES V., MADUR D., CHARCOSSET A., AND NICOLAS S. D., 2020.** Genome-wide SNP genotyping of DNA pools identifies untapped landraces and genomic regions that could enrich the maize breeding pool. bioRxiv, 2020.09.30.321018.

**ARCA M., MARY-HUARD T., GOUESNARD B., BERARD A., BAULAND C., COMBES V., MADUR D., CHARCOSSET A., AND NICOLAS, S. D., 2021.** Deciphering the Genetic Diversity of Landraces With HighThroughput SNP Genotyping of DNA Bulks: Methodology and Application to the Maize 50k Array. *Frontiers in Plant Science* 11 .

**ARZIKA, AM, MALIKI, R., GOODHEW, EB, ROGIER, E., PRIEST, JW, LEBAS, E., O'BRIEN, KS, LE, V., OLDENBURG, CE, DOAN, T. ET PORCO, TC, 2022.** Effet de la distribution semestrielle d'azithromycine sur les réponses anticorps aux agents pathogènes du paludisme, des bactéries et des protozoaires au Niger. *Nature Communications* , 13 (1), p.976.

**ASHA, A., JAYAPRAKASH, P., SELVARAJ, S., MATHARASI, DP ET RAJKUMAR, P., 2023.** Croissance, études spectrales et chimiques quantiques sur un monocristal de N-butyl-4-nitroaniline pour des applications de dispositifs optiques et optoélectroniques non linéaires. *Journal of Materials Science : Matériaux en électronique* , 34 (10), p.895.

**BAHORUN T., 1997.** Substances Naturelles actives.La flore Mauricienne .une source d’approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research council Mauritias.p83- 94.

**BAHORUN T., GRESSIER B., TROTIN F., BRUNET C., DINE T., LUYCKX M., VASSEUR J., CAZIN M., CAZIN J. C. & PINKAS M., 1996.** Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arznei. Forschung*, 46: 1086-1089.

**BAUTISTA.SALAS AM .,2009.** Caractérisation agro-morphologique et moléculaire d’une collection de landraces péruviennes de pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) pour l’analyse de sa diversité. Thèse de doctorat. Faculté universitaire Notre Dame de la paix. Namur, Belgique, 224 P.

**BEN NACEUR M., BELGHOUTHY A., CHAABANE R., BEN SALAH H., EL FELAH M. ET BETTAÏEB- BEN KAAB L., 2008.** L’aptitude des marqueurs SSR a révélé le polymorphisme chez quelques géotypes d’orge (*Hordeum vulgare* L). *Ann. de l’INRAT*, 61-75 pp.

**BOGNOUNOU O., 1970.** Note sur la culture du *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton dans la région de Ouagadougou. Notes et Documents Voltaïques, 3(2) : 63-66.

**BOICHARD D., LE ROY P., LEVEZIEL H. et ELSEN J.M., 1998.** Utilisation des marqueurs moléculaires en génétique animale. *INRA Production Animales* 11, 67-80.

**BOUAKAZ I., 2006.** Mémoire de magister. Université El Hadj Lakhdar de Batna.

**BUDAK H., PEDRAZA F., CREGAN P.B., BAENZINGER P.S., DWEIKAT I., 2003.** Development and utilization of SSRs to estimate the degree of genetic relationships in a collection of pearl millet germplasm. *Crop Sci.*, 43 :2284–2290.

**BURKILL, PH, EDWARDS, ES ET SLEIGHT, MA, 1995.** Microzooplankton et son rôle dans le contrôle de la croissance du phytoplancton dans la zone de glace marginale de la mer de Bellingshausen. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* , 42 (4-5), pp.1277-1290.

**BUSMANN R.W., GILBREATH G.G., SOLIO J., LUTURA M., LUTULUO R., KUNGURU K., WOOD N. and MATHENGE S.G., 2006.** Plant use of the Maasai of Sekenani Valley, Maasai Mara, Kenya. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2: 22.

**CAI Y., LUO Q., SUN M. & CORKE H., 2003.** Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*, 74(17):2157-2184.

**CAI, C., XU, C., LI, X., FERGUSON, I. ET CHEN, K., 2006.** Accumulation de lignine en relation avec le changement d'activité des enzymes de lignification dans la chair du fruit du nêfle après la récolte. *Postharvest Biology and Technology* , 40 (2), pp.163-169.

**CARLOS, C., TORRES, TT ET OTTOBONI, LM, 2013.** Communautés bactériennes et associations spécifiques aux espèces avec le mucus des espèces de coraux brésiliens. *Scientific Reports* , 3 (1), p.1624.

**CÉSPEDES C.L., VALDEZ-MORALES M., AVILA J.G., EL-HAFIDI M., ALARCON J. & PAREDES LOPES O., 2010.** Phytochemistry profile and antioxidant activity of Chilean wild black-berry fruits, *Aristotella chilensis* (Mol) Stuntz (Elaeocarpaceae). *Food Chemistry*, 119, 886-895.

**CHEVALIER A. ET PERROT E., 1905.** Les Coleus à tubercules alimentaires. In : Les végétaux utiles de l'Afrique Tropicale française. Etudes scientifiques et agronomiques, Vol. I, Fasc. I, Paris, pp. 100-152.

**CICCONE L., TONALI N., NENCETTI S., ORLANDINI E., 2020.** Natural compounds as inhibitors of transthyretin amyloidosis and neuroprotective agents: Analysis of structural data for future drug design. *J. Enzym. Inhib. Med. Chem*, 35, 1145–1162.

**CROZIER, A., CLIFFORD, MN ET ASHIHARA, H., 2006.** Métabolites secondaires des plantes. *Occurrence, structure et rôle dans l'alimentation humaine* , pp.Blackwell-Publishers.

**DACOSTA Y., 2003.** Les phytonutriments bioactifs. Ed Yves Dacosta. Paris. 317p.

**DE BRUIN S., DINGERINK J AND VAN VLIET J., 2021.** Urbanisation as driver of food system transformation and opportunities for rural livelihoods. *Food Security*, 13 :781–798. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01182-8>.

**DE VIENNE D. et SANTONI S., 1998.** Les principales sources de marqueurs moléculaires. In : Les marqueurs moléculaires en génétique et biotechnologie végétales. Institut national de la recherche agronomique, Paris, pp. 15-47.

**DIEYE P. I., FAYE, E. O. ., WANE T. M. ., DIAO S. N. ., GUEYE R. ., DIOP A. ., NDIAYE B. ., & SARR, S. O., 2024.** Evaluation de l'activité antioxydante et quantification des polyphénols totaux d'extraits de feuilles et de racines de *Jatropha chevalieri* (Euphorbiaceae). *Sciences De La Santé*, 44(1), 9– 21.

**DOYLE J.J. AND J.L. DOYLE., 1990.** A rapid total DNA preparation procedure for fresh plant tissue. *Focus* 12 : 13-15 pp.

**EBRAHIM, S. ET DAVEY SMITH, G., 2008.** Randomisation mendélienne : l'épidémiologie génétique peut-elle aider à corriger les échecs de l'épidémiologie observationnelle. *Human genetics* , 123 , pp.15-33.

**EDZIRI H. A., M. MASTOURI B., M. AOUNI A., L. VERSCHAEVE C., 2012.** Polyphenols content, antioxidant and antiviral activities of leaf extracts of *Marrubium deserti* growing in Tunisia. *South African Journal of Botany* 80. 104–109.

**ELEAZU C.O, ELEAZU K.C, IROAGANACHI M.A, AND KALU W., 2017.** Starch digestibility and predicted glycemic indices of raw and processed forms of hausa potato (*Solenostemon rotundifolius* Poir.). *Journal of Food Biochemistry*; doi:10.1111/jfbc.12355.

**ENYIUKWU D. N., AWURUM A. N. AND NWANERI, J. A., 2014.** Potentials of Hausa potato (*Solenostemon rotundifolios* (Poir) J. K. Morton) and Management of its Tuber Rot in Nigeria. *Greener Journal of Agronomy, Forestry and Horticulture* Vol. 2(2), pp. 027-037.

**EXCOFFIER L., SMOUSE P.E. AND QUATTRO J.M., 1992.** Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes : application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, 131 : 479–491 pp.

**FALLEH, H., KSOURI, R., CHAIEB, K., KARRAY-BOURAOUI, N., TRABELSI, N., BOULAABA, M. ET ABDELLEY, C., 2008.** Composition phénolique des organes de *Cynara cardunculus* L. et leurs activités biologiques. *Comptes Rendus. Biologies* , 331 (5), pages 372-379.

**FAO .,2017.** The world food and agriculture situation : the role of women in agriculture, 174p.

**FAO .,2020.** La sécurité alimentaire et la nutrition dans le monde. Pp. 1-66. ISSN 2663-8630.

**FEUER N. AND GARB Y., 2006.** The lock-in of major standard crops and the prospects of underutilized alternative species: A technological systems and institutional analysis. Arava Institute for Environmental Studies, 21 p.

**FOULLEY J.L. AND OLLIVIER L., 2006.** Diversité génétique et richesse allélique : concepts et application à des races bovines. In : *Treizièmes rencontres autour des recherches sur les ruminants, 6-7 décembre 2006, Paris, France*, 227-230.

**FUHRMAN B., A. LAVY AND M., AVIRAM., 1995.** Consumption of red wine with meals reduces the susceptibility of human plasma and low-density lipoprotein to lipid peroxidation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61: 549-554.

**GABRIEL A., AGRE P., EDEMODU A., OKON A. E., BHATTACHARJEE R., & DE KOYER D., 2021.** Genetic Diversity of White Yam (*Dioscorea rotundata* Poir) Accessions Maintained in Tissue Culture and Cultivated in Field using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers and Morphological Characterization. In *Journal of Agriculture and Crops* (Issue 72, pp. 60–68).

**GMAKOUBA, T., KOUSSAO, S., TRAORE, ER, KPEMOUA, KE ET ZONGO, JD, 2018.** Analyse de la diversité agromorphologique d'une collection de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) du Burkina Faso. *Journal international des sciences biologiques et chimiques* , 12 (1), pp.402-421.

**GOUADO I ., FOTSO M., DJAMPOU EJ., 2003.** Potentiel nutritionnel de deux tubercules (*Coleus rotundifolius* et *Solenostemon* ssp.) consommés au Cameroun. 2ème Atelier International, Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles, Ouagadougou, 13-28/11/2003, pp. 85-90.

**GOVAERTS R ., ROSKOV Y. OWER G., ORRELL T., NICOLSON D., BAILLY N., KIRK P.M., BOURGOIN T., DEWALT R.E., DECOK W., NIEUKERKEN E. VAN., ZARUCCHI J., PENEV L.,2017.** In : Species 2000 and ITIS Catalogue of life. ISSN 2405-8858.

**GUILLAUMET J.L. and CORNET A., 1976.** Observations on seasonal morphological variations of some Madagascar *Labiatae*, *Adansonia*, 15, 515-529.

**GUO S.W., AND THOMPSON E., 1992.** Performing the Exact Test of Hardy-Weinberg Proportion for Multiple Alleles. *Biometrics*, 48, 361-372.

- Haidara, M., Diarra, M., Doumbia, S., Denou, A., Dembele, D., Diarra, B. et Sanogo, R., 2020.** Plantes médicinales de l'Afrique de l'Ouest pour la prise en charge des affections respiratoires pouvant se manifester au cours de la Covid-19. *Journal international des sciences biologiques et chimiques*, 14 (8), pp.2941-2950.
- Hanifi, S., Lotfian, S., Zare-Behtash, H. et Cammarano, A., 2022.** Préviation de l'énergie éolienne offshore : un nouvel algorithme d'optimisation des hyperparamètres pour les modèles d'apprentissage profond. *Energies*, 15 (19), p.6919.
- Harborne J. B., & Williams C. A., 2000.** Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6):481-504. doi: 10.1016/s0031-9422(00)00235-1.
- Heo H.J., Kim Y.J., Chung D., Kim D.O., 2007.** Antioxidant Capacities of Individual and Combined Phenolics in a Model System. *Food Chem*, 104 (1) :87-92.
- Horvath T., Linden A., Yoshizaki F., Eugster C.H. and Rüedi P., 2004.** Abietanes and a novel 20-norabietanoid from *Plectranthus cyaneus* (Lamiaceae). *Helvetica Chimica Acta*, 87: 2346-2353.
- Hua L., Hadziabdic D., Amisshah N., Nowicki M., Boggess L.S., Staton M., Teng N and Robert N. Trigliano., 2018.** Characterization of fifteen microsatellite loci and genetic diversity analysis for the Ghanaian food security crop *Solenostemon rotundifolius* (frafra potato). *Afr. J. Biotechnol.*, Vol. 17(47), pp.1352-1357.
- IEZZI, A., LUIGIA F, M., CUCCURULLO, C., CORONA, C., PATRONO, C., CUCCURULLO, F., MEZZETTI, A. ET CIPOLLONE, F., 2006.** Surexpression de la cyclooxygénase-2 plaquettaire et monocytaire dans les thrombus coronariens de patients diabétiques : un mécanisme potentiel d'échec du traitement à l'aspirine.
- IRAT., 1977.** Enquêtes et observations concernant le problème des tubercules en HauteVolta. 77 p.
- IRAT., 1980.** Synthèses des études sur les tubercules de Haute-Volta 1977-1978-1979. 87 p.
- Jada M.Y., Bello D., Leuro J and B.B. Jakusko B.B., 2007.** Responses of Some Hausa Potato [*Solenostemon rotundifolius* (Poir) J.K. Morton] Cultivars to the Root-knot Nematode [*Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood] in Nigeria. *International journal of agriculture and biology*. Vol. 9, No. 6. 948–950p.

**JANSEN, P.C.M., 1996.** *Plectranthus rotundifolius* (Poiret) Sprengel. In: Flach, M. & Rumawas, F (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 9. Plants yielding non-seed carbohydrates. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 141–143.

**JORDANA J., ALEXANDRINO P., BEJA-PEREIRA A., BESSA I., CANON J., 2003.** Genetic structure of eighteen local south European beef cattle breeds by comparative F-statistics analysis. *J. Anim. Breed. Genet.*, vol. 120, p.p. : 73-87.

**JOVANOVIC S., STEENKEN S., TOSIC M., MARJANOVIC B., SIMIC M., 1994.** Flavonoids as anti-oxydants. *JAm Chem Soc* 116: 4846--4851.

**K.I. ASHAA., S.A. ASWANIB., N. KRISHNA RADHIKAA., B.S. PRAKASH KRISHNANA., 2023.** Genetic variability and diversity analysis of Chinese potato (*Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton) germplasm using morphological and molecular markers. *South African Journal of Botany* 155 (2023) 171-177.

**KAMAGATÉ MOHAMED LAMINE .,KIPRÉ GUEYRAUD ROLLAND., AGRÉ DON JOSETTE., PÉKOULA YVES PATRICK., GOHOUN CAROLE ZITA., ET DJAMAN ALLICO JOSEPH.,2023.** Composition phytochimique et activite antioxydante de *Oxyanthus unilocularis*, *Spathodea campanulata* et *Terminalia ivorensis*, trois plantes utilisees traditionnellement contre le paludisme en cote d'ivoire. *American Journal of Innovative Research & Applied Sciences*.17(5): 20-24.DOI: 10.5281/zenodo.10078923.

**KANA H. A., ALIYU I. A., AND CHAMMANG H. B., 2012.** Review on neglected and under-utilized root and tuber crops as food security in achieving the millennium development goals in Nigeria. *Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* , 4: 27-33.

**KANSOLE M.M.R., HILOU A., MILLOGO J. AND NACOULMA O., 2015.** Ethnobotany and Ethnopharmacognosy of Lamiaceae Species from Central Burkina Faso: *Leucas martinicensis* (Jacquin) R. Brown, *Hoslundia opposita* Vahl and *Orthosiphon pallidus* Royle Ex Benth. *American Journal of Ethnomedicine*. ISSN : 2348-9502/ Vol. 2, No. 4. 219- 232.

**KAWUKI S.R., MORAG F., MARYKE LABUSCHAGNE., LIEZEL HERSELMAN and DONG-JIN KIM., 2009.** Identification, characterisation and application of single nucleotide polymorphisms for diversity assessment in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Molecular Breeding* , 23(4): 669-684.

**KISHOREKUMAR A., JALEEL A.C., MANIVANNAN P., SANKAR B., SRIDHARAN R. AND PANNEERSELVAM R., 2006.** Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of Chinese potato (*Solenostemon rotundifolius* Poir. J. K. Morton). *Acta Biologica Szegediensis*, 50(3-4): 127-129.

**KOLLING M., WINKLEY K ET VON DEDEDEN M., 2010.** “For someone who’s rich, it’s not a problem.” Insights from Tanzania on diabetes health-seeking and medical pluralism among Dar es Salam’s urban poor. *Globalization and Health*, 6:8.

**KREMER A., 1994.** Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers, *Genetics Selection Evolution*, 26 (1) : 105-123.

**KREMER, M., 2002.** Produits pharmaceutiques et pays en développement. *Journal of Economic perspectives* , 16 (4), pp.67-90.

**LALIBERTE H. Y., 1998.** Caractérisation de la variabilité et des distances génétiques des bovins de race canadienne, suisse-brune et Holstein a l'aide du polymorphisme des caséines et de marqueurs microsatellites. Mémoire de maîtrise en science biologiques. Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 74 P.

**LAMIEN-MEDA A., LAMIEN C.E., COMPAORÉ M.M.Y., MEDA R.N.T., KIENDREBEOGO M., ZÉBA B., MILLOGO J.F. AND NACOUUMA O.G., 2008.** Polyphenol content and antioxidant activity of fourteen wild edible fruits from Burkina Faso. *Molecules*, 13: 581-594. . doi: 10.3390/molecules13030581. PMID: 18463567; PMCID: PMC6245336.

**LEBOT V ., IVANCIC A., KUTTOLAMADATHIL A., 2005.** The geographical distribution of allelic diversity, a practical means of preserving and using minor root crop genetic resources. *Experimental Agriculture* 41(4): 475–489.

**LIGA S.; PAUL C.; PETER F., 2023.** Flavonoids: Overview of Biosynthesis, Biological Activity, and Current Extraction Techniques. *Plants*, 12, 2732. <https://doi.org/10.3390/plants12142732>.

**LOUMANA ARZIKA NABIRNI., OUMAROU HAMA., ZAKARI ABDOUL WAHAB & MOUSSA BARAGÉ., 2022.** Essai de caractérisation agromorphologique des dix variétés locales de la patate douce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) sur le site sahélien expérimental de CERRA Tahoua, au Niger (Afrique de l’Ouest). *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 16 (03): pp 52-65.

**LUKHOBBA, CW, SIMMONDS, MS ET PATON, AJ, 2006.** *Plectranthus* : une revue des utilisations ethnobotaniques. *Journal of ethnopharmacology* , 103 (1), pp.1-24.

**MANACH C., SCALBERT A., REMESY C. & MORAND C., 2006.** Consommation et disponibilité des polyphénols. In: Les polyphénols en agroalimentaire. P. Sarni-Manchado and V. Cheynier (eds). Paris, Lavoisier, 361–380.

**MANGAMBU M., VAN DIGGELEN R., MWANGA MWANGA J-C., NTAHOBVUKA H. MALAISSE F. & ROBBRECHT E., 2012.** Etude ethnoptéridologique, évaluation des risques d'extinction et stratégies de conservation aux alentours du Parc National de Kahuzi Biega en R.D. Congo. *Geo-Eco-Trop*, 36 (1/2) : 137-15.

**MARFAK A., 2003.** Thèse de doctorat Radiolyse Gamma des flavonoïdes ; Etude de leur réactivité avec des radicaux issus des alcools. pp: 6-7-10.

**MARTYNOV S.P., DOBROTVORSKAYA T.V., DOTLACIL L., STEHNO Z., FABEROVA I. ET BARES I., 2003.**Genealogical approach to the formation of the winter wheat core collection. *Russian J.Genet.*, 39(8) : 917-923.

**MEDA A., 2005.** Utilisations thérapeutiques des produits de la ruche, étude phytochimique et activités biologiques des miels du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, 139p.

**MIGNOUNA H.D., ABANG M.M., WANYERA N.W., CHIKALEKE V.A., ASIEDU R., THOTTAPPILLY G., 2005.** PCR markerbased analysis of wild and cultivated yams (*Dioscorea spp.*) in Nigeria: genetic relationships for ex situ conservation. *Gen Res Crop* ; 52 : 755-63.

**MIGNOUNA, H., MANK, R., ELLIS, T., VAN DEN BOSCH, N., ASIEDU, R., ABANG, M. ET PELEMAN, J., 2002.** Une carte de liaison génétique de l'igname d'eau (*Dioscorea alata* L.) basée sur des marqueurs AFLP et une analyse QTL pour la résistance à l'anthracnose. *Génétique théorique et appliquée* , 105 , pp.726-735.

**MINGEOT D. ET WATILLON B., 2005 .** Authentification variétale par marqueurs moléculaires Journée d'étude Pomme de terre CRA-W, Gembloux 3 pages.

**MINN Y., GAILING O., AND FINKELDEY R., 2016.** Genetic diversity and structure of teak (*Tectona grandis* L. f.) and dahat (*Tectona hamiltoniana* Wall.) based on chloroplast

microsatellites and Amplified Fragment Length Polymorphism markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63, 961-974.

**MOHAMMEDI Z., 2013.** Etude Phytochimique et Activités Biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud-Ouest de l'Algérie. Thèse Doctorat en biologie. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. P160.

**MORALES M., DECKER V. ET ORNELLA L., 2010.** Analysis of genetic diversity in Argentinian Heterotic maize populations using molecular markers. *Ciencia e Investigacion Agregaria*, vol. 31, n. 1, p.p. : 151-160.

**MOROU HIMA R., DJIBO A. K., SALEY A. E. H., GAMBO S., MOUSSA I., & IKHIRI K., 2023.** Activité Antibactérienne de l'Écorce de *Pilostigma reticulatum* (caesalpiniaceae) Sur des Enterobacteriaceae et Staphylococcaceae. *ESI Preprints*, 17, 81.

**NACOUлма O. G., 1996.** Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles au Burkina Faso : cas du plateau central. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université de Ouagadougou.

**NACOUлма-OUÉDRAOGO O., 1996.** Plantes médicinales et pratiques médicinales traditionnelles au Burkina Faso : Cas du plateau central. Tome I. Thèse Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université de Ouagadougou.

**NANEMA K. R., 2010.** Ressources génétiques de *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton du Burkina Faso : système de culture, variabilité agromorphologique et relations phylogénétiques entre ses différents morphotypes cultivés au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO, 48 p.

**NANEMA K. R., BATIONO-KANDO P., OUEDRAOGO M. H., SAWADOGO N., NYADANU D., BA H. A., TRAORE R. E., KIEBRE Z., SAWADOGO M. and ZONGO J.-D., 2018.** Characteristics of three morphotypes of *Solenostemon rotundifolius* [(Poir.) J. K. Morton] based on qualitative morphological traits', *African Journal of Agricultural Research*, 13(26): 1338–1348. doi: 10.5897/AJAR2018.13222.

**NANEMA K. R., MISSIHOUN A.A., CLEMENT AGBANGLA C., AHANHANZO C., ERNEST RENAN TRAORE E. R., PAULINE BATIONO/KANDO P., SAWADOGO M. AND ZONGO J.D., 2010.** Etude de la relation phylogénétique entre trois morphotypes de *Solenostemon rotundifolius* (Poir J. K. Morton) originaires du Burkina Faso par les marqueurs

microsatellites chloroplastiques (SSRcp). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(6): 1922-1931. ISSN 1991-8631 .

**NANEMA K. R., SAWADOGO N., TRAORE E. R. AND BA A. H., 2017.** Marketing Potentialities and Constraints for Frafra Potato: Case of the Main Markets of Ouagadougou (Burkina Faso). *Journal of Plant Sciences*. Vol. 5, No. 6, 2017, pp. 191-195.

**NANEMA K. R., TRAORE E. R., BATIONO/KANDO P. and ZONGO JD., 2009.** Morphoagronomical characterization of *Solenostemon rotundifolius* (Poir. J. K. Morton) (Lamiaceae) germplasm from Burkina Faso, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 3(5), 1100-1113.

**NANEMA K. R., KIEBRE Z., TRAORE E. R., BA A H., KUSI F., 2019.** Characterisation of tree morphotypes of *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton cultivated in Burkina Faso using quantitative traits. *Academic Journals*. Vol.11 (2), pp. 6-15.

**NIINO T., HETTIARACHCHI A., TAKAHASHI J. and SAMARAJEEWA P.K., 2000.** Cryopreservation of lateral buds of in vitro grown in vitro plants (*Solenostemon rotundifolius*) by vitrification. *Cryo Letters*, 21(6) : 349-356.

**NIINO, M., KIKUCHI, S., FUKAZAWA, T., YABE, I. ET TASHIRO, K., 2003.** Polymorphismes de l'apolipoprotéine E et patients japonais atteints de sclérose en plaques. *Multiple Sclerosis Journal* , 9 (4), pp.382-386.

**NKANSAH G.O., 2004.** *Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J. K. Morton. [Internet] Record from Protabase. Grubben, G.J.H. and Denton, O.A. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale). Wageningen, Netherlands.

**NRC., 2006.** Lost Crops of Africa. Volume II: Vegetables. The National Academies Press, Washington, D.C., 269-285.

NRI .,1987. Root Crops (2nd edition). Tropical Development and Research Institute. 308 p.

**OKIGBO R.N. AND NMEKA I.A.,2005 .** Control of yam tuber rot with leaf extracts of *Xylopiya aethiopia* and *Zingiber officinale*. *African Journal of Biotechnology* Vol. 4 (8), pp. 804-807.

**OMS.,2012.** Stratégie pour la médecine traditionnelle 2007–2011. Genève

**OPOKU-AGYEMAN MO., BENNETT-LARTEY SO., VODOUHE RS., OSEI C., QUARCOO E., BOATENG SK., OSEKERE EA., 2007.** Morphological characterisation of

frafra potato (*Solenostemon rotundifolius*) germplasm from the savannah regions of Ghana. Plant genetic resources and food security in West and Central Africa. Regional Conference, Ibadan, Nigeria, 26-30 April, 2004, pp. 116-123.

**OUEDRAOGO A., SEDEGO A. ET ZONGO J.D., 2007.** Perceptions paysannes de la culture et des utilisations du « fabirama » (*Solenostemon rotundifolius* (Poir.) J.K. Morton) dans le plateau central du Burkina Faso. Ann. Bot. Afr. Ouest, (04) : 13-21.

**OUEDRAOGO M., 2003.** Etude de la variabilité génétique et du flux de gènes chez des populations sauvages de *Phaseolus lunatus* L. dans la vallée centrale du Costa Rica à l'aide des marqueurs enzymatiques et microsatellites. Thèse de Doctorat, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 141p.

**OUEDRAOGO, M., BARRY, S., ZOUGMORE, RB, PARTEY, ST, SOME, L. ET BAKI, G., 2018.** La volonté des agriculteurs de payer pour des services d'information climatique : témoignages des producteurs de niébé et de sésame du nord du Burkina Faso. *Durabilité* , 10 (3), p.611.

**PARK M., PATEL N., KEUNG A.J., AND KHALIL A.S., 2019.** Engineering Epigenetic Regulation Using Synthetic Read-Write Modules.

**PHILIP T.K ., ITODO I.N., 2006.** (*Digitaria spp*) a Rediscovered indigenous crop of West Africa. Agri.Eng.Int.:the CIGR Ejournal. Invited Overview, 8(23).

**PHUNGpanya C., THONGPOON C., PRIPDEEVECH P., MACHAN T., 2012.** Analysis of aroma volatiles from fresh leaves of *Plectranthus amboinicus* using solid-phase microextraction (SPME) technique. Pure and Applied Chemistry International Conference 2012, Jan. 11- 13, Chiang Mai, Thailand, pp: 1670-1672.

**PRATHIBA S., NAMBISAN B., LEELAMMA S., 1995.** Enzyme inhibitors in tuber crops and their thermal stability. Plant Foods Hum. Nutr., 48(3) : 247-257.

**PRICE JR AND STURGESS VC., 1938.** CCXIV. A survey of anthocyanins VI. pp. 1658-1660.

**PRITCHARD JK., STEPHENS M., DONNELLY P., 2000.** Inference of population structure using multilocus Genotype Data. Genetics 155, 945–959.

**PROTA (PLANT RESOURCES OF TROPICAL AFRICA) ., 2013.** *Solenostemon rotundifolius* Poir. (Synonyms: *Germania rotundifolius* Poir., *Plectranthus roundifolius* Sims)

database. [http://uses.plantnet-project.org/en/Solenostemon\\_rotundifolius](http://uses.plantnet-project.org/en/Solenostemon_rotundifolius) (PROTA). Retrieved October 2017.

**QUAIN, MD, AGYEMAN, A. ET DZOMEKU, BM, 2018.** Évaluation de la parenté des groupes génotypiques des accessions de plantain (*Musa sapientum* L.) à l'aide de marqueurs de répétitions de séquences simples. *Revue africaine de biotechnologie* , 17 (16), pp.541-551.

**QURESHI M. S., QURESHI S. A., & IQBAL M. M., 2016.** Genetic diversity analysis of Pakistani wheat varieties using amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Cereal Research Communications*, 44(1), 1-12.

**RAO S. V. R., RAJU M. V. L. N., PANDA A. K., REDDY M. R., 2006.** SUNFLOWER SEED MEAL AS A SUBSTITUTE FOR SOYBEAN MEAL IN COMMERCIAL BROILER CHICKEN DIETS. *BR. POULT. SCI.*, 47 (5): 592-598.

**RAZALI N., SHEIKHA A.F.E., MUSTAFA S., AZMI A.M.F.N., AMID M., MANAP M.Y.A., 2012.** Chemical and Nutritional Composition of *Coleus tuberosus* (Ubi Kemili) Tubers for Malaysia: Preliminary studies. *Food 2012 Global Science Books*. N°6 Vol 1 : 100-104.

**REIN M. J., 2005.** *Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins*. Ph D Dissertation, University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology, 88 p.

**RYDING O., 1994.** The importance of pericarp structure in the classification of labiates. *Lamiales Newsletter*, 3, 1-3.

**SAGBADJA H.A., MISSIHOUN A.A., SEDAH P., DAGBA R.A., KINHOEGBE G., AHANHANZO C., & CLEMENT AGBANGLA C., 2014.** Variabilité génétique des accessions d'igname introduites au Bénin à partir des îles du Sud-Pacifique. *Journal of Applied Biosciences* , 73:5966– 5978.

**SALEH B., BOUDJENIBA M., BOUZERZOUR H., & MAATALLAH S., 2018.** Genetic diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germplasm in Algeria using SSR markers. *Cereal Research Communications*, 46(2), 358-368

**SARWAT M., AL-FAIFI S.A., AL-TAMIMI A., AL-DOSS A.A., MIGDADI H.M., & ABDALLAH A.I., 2019.** Assessment of Genetic Variation in Five Wheat Varieties using SSR Markers. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(4), 2145-2153.

**SARWAT M., SALEEM M., RANA I. A., ALI S., & JAVED M. A., 2018.** Genetic Diversity Analysis of Five Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars using DNA Markers. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 31(2), 163-171.

**SAVADOGO S., SAMBARE O., SEREME A., THIOMBIANO A., 2016.** Méthodes traditionnelles de lutte contre les insectes et les tiques chez les Mossé au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 105 :10120 –10133.

**SCALBERT A., WILLIAMSON G., 2000.** Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr.* 130, 2073-2085.

**SCHIPPERS R.R., 2000.** African indigenous vegetables. An overview of the cultivated species. Natural Resources Institute/ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Chatham, United Kingdom 214p.

**SHAO H., CHU L.Y., JALEEL C.A. and ZHAO C-X., 2008.** Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biologies*, 331, 215-225.

**SKERGET M., KOTNIK P., HADOLIN M., HRAS A. R., SIMONIC M., KNEZ T., 2005.** Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 89, 191-198.

**SMITH J.S.C., KRESOVICH S., HOPKINS M.S., MITCHELL S.E., DEAN R.E., WOODMAN W.L., LEE M. & PORTER K., 2000.** Genetic diversity among elite *sorghum* inbred lines assessed with simple sequence repeats. *Crop Science* 40:226-232.

**SP/CONEDD., 2014.** Cinquième rapport national du BURKINA Faso à la conférence des parties à la convention sur la diversité biologique, Ouagadougou, 104 p.

**STAGEL A., PORTIS E., TOPPINO L., ROTINO G.L. AND LANTERI S., 2008.** Gene-based microsatellite development for mapping and phylogeny studies in eggplant. *BMC Genomics*, 9 : 357, 14 p.

**STOCKWELL C.A., HENDRY A.P. AND KINNISON M.T., 2003.** Contemporary evolution meets conservation biology. *Trends in Ecology & Evolution* 18 : 94-101.

**SUGRI I., KUSI F., KANTON LAR., NUTSUGAH KS., ZAKARIA M., 2013.** Sustaining frafra potato (*Solenostemon rotundifolius* Poir.) in food chain ; current opportunities in Ghana. *Journal of Plant Sciences* 1(4) :68-75.

**TAPIERO, H., BA, GN, COUVREUR, P. ET TEW, KD, 2002.** Acides gras polyinsaturés (AGPI) et eicosanoïdes en santé humaine et pathologies. *Biomédecine & pharmacothérapie*, 56 (5), pp.215-222.

**TARPAGA W. V., 2001.** Etude de la variabilité agromorphologique d'une collection de *Solenostemon rotundifolius* du Burkina Faso. Mém. d'Ing. de Dev. Rural, Univ. Bobo-Dosso, Bobo Dosso, 56 p

**TAUTZ D., 1989.** Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers. *Nucleic Acid. Res.*, 17 : 6463-6471.

**THIA J. A., HALE M. L., AND CHAPMAN H. M., 2016.** Interspecific comparisons with chloroplast SSR loci reveal limited genetic variation in Nigerian montane forests: A study on *Cordia millenii* (West African Cordia), *Entandrophragma angolense* (tiamahogany), and *Lovoa trichilioides* (African walnut). *Tropical Conservation Science* 9, 321-337 .

**TIGHANKOUMI G ., SOME K., ERNEST R. T., KOSSI E. K., ET JEAN-D. Z ., 2018 .** Analyse de la diversité agromorphologique d'une collection de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences. Sci.* 12(1): 402-421

**TRAORE R. E., 2014.** Etude de la diversité du taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) : cas d'une collection du Burkina Faso et d'une collection internationale. Thèse Unique de Doctorat, Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 181 p

**TRESSERRA R.A., LAMUELA R.R.M., MORENO J.J., 2018.** Polyphenols, food and pharma. Current knowledge and directions for future research. *Biochem. Pharmacol*, 156, 186–195.

**TRUSTY J.L., OLMSTEAD R.G., BOGLER D.J., SANTOS-GUERRA A. and FRANCISCO-ORTEGA J., 2004.** Using molecular data to test a biogeographic connection of the Macaronesian genus *Bystropogon* (*Lamiaceae*) to the new world: a case of conflicting phylogenies. *Systematic Botany*, 29(3): 702-715.

**VALAZQUEZ, EJ, WEAVER, WD, ARMSTRONG, PW, KILARU, R., DIAZ, R., WHITE, HD, VAN GILST, WH, SPAC, J., O'CONNOR, CM, FRANCIS, GS ET DREXLER, H., 2003.** L'insuffisance cardiaque et/ou le dysfonctionnement systolique du ventricule gauche compliquant l'infarctus du myocarde sont fréquents et représentent la

majorité des décès par infarctus du myocarde à l'hôpital : résultats du registre VALIANT [Résumé 1038-71]. *J Am Coll Cardiol* , 41 , p.148A.

**VAZ PATTO M. C., SATOVIC Z., PEGO S. ET FEVEREIRO P., 2004.** Assessing the genetic diversity of Portuguese maize germplasm using microsatellite markers. *Euphytica*, n. 137, p.p. : 63-72.

**WILLIAMS JT. AND HAQ N., 2000.** Global research on underutilised crops an assessment of current activities and proposals for enhanced cooperation. International Centre for Underutilised Crops, Southampton, UK, 50 p.

**YAPO, ALM, DIAWARA, A., KOUASSI, BK, YOROBA, F., SYLLA, MB, KOUADIO, K., TIEMOKO, DT, KONE, DI, AKOBE, EY ET YAO, KP, 2020.** Évolution projetée de l'intensité des précipitations extrêmes et de la durée des périodes de sécheresse en Côte d'Ivoire sous les climats futurs. *Climatologie théorique et appliquée* , 140 , pp.871-889.

## ANNEXES

### ANNEXE I : Donnés brute du Criblages phytochimiques des feuilles de *S. rotundifolius*

Accessions		Polyphénol totaux (mg/g)					Flavonoïdes (mg/g)					IC50 (µg/ml)					Flavonols (mg/g)				
Colonne1	Origine	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne	SD	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne	SD	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne	SD	Test1	Test2	Test3	Moyenne	SD
E101	Gourma	87,05	86,44	83,79	85,76	1,73	21,83	23,46	23,06	22,79	0,85	10,42	10,44	10,47	10,44	0,03	11,57	11,99	10,75	11,44	0,63
E080	kourweogo	94,19	92,56	95,21	93,98	1,34	40,60	41,41	39,78	40,60	0,82	5,80	5,67	5,67	5,71	0,08	21,06	20,47	19,29	20,27	0,90
E105	Sissili	72,78	71,97	75,23	73,33	1,70	47,53	50,79	55,28	51,20	3,89	9,33	9,85	9,88	9,69	0,31	31,05	29,88	30,46	30,46	0,59
E104	Gourma	72,78	72,17	74,21	73,06	1,05	45,08	43,45	45,08	44,54	0,94	10,42	10,48	10,52	10,47	0,05	23,98	21,04	24,57	23,20	1,89
E22	Nahouri	132,10	132,30	132,71	132,37	0,31	68,33	66,29	66,70	67,11	1,08	2,61	2,65	2,68	2,65	0,04	17,53	19,29	18,70	18,51	0,90
E110	Gourma	88,68	90,11	88,89	89,23	0,77	48,75	49,98	47,94	48,89	1,03	21,33	23,00	23,78	22,70	1,25	28,70	26,35	26,35	27,13	1,36
E112	Nombiel	73,19	72,78	74,21	73,40	0,73	31,21	30,40	29,18	30,26	1,03	5,21	5,23	5,22	5,22	0,01	14,57	13,99	15,75	14,77	0,90
E113	Gourma	76,66	75,03	77,47	76,39	1,25	40,19	41,00	39,78	40,32	0,62	10,45	10,42	10,67	10,51	0,14	9,30	8,71	10,47	9,49	0,90
E116	Nombiel	75,23	75,64	76,25	75,71	0,51	30,40	29,99	32,03	30,81	1,08	19,89	18,78	17,54	18,74	1,18	11,06	12,24	9,30	10,86	1,48
E118	Nombiel	96,84	96,63	95,61	96,36	0,66	57,71	50,16	51,38	53,08	4,05	5,21	5,20	5,33	5,25	0,07	18,70	20,47	17,53	18,90	1,48
E120	Nombiel	76,25	76,25	77,88	76,79	0,94	41,41	41,82	42,63	41,96	0,62	22,12	22,23	22,37	22,24	0,13	22,23	19,88	23,40	21,83	1,80
E122	Nombiel	139,64	140,86	140,46	140,32	0,62	14,90	15,72	15,31	15,31	0,41	10,11	11,23	11,42	10,92	0,71	2,24	1,65	2,83	2,24	0,59
E126	Bazega	149,83	149,02	149,22	149,36	0,42	67,92	67,11	68,33	67,79	0,62	5,47	5,56	6,32	5,78	0,47	39,28	38,11	41,05	39,48	1,48
E128	Bazega	138,42	138,21	139,03	138,55	0,42	43,45	47,53	41,41	44,13	3,12	22,63	22,20	24,30	23,04	1,11	14,00	11,65	12,82	12,82	1,18
E139	Passoré	88,92	86,89	88,52	88,11	1,08	41,00	42,23	40,60	41,28	0,85	22,43	23,21	25,11	23,58	1,38	26,94	22,82	23,41	24,39	2,23
E140	Passoré	97,86	97,86	99,08	98,26	0,71	74,04	76,08	75,67	75,26	1,08	5,12	5,32	5,34	5,26	0,12	57,51	55,75	52,81	55,35	2,38
E131	bazega	94,59	95,82	95,41	95,27	0,62	53,01	53,83	54,65	53,83	0,82	8,21	8,75	10,87	9,28	1,41	29,88	30,46	32,81	31,05	1,56
E144	Passoré	63,00	63,00	64,83	63,61	1,06	36,52	36,92	33,25	35,57	2,01	25,67	26,14	24,86	25,56	0,65	9,88	8,11	6,94	8,31	1,48
E146	Boulkiemdé	112,12	110,29	110,90	111,10	0,93	29,58	29,18	29,58	29,45	0,24	11,87	12,53	12,67	12,36	0,43	3,42	4,59	5,18	4,40	0,90
E148	Passoré	141,48	141,88	142,90	142,09	0,73	70,78	70,37	68,74	69,96	1,08	31,00	31,33	32,00	31,44	0,51	32,23	35,17	32,81	33,40	1,56
E149	Passoré	87,26	87,66	88,68	87,87	0,73	44,67	43,04	42,23	43,31	1,25	20,83	20,85	21,32	21,00	0,28	19,29	23,41	19,29	20,66	2,38
E155	Sanmatenga	159,82	162,27	159,82	160,64	1,41	83,83	83,01	85,05	83,97	1,03	2,56	2,61	2,64	2,60	0,04	43,99	44,57	46,93	45,16	1,56

E147	kourweogo	129,40	129,40	127,98	128,93	0,82	63,03	57,32	62,62	60,99	3,19	12,42	12,21	12,52	12,38	0,16	38,69	39,28	31,04	36,34	4,59
E157	Sanmatenga	122,93	121,30	124,35	122,86	1,53	70,37	74,04	74,86	73,09	2,39	5,32	6,43	7,84	6,53	1,26	53,98	51,63	55,16	53,59	1,80
E160	Boulkiemdé	117,42	116,00	117,42	116,95	0,82	16,53	15,72	16,12	16,12	0,41	6,23	6,34	6,21	6,26	0,07	5,18	6,94	5,77	5,96	0,90
E167	Boulkiemdé	56,07	54,24	56,07	55,46	1,06	22,65	25,91	25,50	24,69	1,78	13,89	13,45	13,98	13,77	0,28	10,59	10,70	11,59	10,96	0,55
E173	Gourma	112,33	112,33	111,31	111,99	0,59	70,57	71,79	79,75	74,04	4,99	7,21	7,45	8,67	7,78	0,78	31,62	39,86	38,09	36,52	4,34
E181	Kourweogo	130,26	131,28	131,28	130,94	0,59	76,08	75,26	75,67	75,67	0,41	16,46	17,23	18,25	17,31	0,90	10,47	9,88	11,65	10,67	0,90
E182	Kourweogo	66,06	67,48	67,48	67,01	0,82	20,61	22,24	23,87	22,24	1,63	16,33	18,33	17,00	17,22	1,02	1,65	1,06	0,48	1,06	0,59
E187	Sanmatenga	131,49	130,26	130,26	130,67	0,71	67,52	68,74	67,11	67,79	0,85	58,40	54,50	56,10	56,33	1,96	35,75	39,28	33,40	36,14	2,96
E19	kadiogo	61,44	65,12	63,69	63,42	1,85	40,19	41,00	42,63	41,28	1,25	28,32	28,67	29,56	28,85	0,64	9,88	9,30	8,71	9,30	0,59
E30	Nahouri	148,00	148,41	147,59	148,00	0,41	82,61	94,84	90,76	89,40	6,23	3,61	3,73	3,82	3,72	0,11	29,88	28,11	26,94	28,31	1,48
E35	Nahouri	136,99	136,18	137,81	136,99	0,82	29,58	26,32	27,14	27,68	1,70	6,12	6,23	7,13	6,49	0,55	13,41	15,76	14,59	14,59	1,18
E36	Nahouri	44,51	46,34	44,51	45,12	1,06	27,14	28,77	26,32	27,41	1,25	19,86	19,00	19,60	19,49	0,44	10,82	11,65	10,41	10,96	0,63
E78	Nahouri	145,76	147,39	146,16	146,44	0,85	83,83	85,46	85,87	85,05	1,08	1,31	1,32	1,43	1,35	0,07	31,64	29,29	32,23	31,05	1,56
E80	Nahouri	96,84	97,24	98,06	97,38	0,62	88,72	89,13	90,76	89,54	1,08	8,23	9,11	9,67	9,00	0,73	13,41	11,65	10,47	11,84	1,48
E83	kourweogo	127,62	125,78	125,78	126,39	1,06	85,87	87,09	87,91	86,96	1,03	20,70	21,60	21,30	21,20	0,46	39,87	38,69	36,93	38,50	1,48
E91	kourweogo	140,86	139,85	140,25	140,32	0,51	42,23	40,19	41,41	41,28	1,03	6,56	8,34	8,35	7,75	1,03	14,59	15,76	14,00	14,78	0,90
E95	Gourma	50,79	50,39	59,16	53,45	4,95	28,36	23,46	18,57	23,46	4,89	20,83	21,12	21,15	21,03	0,18	6,36	6,94	7,53	6,94	0,59
E006	Passoré	113,14	113,35	113,96	113,48	0,42	55,28	55,69	54,87	55,28	0,41	3,47	4,23	4,67	4,12	0,61	23,41	22,23	24,58	23,41	1,18
QA99005	Upper East	100,30	100,91	101,32	100,85	0,51	52,02	52,42	50,38	51,61	1,08	7,24	7,35	7,56	7,38	0,16	42,21	44,57	49,86	45,55	3,92
QU019-1	Upper East	125,17	124,35	125,17	124,90	0,47	58,95	58,13	60,17	59,09	1,03	3,67	3,56	3,11	3,45	0,30	10,47	12,24	12,82	11,84	1,22
UE006	Upper East	83,59	80,53	81,35	81,82	1,58	49,16	50,38	49,98	49,84	0,62	10,23	10,45	10,32	10,33	0,11	9,88	11,06	9,30	10,08	0,90
UE008	Upper East	121,30	120,68	118,24	120,07	1,62	78,94	78,53	73,63	77,03	2,95	14,97	14,98	15,11	15,02	0,08	41,63	43,40	42,22	42,42	0,90
UE009	Upper East	108,86	109,68	108,25	108,93	0,72	79,75	78,12	76,90	78,26	1,43	7,23	7,45	8,02	7,57	0,41	19,87	18,69	16,93	18,50	1,48
UE0103	Upper East	114,37	113,55	109,07	112,33	2,85	69,15	67,11	66,29	67,52	1,47	2,64	2,69	2,78	2,70	0,07	24,58	25,76	28,11	26,15	1,80
UE013	Upper East	112,33	110,70	110,49	111,17	1,01	31,62	32,85	34,07	32,85	1,22	16,98	17,45	16,78	17,07	0,34	17,51	16,34	16,93	16,93	0,59
UE013RT	Upper East	101,52	100,51	100,91	100,98	0,51	45,49	47,53	46,31	46,44	1,03	18,21	18,34	19,08	18,54	0,47	19,29	18,12	18,70	18,70	0,59
UE014	Upper East	165,32	165,73	167,16	166,07	0,96	63,84	60,17	65,88	63,30	2,89	14,87	15,21	15,32	15,13	0,23	6,36	5,77	6,94	6,36	0,59

UE014R/T	Upper East	101,32	99,69	101,12	100,71	0,89	71,59	73,23	70,37	71,73	1,43	13,20	13,70	12,98	13,29	0,37	34,58	36,93	38,11	36,54	1,80
UE017	Upper East	101,73	104,79	104,58	103,70	1,71	41,41	42,23	40,19	41,28	1,03	11,21	11,32	11,42	11,32	0,11	13,41	14,00	15,18	14,20	0,90
UE028	Upper East	106,21	106,42	107,03	106,55	0,42	51,20	49,16	50,38	50,25	1,03	19,26	19,27	19,68	19,40	0,24	18,12	18,70	18,70	18,51	0,34
UE018-1	Upper East	117,22	119,05	118,04	118,10	0,92	42,63	42,23	40,60	41,82	1,08	13,34	13,42	13,67	13,48	0,17	25,17	25,76	29,88	26,94	2,56
UE022-1	Upper East	122,32	121,70	122,52	122,18	0,42	64,66	67,92	65,48	66,02	1,70	4,23	4,32	4,34	4,30	0,06	26,94	24,58	25,76	25,76	1,18
UE019YT	Upper East	167,77	167,36	168,99	168,04	0,85	61,80	63,44	65,07	63,44	1,63	6,23	6,56	6,72	6,50	0,25	22,82	21,64	22,82	22,43	0,68
UE020	Upper East	101,32	101,93	102,34	101,86	0,51	19,79	19,39	18,16	19,11	0,85	10,12	10,23	10,68	10,34	0,30	6,36	5,77	7,53	6,55	0,90
UE022/RT	Upper East	106,01	105,81	105,40	105,74	0,31	60,58	62,21	63,03	61,94	1,25	6,21	6,32	6,97	6,50	0,41	24,00	21,64	24,00	23,21	1,36
UE023YT	Upper East	96,23	96,02	96,43	96,23	0,20	47,94	46,71	48,75	47,80	1,03	8,21	8,31	8,87	8,46	0,36	13,41	14,59	12,24	13,41	1,18
UE029	Upper East	108,45	107,84	107,44	107,91	0,51	35,70	36,92	35,29	35,97	0,85	10,12	10,34	10,07	10,18	0,14	4,00	4,59	3,42	4,00	0,59
UE040	Upper East	105,19	106,42	106,62	106,08	0,77	84,24	83,01	82,20	83,15	1,03	9,67	10,20	9,11	9,66	0,55	15,76	15,76	15,18	15,57	0,34
UE044	Upper East	161,86	161,45	161,25	161,52	0,31	82,61	83,01	83,83	83,15	0,62	9,85	9,87	9,78	9,83	0,05	35,17	34,58	34,58	34,77	0,34
UE046	Upper East	60,15	59,54	60,76	60,15	0,61	22,24	23,46	28,77	24,82	3,47	5,02	5,06	5,11	5,06	0,05	9,30	8,12	8,12	8,51	0,68
UE052	Upper East	171,85	172,66	173,27	172,59	0,72	77,71	80,57	80,57	79,62	1,65	5,75	5,86	5,96	5,86	0,11	29,88	28,70	29,29	29,29	0,59
UE058	Upper East	28,96	29,78	29,37	29,37	0,41	13,06	13,06	12,24	12,79	0,47	27,30	26,20	26,80	26,77	0,55	5,18	3,42	4,00	4,20	0,90
UE045	Upper East	77,88	78,90	78,08	78,29	0,54	62,21	60,17	58,13	60,17	2,04	8,23	8,29	8,43	8,32	0,10	48,69	46,93	49,87	48,49	1,48
UE066	Upper East	139,23	137,81	139,03	138,69	0,77	87,09	85,05	86,28	86,14	1,03	7,12	7,24	7,36	7,24	0,12	53,39	52,81	53,39	53,20	0,34
UE067	Upper East	72,78	72,58	72,99	72,78	0,20	51,20	52,02	51,20	51,47	0,47	13,23	13,35	13,56	13,38	0,17	22,23	25,17	24,00	23,80	1,48
UE073	Upper East	155,54	141,88	161,25	152,89	9,95	78,94	68,33	80,16	75,81	6,50	15,33	15,43	15,93	15,56	0,32	25,17	22,23	21,64	23,02	1,89
UE074SA	Upper East	48,94	48,32	48,94	48,73	0,35	28,77	29,99	27,54	28,77	1,22	8,35	9,87	10,05	9,42	0,93	11,06	11,65	14,00	12,24	1,56
UE076	Upper East	150,85	151,46	150,44	150,92	0,51	37,74	38,15	37,74	37,88	0,24	9,23	9,32	9,41	9,32	0,09	16,35	15,18	15,76	15,76	0,59
UE078	Upper East	119,05	119,87	120,28	119,73	0,62	60,99	71,19	73,63	68,60	6,71	23,30	23,90	23,78	23,66	0,32	52,22	52,81	52,81	52,61	0,34
UE080	Upper East	155,13	155,13	154,52	154,93	0,35	59,77	65,07	60,17	61,67	2,95	10,87	11,67	12,45	11,66	0,79	12,82	14,00	15,18	14,00	1,18
UE081	Upper East	133,12	132,71	132,51	132,78	0,31	27,95	29,18	30,40	29,18	1,22	15,12	15,21	15,92	15,42	0,44	6,94	9,30	8,12	8,12	1,18
UE097	Upper East	118,85	129,04	129,04	125,64	5,88	85,46	86,28	85,87	85,87	0,41	12,90	12,80	12,90	12,87	0,06	31,05	33,99	35,75	33,60	2,38
UE089	Upper East	118,85	117,22	119,05	118,37	1,01	85,05	88,32	89,95	87,77	2,49	5,12	5,43	5,52	5,36	0,21	39,87	39,28	41,63	40,26	1,22

UE093	Upper East	132,91	133,73	133,32	133,32	0,41	41,82	39,37	40,60	40,60	1,22	9,85	9,92	10,14	9,97	0,15	12,23	14,88	12,82	13,31	1,39
UE094AG	Upper East	88,48	82,77	82,16	84,47	3,49	34,48	34,89	31,21	33,53	2,01	20,23	20,32	20,37	20,31	0,07	15,18	16,94	18,70	16,94	1,76
UE095	Upper East	95,21	94,19	95,41	94,93	0,66	65,07	62,62	64,25	63,98	1,25	5,12	5,23	5,25	5,20	0,07	29,88	30,46	27,52	29,29	1,56
UE102	Upper East	106,01	105,19	104,58	105,26	0,72	52,02	53,24	54,06	53,10	1,03	15,06	15,15	15,20	15,14	0,07	9,30	8,71	11,65	9,88	1,56
UE104	Upper East	86,03	86,44	86,24	86,24	0,20	63,84	66,29	64,66	64,93	1,25	7,23	7,34	7,42	7,33	0,10	33,98	31,04	34,57	33,20	1,89
UE109	Upper East	44,25	44,66	45,06	44,66	0,41	21,41	21,82	20,19	21,14	0,85	8,05	8,26	8,29	8,20	0,13	12,82	12,24	11,06	12,04	0,90
UE110	Upper East	130,67	131,90	131,90	131,49	0,71	100,55	96,47	98,51	98,51	2,04	10,02	9,78	10,98	10,26	0,63	35,17	34,58	35,75	35,17	0,59
UE112	Upper East	87,26	86,85	87,66	87,26	0,41	43,45	44,27	43,04	43,59	0,62	23,23	23,46	23,89	23,53	0,34	12,82	14,00	11,65	12,82	1,18
UE115	Upper East	111,92	110,90	111,10	111,31	0,54	65,88	64,66	63,03	64,52	1,43	13,34	13,67	13,87	13,63	0,27	21,64	21,06	18,12	20,27	1,89
UE116	Upper East	163,29	164,92	163,69	163,97	0,85	51,20	49,16	50,38	50,25	1,03	7,04	7,23	8,12	7,46	0,58	29,29	28,11	28,70	28,70	0,59
UE119	Upper East	116,40	122,52	128,63	122,52	6,11	63,03	67,52	54,46	61,67	6,63	9,11	9,21	9,23	9,18	0,06	21,64	22,82	24,00	22,82	1,18
UE122	Upper East	136,79	136,99	135,97	136,58	0,54	38,96	40,60	39,78	39,78	0,82	6,53	7,11	7,85	7,16	0,66	16,94	19,29	19,88	18,70	1,56
UE127	Upper East	117,22	120,07	120,68	119,33	1,85	82,61	89,13	85,87	85,87	3,26	7,23	7,34	7,54	7,37	0,16	28,70	29,29	31,64	29,88	1,56
UE128	Upper East	64,22	64,22	64,02	64,16	0,12	54,46	53,65	56,50	54,87	1,47	20,67	20,33	19,98	20,33	0,35	16,94	18,12	16,35	17,14	0,90
UE13	Upper East	92,76	92,56	94,19	93,17	0,89	41,82	41,41	35,29	39,51	3,66	13,16	13,34	13,76	13,42	0,31	23,41	24,58	26,94	24,98	1,80
UE134	Upper East	37,52	37,93	38,74	38,06	0,62	7,97	8,78	6,74	7,83	1,03	11,72	11,89	11,95	11,85	0,12				#DIV/0!	#DIV/0!
UE136	Upper East	90,72	91,94	91,33	91,33	0,61	40,19	38,56	39,37	39,37	0,82	6,08	6,56	6,76	6,47	0,35	26,94	22,82	23,41	24,39	2,23
UE141	Upper East	112,33	111,31	113,14	112,26	0,92	28,36	29,99	27,95	28,77	1,08	3,43	3,45	3,65	3,51	0,12	11,06	9,88	11,65	10,86	0,90
UE146	Upper East	150,24	150,85	149,22	150,10	0,82	77,30	80,57	75,26	77,71	2,67	19,60	18,60	19,10	19,10	0,50	3,42	5,18	4,00	4,20	0,90
UE150	Upper East	142,09	144,33	144,33	143,58	1,29	87,09	87,09	88,32	87,50	0,71	4,89	4,76	4,93	4,86	0,09	31,64	33,99	29,88	31,83	2,06
UE156	Upper East	61,37	60,96	61,98	61,44	0,51	36,92	36,52	36,11	36,52	0,41	17,08	17,43	17,56	17,36	0,25	11,65	13,41	12,24	12,43	0,90
UE157	Upper East	150,85	151,87	151,46	151,40	0,51	80,57	80,57	81,38	80,84	0,47	10,06	10,23	10,67	10,32	0,31	20,47	23,41	22,23	22,04	1,48
UE174	Upper East	76,05	73,19	75,43	74,89	1,50	49,98	49,57	51,61	50,38	1,08	36,00	37,00	38,00	37,00	1,00	14,59	15,76	16,94	15,76	1,18
UW	Upper West	103,56	104,17	103,97	103,90	0,31	58,54	57,32	57,32	57,73	0,71	7,23	7,34	7,32	7,30	0,06	21,63	19,87	24,57	22,03	2,38
UW015	Upper West	80,53	80,94	81,75	81,07	0,62	48,75	51,20	51,20	50,38	1,41	15,06	15,34	16,21	15,54	0,60	24,58	27,52	23,41	25,17	2,12
UW019	Upper West	110,70	110,49	109,27	110,15	0,77	54,87	56,50	56,50	55,96	0,94	10,09	11,23	11,56	10,96	0,77	16,35	17,53	18,70	17,53	1,18

UW021YT	Upper West	109,47	109,27	110,29	109,68	0,54	15,72	18,16	16,94	16,94	1,22	11,21	11,32	11,13	11,22	0,10	2,83	4,59	5,77	4,40	1,48
UW024TP	Upper West	149,43	151,46	150,24	150,38	1,03	29,18	29,58	27,54	28,77	1,08	24,89	25,02	25,45	25,12	0,29	8,82	9,88	8,23	8,98	0,84
UW026JA	Upper West	65,45	63,82	65,65	64,97	1,01	21,02	20,61	19,39	20,34	0,85	11,23	11,56	11,78	11,52	0,28	2,83	4,59	5,77	4,40	1,48
UW067TTA	Upper West	70,34	69,93	70,95	70,41	0,51	34,48	36,11	36,52	35,70	1,08	5,09	5,67	6,02	5,59	0,47	19,88	19,29	18,70	19,29	0,59
UW068MK	Upper West	81,14	80,12	79,71	80,33	0,73	36,92	32,85	30,81	33,53	3,12	8,33	8,41	8,40	8,38	0,04	3,42	4,59	4,00	4,00	0,59
UW065BY	Upper West	90,93	91,94	92,76	91,88	0,92	58,13	58,95	59,36	58,81	0,62	7,76	7,97	8,67	8,13	0,48	26,35	28,11	25,76	26,74	1,22
UW070SC	Upper West	47,71	49,75	49,14	48,87	1,05	34,07	33,25	33,66	33,66	0,41	18,54	18,23	18,98	18,58	0,38	11,06	10,47	9,88	10,47	0,59
UW073JD	Upper West	65,65	65,04	65,24	65,31	0,31	34,07	34,89	34,07	34,34	0,47	23,07	23,97	23,47	23,50	0,45	23,41	24,00	22,23	23,21	0,90
UW077ZJ	Upper West	111,10	110,70	110,70	110,83	0,24	70,37	68,74	72,82	70,64	2,05	8,53	8,78	8,89	8,73	0,18	18,70	17,53	15,76	17,33	1,48
UW078JT	Upper West	146,16	145,96	147,18	146,44	0,66	69,96	70,37	72,41	70,91	1,31	2,23	2,54	2,67	2,48	0,23	22,23	24,00	22,23	22,82	1,02
UW088TD	Upper West	128,84	130,47	128,23	129,18	1,16	65,88	66,29	65,07	65,75	0,62	10,43	11,12	12,21	11,25	0,90	32,81	39,87	33,40	35,36	3,91
UW093BS	Upper West	134,75	133,53	131,08	133,12	1,87	21,02	22,65	20,61	21,43	1,08	12,34	12,45	13,23	12,67	0,49	4,00	4,59	2,24	3,61	1,22
UW097CB	Upper West	155,34	156,15	155,95	155,81	0,42	27,14	25,10	25,91	26,05	1,03	7,11	7,23	7,32	7,22	0,11	1,06	2,24	2,83	2,04	0,90
UW099HL	Upper West	165,32	174,09	163,90	167,77	5,52	83,42	79,75	78,94	80,70	2,39	31,25	31,44	31,75	31,48	0,25	5,77	6,94	6,36	6,36	0,59
UW15	Upper West	124,97	124,56	125,98	125,17	0,73	34,48	33,66	35,29	34,48	0,82	11,12	11,43	11,76	11,44	0,32	16,94	15,18	16,35	16,16	0,90
UW23LT	Upper West	154,93	153,91	154,52	154,45	0,51	74,04	72,00	68,33	71,46	2,89	23,63	23,64	24,56	23,94	0,53	31,05	30,46	32,81	31,44	1,22
UW54BK	Upper West	67,28	68,71	69,32	68,44	1,05	27,95	26,32	25,91	26,73	1,08	11,76	12,05	12,32	12,04	0,28	5,77	4,00	4,59	4,79	0,90
UW62KG	Upper West	85,63	87,05	86,24	86,31	0,72	46,31	44,27	46,31	45,63	1,18	10,11	11,65	11,45	11,07	0,84	28,11	26,35	29,29	27,92	1,48
UW61WT	Upper West	64,63	63,20	64,22	64,02	0,73	27,54	27,95	27,14	27,54	0,41	16,32	16,87	17,31	16,83	0,50	19,29	17,53	21,06	19,29	1,76
UW65BY	Upper West	102,14	99,08	99,89	100,37	1,58	63,44	65,48	64,25	64,39	1,03	19,33	18,53	19,73	19,20	0,61	39,86	32,21	33,39	35,16	4,12

**ANNEXE II** : Liste des accessions de *S. rotundifolius* par activité

N°	Code d'accessions	Pays	Provenance	Caractérisation moléculaire	Caractérisation agromorphologique	Caractérisation biochimique
1	ACC01022YT	Ghana	Upper East	*	*	
2	QA99058RT	Ghana	Upper East	*	*	*
3	QA99005	Ghana	Upper East	*		
4	UE023	Ghana	Upper East	*		
5	UE081	Ghana	Upper East	*	*	
6	UE088	Ghana	Upper East	*		
7	UW066YA	Ghana	Upper West	*	*	
8	UW070AIA	Ghana	Upper West	*	*	
9	UW072ID	Ghana	Upper West	*		
10	UW086M	Ghana	Upper West	*		
11	UW62KG1	Ghana	Upper West	*	*	
12	UW70KG1	Ghana	Upper West	*		
13	WHITE	Ghana	Upper East	*		
14	ACCO/022YT	Ghana	Upper East	*	*	
15	ACC200-008	Ghana	Upper East	*		
16	QA019-1	Ghana	Upper East	*	*	*
17	QA9023YY	Ghana	Upper East	*		
18	QART	Ghana	Upper East	*		
19	UE001	Ghana	Upper East	*		
20	UE001-1	Ghana	Upper East	*		
21	UE001YT	Ghana	Upper East	*	*	
22	UE004	Ghana	Upper East	*		
23	UE004-1	Ghana	Upper East	*		
24	UE005	Ghana	Upper East	*		
25	UE005-1	Ghana	Upper East	*		
26	UE006	Ghana	Upper East	*	*	*
27	UE006YT	Ghana	Upper East	*		
28	UE008	Ghana	Upper East	*	*	*
29	UE009	Ghana	Upper East	*	*	*
30	UE09-1	Ghana	Upper East	*	*	
31	UE010-RT	Ghana	Upper East	*		
32	UE011	Ghana	Upper East	*		
33	UE012	Ghana	Upper East	*	*	
34	UE013	Ghana	Upper East	*	*	*

35	UE013RT	Ghana	Upper East	*	*	*
36	UE014	Ghana	Upper East	*	*	*
37	UE014-1	Ghana	Upper East	*		
38	UE014RT	Ghana	Upper East	*	*	*
39	UE015	Ghana	Upper East	*		
40	UE017	Ghana	Upper East	*	*	*
41	UE017-1	Ghana	Upper East	*		
42	UE017-3	Ghana	Upper East	*		
43	UE017A	Ghana	Upper East	*		
44	UE017A/RT	Ghana	Upper East	*		
45	UE018-1	Ghana	Upper East	*	*	*
46	UE020	Ghana	Upper East	*	*	*
47	UE021IT	Ghana	Upper East	*		
48	UE022/RT2	Ghana	Upper East	*	*	*
49	UE022-1	Ghana	Upper East	*	*	*
50	UE019YT	Ghana	Upper East	*	*	*
51	UE023Y3R	Ghana	Upper East	*	*	*
52	UE028	Ghana	Upper East	*	*	*
53	UE029	Ghana	Upper East	*	*	*
54	UE033	Ghana	Upper East	*		
55	UE031	Ghana	Upper East	*	*	
56	UE032	Ghana	Upper East	*	*	
57	UE034	Ghana	Upper East	*	*	
58	UE035	Ghana	Upper East	*		
59	UE040	Ghana	Upper East	*	*	*
60	UE043	Ghana	Upper East	*		
61	UE038	Ghana	Upper East	*	*	
62	UE044	Ghana	Upper East	*	*	*
63	UE045	Ghana	Upper East	*	*	*
64	UE046	Ghana	Upper East	*	*	*
65	UE052	Ghana	Upper East	*	*	*
66	UE057	Ghana	Upper East	*		
67	UE058	Ghana	Upper East	*	*	*
68	UE059	Ghana	Upper East	*		
69	UE063	Ghana	Upper East	*		
70	UE060NK	Ghana	Upper East	*		
71	UE061	Ghana	Upper East	*		

72	UE065	Ghana	Upper East	*		
73	UE066	Ghana	Upper East	*	*	*
74	UE067	Ghana	Upper East	*	*	*
75	UE070	Ghana	Upper East	*		
76	UE073	Ghana	Upper East	*	*	*
77	UE072ID	Ghana	Upper East	*		
78	UE074SA	Ghana	Upper East	*	*	*
79	UE076	Ghana	Upper East	*	*	*
80	UE078	Ghana	Upper East	*	*	*
81	UE080	Ghana	Upper East	*	*	*
82	UE081	Ghana	Upper East	*	*	*
83	UE083ZR	Ghana	Upper East	*		
84	UE084	Ghana	Upper East	*	*	
85	UE086	Ghana	Upper East	*	*	
86	UE088	Ghana	Upper East	*		
87	UE088TT	Ghana	Upper East	*		
88	UE089	Ghana	Upper East	*	*	*
89	UE089-1	Ghana	Upper East	*		
90	UE093	Ghana	Upper East	*	*	*
91	UE094AG	Ghana	Upper East	*	*	*
92	UE093-BS	Ghana	Upper East	*		
93	UE095	Ghana	Upper East	*	*	*
94	UE097	Ghana	Upper East	*	*	*
95	UE099	Ghana	Upper East	*	*	*
96	UE101	Ghana	Upper East	*		
97	UE102	Ghana	Upper East	*	*	*
98	UE103	Ghana	Upper East	*	*	*
99	UE104	Ghana	Upper East	*	*	*
100	UE107	Ghana	Upper East	*	*	
101	UE109	Ghana	Upper East	*	*	*
102	UE110	Ghana	Upper East	*	*	*
103	UE112	Ghana	Upper East	*	*	*
104	UE113	Ghana	Upper East	*	*	
105	UE114	Ghana	Upper East	*	*	
106	UE115	Ghana	Upper East	*	*	*
107	UE116	Ghana	Upper East	*	*	*
108	UE119	Ghana	Upper East	*	*	*

109	UE120	Ghana	Upper East	*		
110	UE121	Ghana	Upper East	*		
111	UE122	Ghana	Upper East	*	*	*
112	UE124	Ghana	Upper East	*		
113	UE126	Ghana	Upper East	*	*	
114	UE127	Ghana	Upper East	*	*	*
115	UE128	Ghana	Upper East	*	*	*
116	UE129	Ghana	Upper East	*		
117	UE134	Ghana	Upper East	*	*	*
118	UE135	Ghana	Upper East	*	*	
119	UE136	Ghana	Upper East	*	*	*
120	UE141	Ghana	Upper East	*	*	*
121	UE142	Ghana	Upper East	*	*	
122	UE143	Ghana	Upper East	*	*	
123	UE148	Ghana	Upper East	*	*	*
124	UE150	Ghana	Upper East	*	*	*
125	UE151	Ghana	Upper East	*	*	
126	UE152	Ghana	Upper East	*	*	
127	UE153	Ghana	Upper East	*	*	
128	UE156	Ghana	Upper East	*	*	*
129	UE157	Ghana	Upper East	*	*	*
130	UE159	Ghana	Upper East	*	*	
131	UE165	Ghana	Upper East	*		
132	UE165-1	Ghana	Upper East	*		
133	UE167	Ghana	Upper East	*		
134	UE17-1	Ghana	Upper East	*		
135	UE173	Ghana	Upper East	*	*	
136	UE174	Ghana	Upper East	*	*	*
137	UE183	Ghana	Upper East	*		
138	UE185	Ghana	Upper East	*		
139	UW	Ghana	Upper West	*	*	*
140	UW007	Ghana	Upper West	*	*	
141	UW008-FD	Ghana	Upper West	*		
142	UW015RT	Ghana	Upper West	*	*	
143	UW015	Ghana	Upper West	*	*	*
144	UW003	Ghana	Upper West	*	*	
145	UW019	Ghana	Upper West	*	*	*

146	UW019R3Y	Ghana	Upper West	*		
147	UW021YT	Ghana	Upper West	*	*	*
148	UW024TP	Ghana	Upper West	*	*	*
149	UW026JA	Ghana	Upper West	*	*	*
150	UW023LT	Ghana	Upper West	*	*	*
151	UW034ENS	Ghana	Upper West	*	*	
152	UW054BK	Ghana	Upper West	*	*	*
153	UW061WT	Ghana	Upper West	*	*	*
154	UW062KG	Ghana	Upper West	*	*	*
155	UW062KGA	Ghana	Upper West	*	*	
156	UW065BY	Ghana	Upper West	*	*	*
157	UW070KG	Ghana	Upper West	*	*	*
158	UW066YA	Ghana	Upper West	*	*	
159	UW067TTA	Ghana	Upper West	*	*	*
160	UW068MK	Ghana	Upper West	*	*	*
161	UW073JD	Ghana	Upper West	*	*	*
162	UW076MM	Ghana	Upper West	*	*	
163	UW076MN	Ghana	Upper West	*	*	
164	UW077ZT	Ghana	Upper West	*	*	*
165	UW078JT	Ghana	Upper West	*	*	*
166	UW088TD	Ghana	Upper West	*	*	*
167	UW099HL	Ghana	Upper West	*	*	*
168	UW093BS	Ghana	Upper West	*	*	*
169	UW097CB	Ghana	Upper West	*	*	*
170	E006	Burkina Faso	Passoré	*	*	*
171	E011	Burkina Faso	Passoré	*		
172	E013	Burkina Faso	kadiogo	*		
173	E018	Burkina Faso	kadiogo	*	*	
174	E022	Burkina Faso	Nahouri	*	*	*
175	E036	Burkina Faso	Nahouri	*	*	
176	E019	Burkina Faso	kadiogo	*	*	*
177	E053	Burkina Faso	Nahouri	*		
178	E058	Burkina Faso	Nahouri	*		

179	E078	Burkina Faso	Nahouri	*	*	*
180	E080	Burkina Faso	Nahouri	*	*	*
181	E030	Burkina Faso	Nahouri	*	*	*
182	E081	Burkina Faso	Nahouri	*	*	
183	E035	Burkina Faso	Nahouri	*	*	*
184	E036	Burkina Faso	Nahouri	*		*
185	E082	Burkina Faso	kourweogo	*		
186	E083	Burkina Faso	kourweogo	*	*	*
187	E085	Burkina Faso	kourweogo	*	*	
188	E086	Burkina Faso	kourweogo	*		
189	E088	Burkina Faso	kourweogo	*		
190	E088	Burkina Faso	kourweogo	*		
191	E090	Burkina Faso	kourweogo	*		
192	E091	Burkina Faso	kourweogo	*	*	*
193	E0105	Burkina Faso	Sissili	*	*	*
194	E092	Burkina Faso	Sissili	*		
195	E093	Burkina Faso	Sissili	*		
196	E094	Burkina Faso	Sissili	*	*	
197	E095	Burkina Faso	Gourma	*	*	*
198	E096	Burkina Faso	Gourma	*	*	
199	E098	Burkina Faso	Gourma	*	*	
200	E100	Burkina Faso	Gourma	*		
201	E101	Burkina Faso	Gourma	*	*	*
202	E102	Burkina Faso	Gourma	*		
203	E103	Burkina Faso	Gourma	*		
204	E110	Burkina Faso	Gourma	*	*	*
205	E104	Burkina Faso	Gourma	*	*	*

206	E113	Burkina Faso	Gourma	*	*	*
207	E116	Burkina Faso	Nombiel	*	*	*
208	E112	Burkina Faso	Nombiel	*	*	*
209	E118	Burkina Faso	Nombiel	*	*	*
210	E119	Burkina Faso	Nombiel	*	*	
211	E120	Burkina Faso	Nombiel	*	*	*
212	E122	Burkina Faso	Nombiel	*	*	*
213	E123	Burkina Faso	Nombiel	*	*	
214	E126	Burkina Faso	Bazega	*	*	*
215	E128	Burkina Faso	Bazega	*		*
216	E130	Burkina Faso	Bazega	*	*	
217	E133	Burkina Faso	Bazega	*	*	
218	E134	Burkina Faso	Bazega	*	*	
219	E131	Burkina Faso	Bazega	*	*	*
220	E136	Burkina Faso	Bazega	*		
221	E138	Burkina Faso	Bazega	*		
222	E139	Burkina Faso	Passoré	*	*	*
223	E140	Burkina Faso	Passoré	*	*	*
224	E144	Burkina Faso	Passoré	*	*	*
225	E148	Burkina Faso	Passoré	*	*	*
226	E149	Burkina Faso	Passoré	*	*	*
227	E150	Burkina Faso	Passoré	*		
228	E154	Burkina Faso	Passoré	*		
229	E155	Burkina Faso	Sanmatenga	*	*	*
230	E160	Burkina Faso	Boulkiemdé	*	*	*
231	E164	Burkina Faso	Boulkiemdé	*	*	
232	E146	Burkina Faso	Boulkiemdé	*	*	*

233	E165-2	Burkina Faso	Boulkiemdé	*		
234	E167	Burkina Faso	Boulkiemdé	*	*	*
235	E167-1	Burkina Faso	Gourma	*		
236	E168	Burkina Faso	Gourma	*		
237	E170	Burkina Faso	Gourma	*	*	
238	E171	Burkina Faso	Gourma	*		
239	E173	Burkina Faso	Gourma	*	*	*
240	E174	Burkina Faso	Gourma	*		
241	E177	Burkina Faso	Gourma	*	*	*
242	E179	Burkina Faso	Gourma	*		
243	E175	Burkina Faso	kourweogo	*		
244	E181	Burkina Faso	kourweogo	*	*	*
245	E183	Burkina Faso	kourweogo	*		
246	E147	Burkina Faso	kourweogo	*	*	*
247	E182	Burkina Faso	kourweogo	*	*	*
248	E185	Burkina Faso	kourweogo	*		
249	E186-1	Burkina Faso	kourweogo	*		
250	E187	Burkina Faso	Sanmatenga	*	*	*
251	E189	Burkina Faso	Zoundweogo	*		
252	E192	Burkina Faso	Zoundweogo	*		
253	E193-1	Burkina Faso	Zoundweogo	*		
254	EC	Burkina Faso	Sissili	*	*	
255	ET	Burkina Faso	kadiogo	*	*	
256	ET2	Burkina Faso	kadiogo	*		
257	E120	Burkina Faso	Zoundweogo	*		
258	E125	Burkina Faso	Zoundweogo	*		
259	E150	Burkina Faso	Zoundweogo	*		

260	E159	Burkina Faso	Zoundweogo	*	*	
261	E165	Burkina Faso	Sanmatenga	*	*	
262	E173	Burkina Faso	Sanmatenga	*	*	
263	E157	Burkina Faso	Sanmatenga	*	*	*
264	E186	Burkina Faso	Zoundweogo	*	*	
265	E30	Burkina Faso	Nahouri	*		
266	E82	Burkina Faso	kourweogo	*		
267	E95	Burkina Faso	sissili	*		

---