

**UNIVERSITE MARIEN NGOUBI
FACULTE DES SCIENCES**

Année 2006.

N° d'ordre

THESE

Pour obtenir le Diplôme de Doctorat d'Etat es Sciences

Domaine

Sciences Exactes, Naturelles et de l'Ingénieur

Spécialité :

Chimie et Technologie Alimentaires

Présentée et soutenue publiquement

Par

Mme KAMA-NIAMAYOUA Rosalie

Le 11 Novembre 2006.

Titre

VALORISATION ALIMENTAIRE DU SAFOU (*DACRYODES EDULIS*)

Quantification et caractérisation de la matière première, évaluation des potentialités technologiques en vue de la production d'huile.

Directeur de Thèse

Thomas SILOU, Professeur

JURY

Président :	DANZART Marc,	Professeur, ENSIA, Massy, France
Rapporteurs :	KAPSEU César,	Professeur, Université de Ngaoundéré, Cameroun
	OUAMBA Jean Maurille,	Professeur, Université Marien Ngouabi, Congo
Membres :	SILOU Thomas,	Professeur, Université Marien Ngouabi, Congo
	KABELE Ngiéfu Christophe,	Professeur, Université de Kinshasa, RD Congo
	CHALCHAT Jean Claude,	Maître de Conférence, Université de Clermont Ferrand, France

Je dédie ce travail :

- A mon père et à ma mère
- A mon époux et à mes enfants
- A mes frères et sœurs, neveux et nièces

qui ont toujours été d'un soutien moral inconditionnel.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été effectué au sein de l'Equipe Pluridisciplinaire de Recherche en Alimentation et Nutrition (EPRAN) du pôle chimie et technologie alimentaires de la Faculté des Sciences de l'Université Marien NGOUABI.

Je remercie très sincèrement son coordonnateur et directeur de thèse le Professeur Thomas SILOU qui depuis plusieurs années avec abnégation et perspicacité a permis ce regroupement de chercheurs et sans désespérer nous a amenés à la finalisation de nos thèses.

Monsieur Marc DANZART Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles m'a fait l'honneur de présider ce jury, qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie également messieurs :

César KAPSEU,	Professeur à l'Université de Ngaoundéré, Cameroun
Jean Maurille OUAMBA,	Professeur à l'Université Marien Ngouabi, Congo
Christophe KABELE NGIEFU,	Professeur à l'Université de Kinshasa, RD Congo
Jean Claude CHALCHAT,	Maître de conférences à l'Université de Clermont Ferrand, France

d'avoir bien voulu participer à ce jury.

Je tiens à remercier toute l'équipe de notre laboratoire dans la finalisation de ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements les plus sincères à David MAMPOUYA et à Thomas SILOU avec qui nous avons sillonné le district de Boko dans le cadre de la collecte des données.

A tous ceux qui ont toujours joué un rôle important par leur conseil et par leur apport multiforme pour l'aboutissement de ce travail.

Je réitère mes remerciements aux membres du jury qui ont fait le déplacement de Brazzaville.

ABREVIATIONS

AG : acide gras	PPO : dipalmitoyl oléyl glycérol
C12 :0 : acide laurique	OOL : dioléyl linoléyl glycérol
C14 :0 : acide myristique	OOO : trioléine
C16 :0 : acide palmitique	PLL : palmitoyl diloléyl glycérol
C 17 :0 : acide margarique	POL : palmitoyl oléyl linoléyl glycérol
C18 :0 : acide stéarique	PPL : dipalmitoyl linoléyl glycérol
C18 :1 : acide oléique	POO : palmitoyl dioléyl glycérol
C18 :2 : acide linoléique	PSL : palmitoyl stéaroyl linoléyl glycérol
C18 :3 : acide linoléinique	SLL : stéaroyl dilinéoléyl glycérol
C20 :0 : acide arachidique	SOL : stéaroyl oléyl linoléyl glycérol
C20 :1 : acide eicosaénoïque	CLHP : chromatographie liquide haute performance
DAG : diacylglycérol	CPG : chromatographie en phase gazeuse
TAG: triacylglycérol	CCM Chromatographie sur couche mince
LLL : trilinéoléine	RMN : résonance magnétique nucléaire
OLL : oléyl dilinéoléyl glycérol	SM : spectrométrie de masse

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GENERALE	9
CHAPITRE I : EVALUATION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA PRODUCTION DE SAFOU DANS LE DISTRICT DE BOKO.	13
I. INTRODUCTION	13
II. MATERIEL ET METHODES	14
1. Milieu d'étude	14
2. Evaluation de la production des fruits	15
2.1. Premier degré de sondage.	15
2.2. Deuxième degré de sondage.	15
3. Matériel végétal	15
3.1. Etude des variations intra arbres	15
3.2. Etude des variations inter arbres dans un même village	17
3.3. Etude des variations inter arbres dans l'ensemble du district	17
4. Méthodes d'études	17
4.1. Grandeurs morphologiques	17
4.2. Caractéristiques physiques du fruit	18
4.2.1 Masse du fruit et de la pulpe	18
4.2.2 Masse volumique de la pulpe	18
4.3. Composition globale du fruit	19
4.3.1 Teneur en eau	19
4.3.2. Teneur en huile	19
4.3.3. Composition en AG	19
4.3.4. Composition en TAG.	19
4.4. Traitements statistiques des données	20
4.1.1. Description des données	20
4.1.2. Analyse des données	20
III. RESULTATS EXPERIMENTAUX.	23
1. Evaluation de la production de safous dans le district de Boko	23
2. Etude préliminaire de la répartition des fruits sur un arbre	25
2.1. Nombre de grappes et morphologie des fruits	25
2.2. Composition chimique des fruits	27
3. Variation intra arbres des fruits des six arbres	29
4. Variation inter arbres au sein d'un même village	31
5. Variation inter arbres au sein d'une même zone écologique.	32
IV. DISCUSSION	32
1. Approche pragmatique de la caractérisation des fruits	32
1.1. Calibre	33
1.2. Catégorie	33
1.3. Calibre et catégorie des fruits du district de Boko	34
2. Apport des traitements statistiques à la caractérisation et à la	35

classification des fruits	
2.1. Unités statistiques (individus)	36
2.2. Variables morphologiques et physico-chimiques	37
2.3. Essai de caractérisation des safous du District de Boko	39
2.4. Essai de généralisation de la méthode aux safous de 3 localités du Congo	44
2.4. Essai de généralisation de la méthode aux safous de 5 localités du Golfe de Guinée	45
V. CONCLUSION	50
CHAPITRE II. VARIABILITE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LA PULPE ET DES HUILES DE SAFOUS DU DISTRICT DE BOKO	52
I. INTRODUCTION	52
II. MATERIEL ET METHODES	52
1. Matériel végétal	52
1.1. Matériel végétal pour l'étude de la composition globale du fruit	52
1.2. Matériel végétal pour l'étude de la composition des huiles extraites de la pulpe	52
2. Analyse de la composition globale du fruit	52
2.1. Teneurs en eau et en huile	52
2.2. Teneur en protéines	53
2.3. Teneur en cendres	53
3. Détermination de la composition en acides gras	53
3.1. Dispositif 1	53
3.2. Dispositif 2	54
4. Traitements statistiques	54
III. RESULTATS EXPERIMENTAUX	54
1. Etude la composition chimique des fruits des 20 arbres du District de Boko	54
1.1. Variation inter arbres de la composition globale du fruit	54
1.2. Variation inter arbres de la composition minérale du fruit	56
1.3. Variation inter arbres de la composition en acides gras des huiles de la pulpe du fruit	59
2. Essai de généralisation à 50 arbres du district de Boko	60
IV. DISCUSSION	61
1. Composition globale du fruit	61
2. Composition en acides gras des huiles de la pulpe	63
V. CONCLUSION	66
CHAPITRE III : ETUDE REGIOSPECIFIQUE DES TRIACYLGLYCE-ROLS DE L'HUILE DE LA PULPE DE SAFOU : APPORT DE LA SPECTROMETRIE RMN DU CARBONE 13.	68
I. INTRODUCTION	68

II. ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES	68
III. MATERIEL ET METHODES	72
1. Analyse des esters méthyliques des AG par CPG.	72
2. Analyse stéréospécifique des TAG par spectrométrie RMN du carbone 13.	72
IV. RESULTATS ET DISCUSSION	72
1. Composition en AG de l'huile brute déterminée par CPG	73
2. Composition des AG et des TAG déterminée par spectrométrie RMN.	73
V. CONCLUSION	77
CHAPITRE IV : EVALUATION DES POTENTIALITES TECHNOLOGIQUES DE LA PULPE DE SAFOU EN VUE DE LA PRODUCTION DE L'HUILE	78
I. INTRODUCTION	78
II. MATERIEL ET METHODES	78
1. Matériel végétal	78
2. Extraction de l'huile	79
3. Caractéristiques physico-chimiques des huiles extraites	79
3.1. Masse volumique	79
3.2. Densité relative	79
3.3. Viscosité	79
3.4. Indice de réfraction	80
3.5. Indice d'acide	80
3.6. Indice de saponification	80
3.7. Indice de peroxyde	81
4. Analyse des acides gras	81
4.1. Préparation des esters méthyliques	81
4.2. Dispositif pour l'analyse des huiles issues de l'étude sur l'extraction	81
4.3. Dispositif pour l'analyse des huiles issues de l'étude sur l'altération	82
5. Détermination de la composition en triacylglycérols	82
5.1. Méthode quantitative	82
5.2. Méthode qualitative	83
6. Conduite de l'altération par oxydation accélérée	83
7. Evaluation de la stabilité de l'huile	85
III. RESULTATS ET DISCUSSION	85
1. Influences du temps et du solvant sur le rendement de l'extraction de l'huile de la pulpe de safou au soxhlet	85
1.1. Durée du chauffage	85
1.2. Solvants d'extraction	87
1.3. Caractéristiques physico-chimiques	88
1.4. Composition en AG et TAG.	89

1.5. Conclusion	90
2. Evaluation de la stabilité thermique de l'huile de la pulpe de safou	91
2.1. Indicateurs de l'altération	91
2.1.1. Indice d'acide	91
2.1.2. Indice de peroxyde	91
2.1.3. Bilan des teneurs en constituant majeurs.	92
2.2. Influence de la nature de l'huile sur sa stabilité au cours du chauffe	92
2.2.1. Caractérisation des huiles étudiées	92
2.2.2. Suivi comparé de l'altération des huiles chauffées	96
2.3. Influence de la durée et de la température de chauffage sur la stabilité de la stabilité de l'huile de la pulpe de safou.	99
2.3.1. Chauffage de l'huile de la pulpe de safou à 105°C en fonction de la durée de chauffage	99
2.3.2. Chauffage, à 105 °C, pendant 6 jours d'huiles de safou extraites au solvant à froid (méthode de Folch) ou à chaud (soxhlet)	100
2.3.3. Chauffage pendant 1jour de l'huile de la pulpe de safou à différentes températures	101
IV. CONCLUSION	105
CONCLUSION GENERALE	106
BIBLIOGRAPHIE	108
ANNEXES	113

INTRODUCTION GENERALE

Le Congo - Brazzaville importe l'essentiel des matières grasses destinées à satisfaire les besoins de sa population. La production artisanale traditionnelle d'huile de palme est peu performante et le secteur industriel est en cessation d'activités notamment pour l'huile de palme et l'huile d'arachide.

Face à cette situation à incidence certaine sur l'état nutritionnel des populations, on peut envisager l'amélioration et surtout la diversification de la production des matières grasses locales par la mise en valeur des spéculations encore inexploitées: le safoutier, le palmier raphia, les courges...

De toutes ces spéculations le safoutier (*Dacryodes edulis*) semble présenter les meilleurs atouts et a déjà fait l'objet de plusieurs études au niveau de la sous région Afrique centrale. En effet, cet arbre fruitier est largement cultivé sur toute l'étendue du territoire congolais et plus généralement sur l'ensemble du Golfe de Guinée.

Au Congo-Brazzaville la multiplication du safoutier par marcottage est en cours de développement et permet d'espérer des productions de 10 tonnes / ha (Silou, 1996 ; Mialoundama *et al.*, 2001, 2002)..

Traditionnellement consommée après cuisson, la pulpe de safou s'est avérée être une source importante des lipides atteignant des teneurs de l'ordre de 50 à 70% par rapport à la matière sèche (Silou, 1996). La teneur en acides gras insaturés des lipides du safou peut atteindre 40% pour l'acide linoléique et 30% pour l'acide linoléique. Des études de fractionnement (Silou *et al.*, 1993) et de décoloration thermique de l'huile (Silou et Moussata, 1991a) ont également été abordées. L'insaponifiable représente environ 1% de l'huile et contient des tocophérols, des phytostérols et des alcools triterpéniques (Soulier, 1987 ; Loemba-Ndembi et Silou, 2006). En outre, la pulpe de safou contient 10 – 25 % de protéines et près de 30% de glucides. Le safou présente donc une valeur nutritionnelle *à priori* intéressante.

Cependant, c'est un fruit très fragile et les pertes post-récoltes essentiellement dues au ramollissement de la pulpe peuvent atteindre les 50% au cours de la récolte, du transport et du

stockage (Silou *et al.*, 1995, 2006a). Le séchage solaire du fruit est la seule méthode maîtrisée par les populations, mais elle est souvent pratiquée d'une manière empirique et peu hygiénique (Silou *et al.*, 1991b ; Ali *et al.*, 1997).

Des études de modalités de séchage de la pulpe dans différents types de séchoirs solaires et leur adaptation au milieu rural congolais sont en cours ; des essais d'extraction d'huile à partir de pulpes de safous séchées et par presse mécanique sont également effectués (Silou et Avouampo 1997, Kapseu *et al.*, 2002).

Toutes ces données restent fragmentaires et indicatives. Il est évident qu'une meilleure connaissance et une bonne maîtrise des différentes étapes : production, conservation , transformation et utilisation du safou comme oléagineux, sont nécessaires pour justifier et réaliser une production nationale d'huile de safou.

Ainsi, globalement, la mise au point du procédé de fabrication de l'huile à partir de la pulpe de safou est déjà très avancée.

Toutefois l'exercice d'une telle activité suppose la résolution d'un préalable : la production en quantité suffisante des fruits ayant une qualité quasi-constante.

D'où le problème central de ce travail qui est **l'évaluation de manière globale et pluridisciplinaire des contraintes** à surmonter au cours du processus de production de l'huile, de la matière première au produit fini.

Ce travail qui s'inscrit dans un programme plus large, sur la valorisation de la filière safou , développé par notre Equipe, est structuré en 6 étapes :

1. Evaluation de la production nationale de safou

Elle se fera dans les principales régions productrices de safou : Plateaux, Pool, Bouenza, Kouilou, Likouala à l'aide des fiches d'enquête et d'un protocole précis de prélèvement de fruits, en cours de validation dans ce travail.

2. Evaluation des pertes post-récoltes.

Elle se fera sous forme d'enquêtes, d'observations chez les producteurs, transporteurs, grossistes et détaillants, mais aussi par des mesures contrôlées visant à mieux préciser, comparer et améliorer les étapes au cours desquelles les pertes sont particulièrement importantes.

3. Recensement et évaluation des modes traditionnels de conservation, de transformation et de consommation du safou. Ce recensement permettra d'identifier, à des fins d'évaluation, des utilisations ou des modes de conservation et de transformation traditionnels locaux des safous.

4. Caractérisation des « variétés » actuellement cultivées, sur le plan morphologique, physico-chimique et organoleptique des fruits, en vue de repérer les fruits les plus intéressants pour la production d'huile à haute qualité nutritionnelle.

5. Etude socio-économique de la filière safou

On s'attellera à l'étude des bassins de productions et des flux de produits en vue d'élaborer une cartographie des peuplements de safoutiers et de quantifier des flux des safous aussi bien sur le territoire national que dans la sous région.

6. Caractérisation et évaluation de l'intérêt socio-économique et nutritionnel des vergers urbains au Congo notamment à Brazzaville et à Pointe Noire.

Une enquête permettra de révéler les spécificités socio-économiques et culturelles de la culture du safou en milieu urbain et d'évaluer l'importance de la production, de la consommation de ce fruit et une étude morphologique et physicochimique des fruits devra aboutir à la caractérisation des fruits en vue de dégager leur intérêt technologique et nutritionnel.

Le présent travail, destiné à délimiter le champ d'étude pour cet ambitieux programme, est structuré en 4 chapitres :

Chapitre 1: Evaluation quantitative et qualitative de la production de safou dans le district de Boko.

Chapitre 2 : Etude de la variabilité de la composition chimique de la pulpe et des huiles de safou du District de Boko

Chapitre 3 : Etude régiospécifique des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou : apport de la spectrométrie RMN du carbone 13.

Chapitre 4 : Evaluation des potentialités technologiques de la pulpe de safou en vue de la production de l'huile.

Il vise essentiellement à :

- Mettre au point une méthode de quantification de la production de safous dans une zone écologique donnée (cas du district de Boko) ;
- Caractériser les fruits sur le plan morphologique, physicochimique et nutritionnel ;
- Evaluer les potentialités technologiques des fruits pour l'extraction de l'huile à partir de la pulpe (extraction, composition, stabilité).

CHAPITRE I

EVALUATION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA PRODUCTION DE SAFOU DANS LE DISTRICT DE BOKO.

I - INTRODUCTION

Le safoutier se retrouve dans les pays de l'Afrique Centrale parmi les 3 fruitiers les plus prisés par les paysans (Mollet *et al.*, 1995); son commerce, très lucratif, est parmi les plus actifs de la sous région (Awono *et al.*, 2002).

Malheureusement ni les quantités produites, ni les caractéristiques des fruits n'ont été évaluées de manière systématique au Congo-Brazzaville. Un état des lieux nous paraît être une condition préalable à la valorisation de la « filière safou ».

Le présent chapitre propose une méthode d'évaluation de la production des safous dans une localité donnée, le district de Boko. Une fois validée, elle pourra être utilisée pour l'évaluation de la production nationale des safous.

Par ailleurs, le safoutier se reproduisant essentiellement par semis, on doit s'attendre à une grande diversité de forme et peut être de composition d'un arbre à un autre et pourquoi pas d'un fruit à un autre sur un même arbre. Pendant 5 ans (1992 – 1997) nous avons effectué dans le district de Boko, au Congo-Brazzaville, un travail de terrain pour cerner cette variabilité en vue d'une meilleure caractérisation de cette ressource.

L'étude s'est faite de proche en proche. L'étude de la distribution des fruits en fonction de l'orientation géographique sur un même arbre a été suivie de l'examen des caractéristiques des fruits de différents arbres d'un même village pour s'étendre en fin de compte aux fruits des arbres d'une zone écologique plus large (ici le district de Boko 2 900km²).

L'étude de ces variations intra et inter arbres nous amène à définir les notions de calibre et de catégorie des fruits soit sur un arbre, soit sur une zone écologique et constitue, en perspective, une contribution à la délimitation variétale chez le safoutier.

II - MATERIEL ET METHODES

1. Milieu d'étude

La présente étude concerne l'ancien district de Boko. C'est un hexagone irrégulier de 2900 km² situé à l'extrême Sud de la région du Pool et limité au Nord par les districts de Mindouli et Kinkala, au Sud Est par le fleuve Congo et au Sud Ouest par le Congo-Kinshasa.

A partir de 1995, il avait été scindé en 3 nouveaux districts : Boko, Louingui et Loumo. Toutefois ces 3 entités constituent, sur le plan géographique, une même zone écologique : le plateau des cataractes (figure 1)

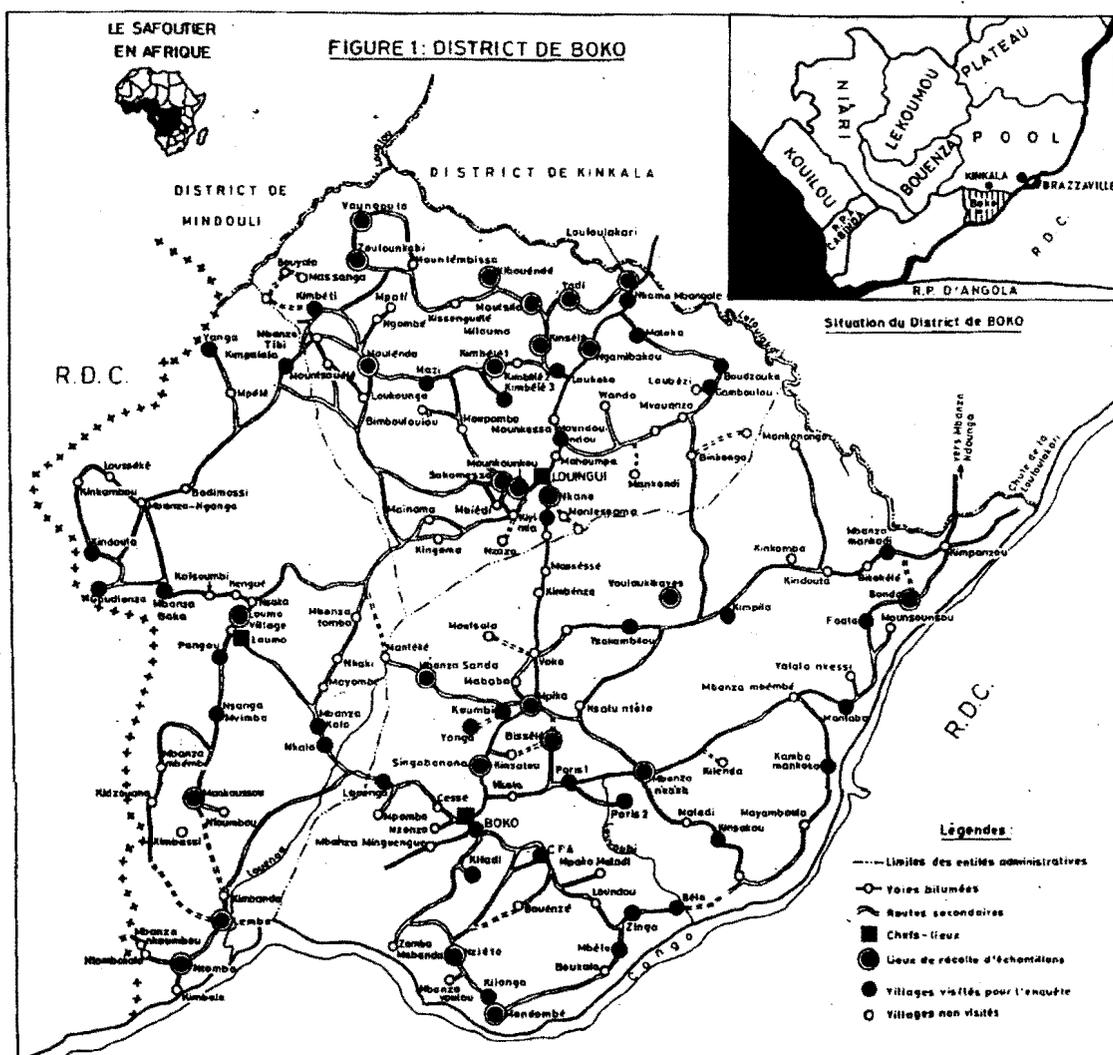


Figure 1 : Localisation de la zone d'enquête dans l'ancien district de Boko.

2. Evaluation de la production des fruits.

Nous avons utilisé l'échantillonnage à plusieurs degrés (ici, deux) tel que décrit par Mettrick (1994) à cause de la facilité de la construction de la base de sondage et de la réduction des coûts induits.

2.1. Premier degré de sondage.

Il est représenté par l'ensemble des villages du district.

Pour avoir une couverture homogène du district, nous avons considéré les 3 sous entités du district à savoir Boko-centre, Louingui et Loumo.

Nous avons tiré au sort 30% des villages dans chaque sous entité; ainsi un échantillon de 63 villages a pu ainsi être constitué.

2.2. Deuxième degré de sondage.

C'est le nombre de ménages.

La propriété de la terre étant familiale, nous avons retenu le ménage (tel que défini dans les documents du recensement général de la population) comme unité statistique pour l'enquête. Dans chaque village retenu pour l'enquête, un échantillon d'au moins 6% de ménages a été constitué de manière raisonnée. En parcourant les artères du village nous avons sélectionné à partir de la taille de leurs vergers, les ménages à interroger de façon à rendre compte de la diversité des exploitations.

Un échantillon de 188 ménages a pu ainsi être constitué.

L'enquête a été réalisée au moyen du questionnaire sur la filière safou, reporté en annexe, (culture, production, utilisation).

3. Matériel végétal

3.1. Etude des variations intra arbres

L'arbre étudié, au cours d'un travail préliminaire en vue de mieux cerner le problème posé, est localisé à Loufoulakari (District de Louingui, Région du Pool, Congo-Brazzaville). Il est âgé de 10 ans environ et a atteint, pour la production fruitière, sa production maximale (100 kg/an). Les quatre orientations géographiques et les trois niveaux, par rapport au sol, ont été définis comme indiqué sur la figure 2.

Tous les fruits de l'arbre ont été cueillis et comptés. Un échantillon de 10 fruits choisis au hasard, par niveau et par orientation géographique a été constitué ; soit au total 120 fruits pour

3 niveaux et 4 orientations géographiques qui ont été utilisés pour déterminer les grandeurs morphologiques et les teneurs en eau et en huile.

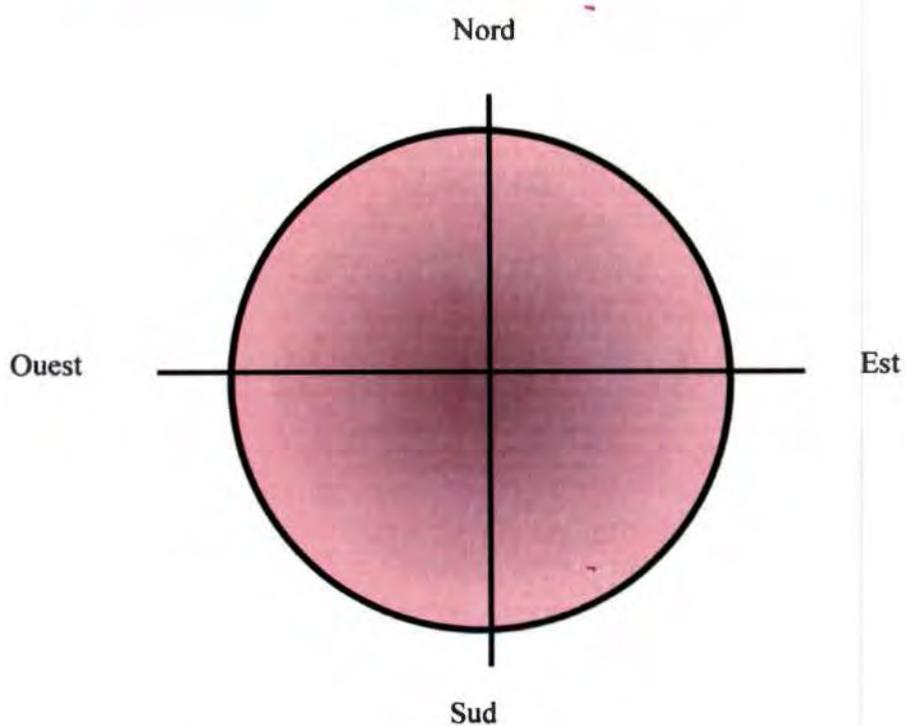
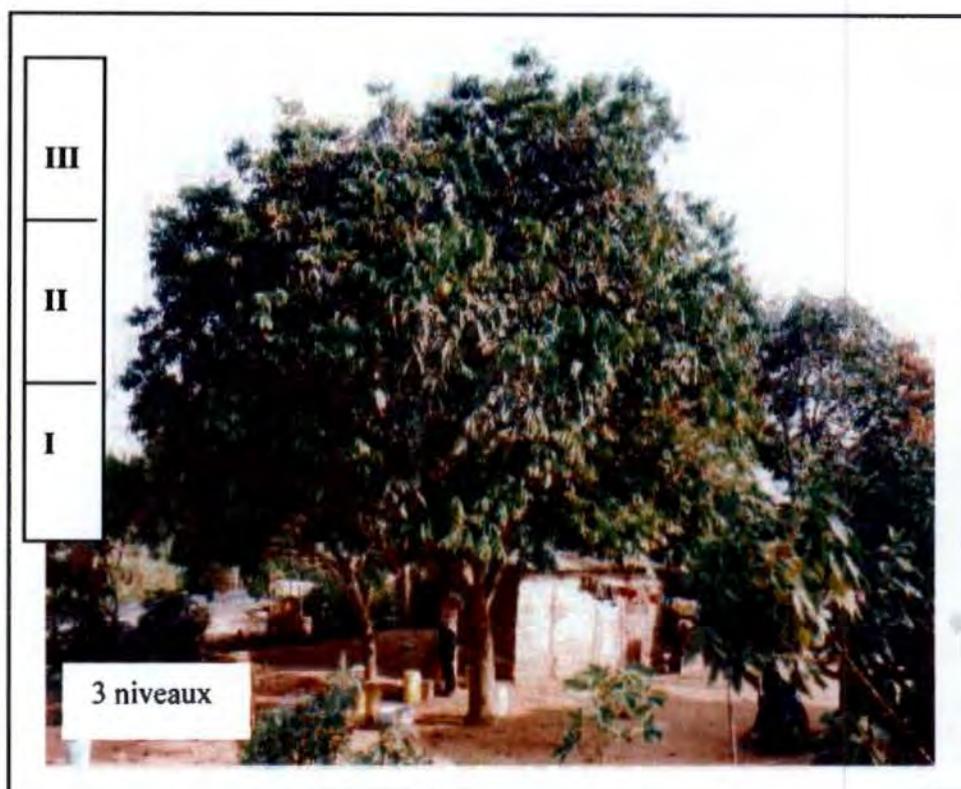


Figure 2 : Définition des niveaux et délimitation des orientations pour un arbre

Dix fruits par orientation (3 fruits pour le niveau I, 3 fruits pour le niveau II, 4 fruits pour le niveau III), soit 40 pour les 4 orientations ont été utilisés pour l'analyse des acides gras (AG) et des triacylglycérols (TAG).

L'étude a été étendue à six arbres localisés à Moulenda (1 arbre), Kiazzi (1 arbre) Kimbila (2 arbres) et Boko (2 arbres), choisis au hasard, en tenant compte de l'orientation géographique des fruits (Nord, Sud, Est, Ouest).

Dix fruits ont été prélevés pour chaque orientation à différentes hauteurs du sol pour tenir compte d'une influence éventuelle de ce facteur. Ainsi, 40 fruits par arbre ont été soumis à une étude morphologique et physico-chimique.

3.2. Etude des variations inter arbres dans un même village

L'étude a été faite dans 2 villages du district de Boko: il s'agit de Loufoulakari (15 arbres) et de Ngamibakou (9 arbres).

Sur chacun de ces arbres 10 fruits ont été récoltés au hasard, fort de la calibration des fruits sur un même arbre établi auparavant.

L'étude a donc porté sur 150 fruits de Loufoulakari et 90 fruits de Ngamibakou.

3.3. Etude des variations inter arbres pour l'ensemble du District

Les villages concernés par la récolte des échantillons ont été retenus de façon à réaliser une couverture géographique complète et homogène du district (figure 1).

Dans chaque village des arbres ont été retenus au hasard et le nombre d'arbres varie avec l'importance des plantations de safoutiers ; dans tous les cas il a varié d'un arbre/village à cinq arbres/village.

L'ensemble de l'étude a donc concerné 68 arbres soit 680 fruits étudiés à raison de 10 fruits par arbre.

4. Méthodes d'étude

4.1. Grandeurs morphologiques

Nous avons déterminé pour chaque fruit et telles que définies antérieurement. (figure 3, Silou, 1996) : la longueur du fruit, la largeur du fruit, l'épaisseur de la pulpe.

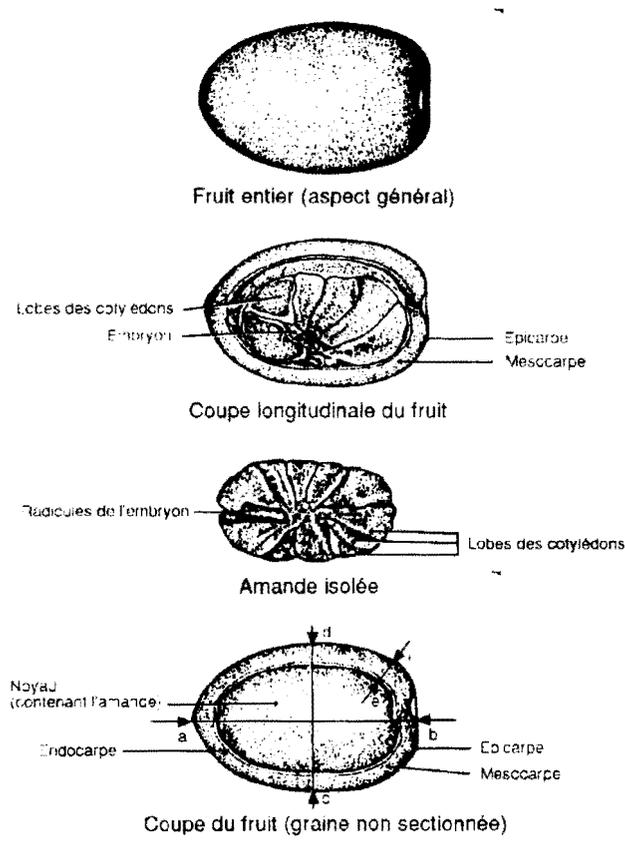


Figure 3 : Détails de la morphologie du safou

4.2. Caractéristiques physiques du fruit

4.2.1. Masse du fruit et masse de la pulpe

A l'aide d'une balance, le fruit entier est pesé au dg près, on obtient la masse du fruit (M_F). Après le retrait de la graine, la pulpe fraîche est pesée, on obtient la masse de la pulpe M_P .

4.2.2. Masse volumique du fruit.

Ici, le volume du fruit est déterminé en mesurant le volume du liquide déplacé à l'aide d'une éprouvette d'1 litre. On note le volume avant (V_0) et après (V_1) l'immersion du fruit entier. . Si le fruit a une masse m , la masse volumique est donnée par :

$$\text{Masse volumique} = m / (V_1 - V_0).$$

4.3. Composition globale du fruit

4.3.1. Teneur en eau

Le fruit est ouvert longitudinalement à l'aide d'un couteau. On retire la graine. Soient m_1 la masse de la pulpe et m_2 la masse de la pulpe séchée à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante, la teneur en eau est donnée par la relation :

$$\% \text{ eau} = (m_1 - m_2) / 100.$$

4.3.2. Teneur en huile

La détermination de la teneur en huile a été faite par la méthode au soxhlet

La pulpe séchée, broyée et pesée (masse m_2) est introduite dans une cartouche d'un soxhlet.

Après extraction pendant 5 heures avec de l'hexane, l'extrait est séché au sulfate de sodium ; le solvant est évaporé sous vide et les traces de solvant sont éliminées par séchage de l'huile à l'étuve à 103°C pendant 6 heures.

Soit m_3 la masse de l'huile obtenue, la teneur en huile est donnée par la relation:

$$\% \text{ huile} = (m_3 / m_2) 100$$

4.3.3. Composition en acides gras

Les esters méthyliques ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'un appareil Becker-Packard, modèle 417, équipé d'une colonne capillaire de verre de 30 m de long, 0,4 mm de diamètre intérieur et de 0,4 μm d'épaisseur, imprégnée de carbowax 20M.

Les conditions d'analyse ont été les suivantes :

- température du four : 195°C
- débit d'azote : 3 ml /min sous une pression de 0,5 bar
- température de l'injecteur : 230°C
- température du détecteur à ionisation de flamme : 220°C

Les aires sous pics sont mesurées à l'aide d'un enregistreur-intégrateur ICAP 10.

La réponse du détecteur aux différents esters méthyliques a été étudiée avec des mélanges quantitatifs et des coefficients de correction des aires ont été établis. (Kinkéla and Bézard, 1993).

4.3.4 Composition en triacylglycérols

Les TAG purifiés sont ensuite fractionnés en classe de même degré d'insaturation par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) sur colonne d'acide silicique greffée de groupe sulfonique et mise en présence d'ion Ag^+ .

Les analyses ont été effectuées à température ambiante. La phase mobile est constituée d'un mélange d'acétone-dichloro éthane (75 : 25, V/V) avec un débit de 1 ml /min.

Cinq fractions majeures ont subi une deuxième analyse par HPLC utilisant une colonne remplie de silice greffée de radicaux octadecyl avec comme phase mobile un mélange d'acétone-acétonitrile (70 : 30, V/V), (Kinkéla et Bézard, 1993).

4.4. Traitement statistique des données

Les techniques suivantes de description et d'analyse des données ont été utilisées pour faciliter l'interprétation des résultats.

4.4.1. Description des données

La distribution des individus donnés peut être caractérisée, entre autre, par des indicateurs de localisation (la moyenne, par exemple) et de dispersion (variance, écart type, coefficient de variation).

La notion de moyenne n'est pas aussi évidente qu'elle ne paraît au premier abord.

En effet, si la moyenne est un chiffre qui sert à représenter une famille de valeurs individuelles, elle doit être effectivement représentative de ces valeurs. En la calculant on doit se poser les questions suivantes : « quelles conclusions pourra-t-on tirer de cette moyenne ? », « Donnera-t-elle lieu à une interprétation erronée ? ».

Selon les données du problème, on distingue 3 types de moyennes: la moyenne arithmétique, la moyenne géométrique et la moyenne harmonique.

Les données du problème étudié ici sont bien rendues par la moyenne arithmétique définie par la relation :

$$\langle x \rangle = (\sum x_i/n), \text{ pour } n \text{ valeurs de } x_i$$

La dispersion d'un ensemble de données peut être perçue de différentes manières et notamment par l'amplitude entre la valeur minimale et la valeur maximale.

Toutefois l'écart type est le paramètre le plus utilisé. Il a l'avantage de considérer chacune des valeurs expérimentales par rapport à la moyenne. Il est donné par la relation :

$$\sigma = \{[\sum (x_i - \langle x \rangle)]/n-1\}^{1/2}$$

A des fins de comparaison, l'écart type peut s'exprimer en pourcentage, il devient alors coefficient de variation (CV) :

$$CV (\%) = (100 \sigma) / \langle x \rangle$$

Dans ce travail impliquant du matériel naturel vivant, nous allons considérer comme homogène des individus présentant, pour une variable donnée, un $CV < 20\%$, moyennement variable pour, $20\% < CV < 60\%$ et très variable pour des $CV > 60\%$.

Le contexte d'utilisation, dans cette étude, des histogrammes et des radar-plots, représentations qui aident à visualiser les caractéristiques des fruits, mérite d'être précisé.

En toute rigueur, les histogrammes, représentation graphique de la distribution des données, est un ensemble de k rectangles adjacents construits dans un système d'axes orthogonaux d'un plan tel que :

- chaque rectangle est associé à une classe de l'échelle ordinale ;
- la base de chaque rectangle coïncide avec l'intervalle qui définit la classe correspondante ;
- les aires des rectangles sont proportionnelles aux effectifs respectifs des classes.

Toutefois, le diagramme en barres, disponible sur Excel porte également le nom d'histogramme, c'est, en fait, un ensemble d'histogrammes, chaque barre ayant la signification d'un histogramme c'est-à-dire d'une distribution de fréquences en pourcentage cumulées.

Le « radar plot », représentation en coordonnées polaires des données, est plus adapté que l'histogramme lorsque la description de l'individu fait intervenir un nombre élevé de variables.

Pour ce faire, on construit une figure sur laquelle les constituants sont repartis sur des axes gradués, uniformément distribués sur un cercle (360°). La teneur de chaque constituant, sur l'axe correspondant, définit le point représentatif du constituant.

Ces points reliés par des segments de droite définissent une figure géométrique caractéristique du produit, appelée « radar-plot », en anglais.

4.4.2. Analyse des données

Le traitement des données morphologiques et physico-chimiques a été réalisé par analyse en composantes principales (ACP) et par classification hiérarchique ascendante (CAH), avec le logiciel XLSTAT 2006.2 ([www. Addinsoft.com](http://www.Addinsoft.com)), qui est une macro commande du logiciel Excel, version 10.1 de Microsoft.

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode de traitement de données contenue dans un tableau de type : Individus (lignes) x Variables quantitatives (colonnes).

Elle permet de réduire une grande masse de données en un nombre plus raisonnable et facilement exploitable, en construisant à partir des variables de départ un petit nombre de variables par combinaison linéaire des premières. Ces nouvelles variables sont appelées de composantes principales, elles doivent, sous certaines conditions, résumer les données de départ avec une précision acceptable.

L'ACP est donc une technique de compression des données. Elle permet de visualiser à l'aide des représentations graphiques simples le lien entre les variables et la similitude entre les individus.

Nous avons appliqué cette méthode dans l'essai de classification des safous du district de Boko, en considérant les cercles de corrélation pour la recherche des liens entre les variables et le plan formé par les 2 premières composantes principales (F1,F2) pour la recherche des similitudes entre individus.

Le logiciel XLSTAT 2006.2 utilisé, fournit en même temps que les représentations graphiques, des critères pour vérifier la fiabilité de la procédure : pourcentage de la variabilité expliqué par les différentes composantes principales, matrice de corrélation des variables entre elles et avec les axes, cosinus carré des variables...

La classification hiérarchique ascendante (CAH) permet de constituer des groupes homogènes d'objets (classes) sur la base de leur description par un ensemble de variables, ou à partir d'une matrice décrivant la similarité ou la dissimilarité des objets.

C'est une méthode de classification itérative, basée sur un principe simple.

On calcule la similarité entre N objets, on commence par regrouper les deux qui minimisent un critère d'agrégation choisie, on crée ainsi la première classe.

On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les N-2 objets restants, on regroupe la première classe et l'objet suivant minimisant le critère d'agrégation.

On poursuit le regroupement jusqu'à l'obtention d'une classe qui inclue la totalité des objets.

On construit ainsi un arbre binaire de classification appelé dendrogramme ;

Par la suite on peut choisir une partition en tronquant l'arbre à un niveau donné, selon les objectifs poursuivis.

III - RESULTATS EXPERIMENTAUX.

1. Evaluation de la production

Il ressort de l'enquête réalisée entre 1992 – 1997 dans l'ancien district de Boko qu'en moyenne un ménage possédait :

- 35 arbres dans Boko Centre (pour 3003 ménages)
- 20 arbres dans Louingui (pour 1920 ménages)
- 29 arbres dans Loumo (pour 1263 ménages).

Le safoutier est en production maximale une année sur deux. P_1 et P_2 traduisent ce fait en représentant respectivement la production en année défavorable et en année favorable.

L'enquête indique que la production P_1 (année défavorable) qui peut être nulle est en moyenne de 15 kg/arbre à Boko - Centre, 22 kg/arbre à Louingui et 21 kg/arbre à Loumo.

La production P_2 varie dans le même sens ; elle est de 56 kg/arbre à Boko - Centre , 92 kg / arbre à Louingui et 90 kg/arbre à Loumo.

Tableau I : Résultats de l'enquête d'évaluation quantitative du verger safoutier du district de Boko (nombre d'arbres et production de fruits).

	Boko-Centre	Louingui	Loumo	Total
Nombre de ménages (n_1)	3003	1920	1263	6186
Nombre d'arbre par ménage (n_2)	35	20	29	-
Production moyenne par arbre (mauvaise saison) p_1 (kg)	15	22	21	-
Production moyenne par arbre (bonne saison) P_2 (kg)	56	92	90	-
Nombre total d'arbres $N = n_1 \times n_2$	105105	38400	36627	180132
Production totale (mauvaise saison) $P_1 = p_1 \times N \times 1/3$	525,5	281,6	256,4	1063,5
Production totale (bonne saison) $P_2 = p_2 \times N \times 1/3$	1962,0	1177,6	1086	4226,2

Si ces indicateurs par arbre sont aisément vérifiables sur le terrain et mieux s'inscrivent dans les fourchettes rencontrées dans la littérature notamment pour la production, l'extrapolation au niveau de l'ensemble du district doit se faire avec beaucoup de prudence. C'est ainsi que :

- d'une part nous avons écarté les chefs-lieux des 3 sous entités qui, à cause de la présence des fonctionnaires et des commerçants en surnombre risquent de biaiser fortement les résultats.
- d'autre part, nous avons introduit un facteur correctif tenant compte des arbres productifs. En effet, il est maintenant admis l'existence de 3 types des pieds chez le safoutier ; les mâles, les femelles et les hermaphrodites (Kengué, 2002). Les pieds femelles étant les plus productifs ; seul le tiers du verger serait significativement productif, en supposant une répartition équitable des arbres dans chaque catégorie de pieds.

En considérant le tiers des arbres du district les productions annuelles varient de la manière suivante :

- 525,5t à 1962,0t pour Boko Centre, avec une moyenne de 1243t ;
- 281,6t à 1177,6t pour Louingui , avec une moyenne de 730t ;
- 256,4 à 1086,6t pour Loumo, avec une moyenne de 672t ;

soit au total de 1063,5t à 4226,2t pour l'ensemble du district, avec une moyenne de 2645t/ an.

Ce chiffre est tout à fait raisonnable quand on sait, par exemple qu'en 1999, le Cameroun avait commercialisé 11 000 tonnes de safous pour une valeur de 7,5 millions de dollars américains (Awono *et al*), ce qui équivaldrait selon notre hypothèse de 50 % de pertes post récolte à une production de 22 000 tonnes de fruits. D'autres auteurs estiment à 100 000 tonnes la production totale de safous au Cameroun (Tchotsoua et Mapongmetsen, 1997)

Cette méthode d'évaluation de la production attend d'être validée sur un échantillon plus grand.

Dans l'itinéraire menant à une caractérisation aussi exhaustive que possible du safou dans son aire naturelle de végétation, l'étude doit commencer, pensons-nous, par le maillon le plus simple qui est l'arbre, les fruits d'un même arbre tendent-ils vers un même calibre (morphologie) ? Une même composition (catégorie) ? Aucune étude de cette nature n'est

actuellement disponible sur l'architecture du safoutier et en particulier sur le positionnement, la morphologie et la composition des fruits sur un même arbre. Une telle information guiderait très certainement le mode de constitution des échantillons de fruits représentatifs de l'arbre.

Des études analogues existent dans la littérature, notamment sur les agrumes (Mars *et al.*, 1994 ; Blondel *et al.*, 1972 ; Gaillard *et al.*, 1976 ; Cohen *et al.*, 1988; Fellahi *et al.* 1989).

2. Etude préliminaire de la répartition des fruits sur un arbre.

La figure 2 décrit les paramètres pris en compte lors de l'étude de la distribution des fruits sur l'arbre, à savoir la répartition géographique et la distance au sol.

2.1. Nombre de grappes et morphologie des fruits.

Les fleurs du safoutier peuvent être mâles, femelles ou hermaphrodites.

Elles se regroupent en panicule de forme pyramidale dont la complexité varie avec le sexe, l'âge etc.... Ces panicules conduisent au regroupement des fruits en grappes.

Le tableau II indique la répartition des grappes sur l'arbre, classées selon le nombre de fruits portés par grappe.

Le tableau III donne la répartition des grappes et des fruits d'une part en fonction du niveau par rapport au sol (niveaux I, II, III) et d'autre part selon l'orientation géographique (N,S,E,O.).

On constate à l'examen de ces résultats que le nombre de fruits portés par une grappe varie de 1 à 31 et que la moyenne se situe à 5 fruits/grappe pour l'ensemble de l'arbre.

De façon plus détaillée, si l'on se positionne à 5 fruits par grappe, on remarque que le Nord et le niveau II sont au dessus de cette moyenne, que le Sud est en dessous et que l'Est, l'Ouest, les niveaux I et III ont la valeur moyenne.

En tout état de cause, la variation étant d'une unité sur une grandeur de l'ordre de 5, on peut postuler une répartition homogène des fruits sur l'ensemble de l'arbre.

Il est intéressant de noter que :

- 70% de grappes ont entre 1 et 6 fruits/grappe sur une échelle allant de 1 à 31 fruits.
- l'axe Est-Ouest est le plus chargé en fruits (60%) tandis que le niveau III (sommet de l'arbre) porte plus de la moitié des fruits de l'arbre.

- le taux des fruits immatures qui est en moyenne de 7% au moment de la récolte est presque identique pour toutes les orientations sauf pour le Sud où il est près de 1,5 fois plus grand (10%).

Le tableau IV regroupe les caractéristiques morphologiques et les teneurs en eau et en huile en fonction du niveau au sol et de l'orientation des fruits sur l'arbre.

Les faibles valeurs des écarts types des grandeurs morphologiques témoignent de manière globale d'une bonne homogénéité des fruits sur un même arbre.

Tableau II Répartition des fruits par grappe, selon l'orientation géographique sur un même arbre .

Nbre* de fruits	Nombre de grappes					Nbre de fruits	Nombre de grappes				
	N	S	E	O	Arbre		N	S	E	O	Arbre
1	31	24	22	30	107	17	-	1	3	-	4
2	20	20	30	26	96	18	-	-	1	3	4
3	12	10	22	17	61	19	1	-	1	-	2
4	9	16	19	16	60	20	-	1	-	3	4
5	5	7	11	12	35	21	2	-	-	1	3
6	7	7	4	10	28	22	1	-	-	1	2
7	6	4	11	12	33	23	-	-	-	2	2
8	5	3	7	5	20	24	-	-	1	-	1
9	7	3	5	5	20	25	-	-	-	-	-
10	5	2	4	4	15	26	-	-	-	-	-
11	11	6	2	3	16	27	1	-	-	1	2
12	2	1	2	4	9	28	-	1	-	-	1
13	4	1	3	4	12	29	-	-	-	-	-
14	2	-	2	3	7	30	-	-	-	-	-
15	-	-	4	2	6	31	1	-	-	-	1
16	-	-	1	5	6	TOTAL	126	103	158	170	557

* nombre de fruits par grappe.

Tableau III : Répartition des fruits d'un arbre par niveau par rapport au sol et par orientation géographique.

	Nombre de grappes (%)	Nombre de fruits mûrs (%)	Nombre de fruits immatures (%)	Moyenne de fruits/grappes
Répartition par niveau				
Niveau I	139 (24,9%)	689 (24,3%)	67 (8,8%)	4,95 ≈ 5
Niveau II	151 (27,1%)	902 (32,0%)	81 (8,2%)	5,97 ≈ 6
Niveau III	267 (47,3%)	1232 (43,7%)	71 (5,4%)	4,61 ≈ 5
Total	557 (100%)	2820 (100%)	219 (100%)	5
Répartition par orientation				
Nord	126 (22,6%)	697 (24,7%)	50 (6,7%)	5,53 ≈ 6
Sud	103 (18,5%)	438 (15,5%)	50 (10,2%)	4,25 ≈ 4
Est	158 (28,4%)	772 (27,4%)	57 (6,9%)	4,88 ≈ 5
Ouest	170 (30,5%)	913 (32,4%)	62 (6,4%)	5,37 ≈ 5
Total	557 (100%)	2820 (100%)	219 (100%)	5

2.2. Composition chimique des fruits.

Pour chaque orientation, les teneurs en huile des pulpes varient globalement de 18 (niveau I) à 50 (niveau III) ; les fruits du sommet sont plus oléagineux que ceux qui sont le plus proche du sol (tableau IV).

Tableau IV : Caractéristiques morphologiques et teneurs en eau et en huile en fonction du niveau au sol et de l'orientation des fruits sur l'arbre.

	Niveau	Longueur *	Largeur *	Epaisseur*	M _L *	M _P *	%eau*	%Huile **
NORD	I	5,9 5(0,3)	3,5 (0,1)	0,6 (0,06)	44 ,0(4,44)	31 (3,9)	79,8 (1,3)	19,1
	II	5,9 (0,3)	3,6 (0,1)	0,6 (0,03)	45,0 (5,7)	30,0(0,09)	78,2 (3,2)	36,3
	III	6 ,0 (0,1)	3,5 (0,05)	0,6 (0,05)	44,5 (2,6)	30,0(0,0)	73,5 (3,1)	51,2
	Moyenne	5,93a***	3,53a	0,6a	43,8b	30,5	77,1a	35,5a
SUD	I	5,7 (0,1)	3,4 (0,1)	0,6 (0,04)	35,5 (4,9)	23 (4,4)	70,4 (6,8)	19,7
	II	5,7 (0,1)	3,5 (0,1)	0,6 (0,0)	38,5 (3,3)	28,5 (3,3)	79,8 (2,4)	33,4
	III	5,7 (0,2)	3,4 (0,1)	0,6 (0,05)	37 (5,3)	24 (3,9)	66,3 (5,5)	50,9
	Moyenne	5,7a	3,43a	0,6a	37a	25,1	72,1a	34,6a
EST	I	6,1 (0,1)	3,6 (0,1)	0,6 (0,04)	42,5 (4,8)	29 (2,6)	73,7 (6,7)	18,2
	II	5,9 (0,3)	3,9 (0,2)	0,6 (0,05)	44,5 (6,4)	32,5 (4,2)	75,88 (3,4)	46,3
	III	5,7 (0,2)	3,4 (0,1)	0,6 (0,07)	39,25 (4,09)	29 (2,6)	77,4 (3,6)	45,7
	Moyenne	5,9a	3,5a	0,6a	42b	30,3	75,6a	36,7a
OUEST	I	5,7 (0,2)	3,4 (0,1)	0,6 (0,04)	40 ,0(3,5)	29 (2,6)	77,5 (1,8)	18,7
	II	5,9 (0,1)	3,4 (0,08)	0,6 (0,04)	45,54,9	32,2 (2,4)	75,1 (4,01)	38,8
	III	5,7 (0,3)	3,4 (0,1)	0,6 (0,04)	41 (5,1)	29 (3,1)	72,5 (3,1)	48,5
	Moyenne	5,7a	3,4a	0,6a	42,1b	30,06	75,03a	35,3a
Moyenne (arbre)		5,8	3,5	0,6	41,2	28,9	74,9	35,5

*Chaque valeur est une moyenne des mesures sur 10 fruits

** Chaque valeur est une mesure par niveau ou par orientation

*** Les moyennes portant la même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes (ANOVA).

Les 4 orientations retenues pour l'étude présentent un comportement identique.

Le tableau V rapporte la composition en acides gras et en triacylglycérols des lipides de la pulpe de safou selon l'orientation.

On constate que globalement la composition de l'huile extraite de la pulpe varie peu avec l'orientation géographique.

En effet la teneur en acides gras saturés varie entre 50 et 54%, celle de mono-insaturés entre 24 et 26% (sauf au Sud où elle atteint 29%) et celles des poly-insaturés entre 20 et 24%. Il ne se dégage pas d'axe privilégié. Il ressort de cette étude que la composition en acides gras varie peu en fonction de l'orientation des fruits.

L'axe Est - Ouest que nous avons identifié comme légèrement privilégié sur le plan quantitatif, ne diffère pas de l'axe Nord-Sud sur le plan qualitatif ;

La variation est beaucoup plus importante pour les TAG (tableau V).

Des cinq TAG majeurs, POL est celui qui a sa teneur qui varie le moins ($13,11 \pm 0,59$) et POO est celui dont la teneur varie le plus ($19,94 \pm 4,52$).

Entre ces deux bornes on trouve les TAG suivants : PLL, PPL, PPO.

Tableau V : Composition en AG (% moles) et des TAG (% moles) des huiles de la pulpe de safou en fonction de l'orientation géographique sur un même arbre.

	OUEST	NORD	SUD	EST	Moyenne (Ecart type)
Acides Gras (AG)					
C 14 : 0	0,12	0,13	0,16	Tr	0,13
C 16 : 0	48,24	50,71	49,10	47,22	48,82 (1,48)
C 16 : 1	0,27	0,25	0,30	0,25	0,27 (0,02)
C 17 : 0	0,10	0,12	0,12	0,10	0,11 (0,01)
C 18 : 0	2,53	2,85	2,34	2,60	2,58 (0,21)
C 18 : 1	23,72	23,89	25,48	29,31	25,50 (2,72)
C 18 : 2	22,57	20,03	20,73	19,10	20,60 (1,47)
C 18 : 3	2,12	1,80	1,55	1,26	1,69 (0,37)
C 20 : 0	0,20	0,15	0,15	0,16	0,16 (0,02)
C 20 : 1	0,07	0,07	0,07	Tr	0,07
Saturés	51,19	53,96	51,87	50,08	51,77
Mono-insaturés	24,06	24,21	25,85	29,56	25,92
Poly-insaturés	24,75	21,83	22,28	20,36	22,30
R	0,48	0,40	0,43	0,41	0,43
Triacylglycérols (TAG)					
OOO	2,87	1,91	0,96	0,58	1,58 (1,03)
PLL	13,76	11,0	8,46	7,43	10,16 (2,83)
POL	13,93	12,60	12,80	13,11	13,11 (0,59)
PPL	24,17	23,30	20,93	18,20	21,65 (2,68)
POO	14,72	15,68	24,30	21,05	18,94 (4,53)
PPO	25,01	28,36	28,12	32,22	28,43 (2,95)
PPP	3,1	3,73	1,73	4,09	3,18 (1,04)
PSO	2,4	3,42	2,70	3,32	2,96 (0,49)

P = acide palmitique (C 16 : 0) ; O = acide oléique (C 18 : 1) ; L = acide linoléique (C 18 : 2)
Tr = trace ; R = (%saturés)/(%poly-insaturés)

Il ressort nettement de cette étude préliminaire que :

- sur une gamme allant de 1 à 31 fruits, la majorité des grappes porte 1 à 6 fruits (70%)
- l'axe E-O porte plus de la moitié des fruits (60%)
- le sommet de l'arbre (niveau III) qui porte 60% de fruits regroupe les fruits les plus oléagineux (50% de teneur en huile) quelle que soit l'orientation géographique.

De manière globale, les fruits étudiés sont homogènes.

On peut conclure, en fin de compte, à une calibration naturelle des fruits sur un même arbre. Ce qui est un atout important dans la perspective du développement d'une exploitation industrielle du safou.

3. Etude de la variation intra arbre des fruits des six arbres.

L'étude des grandeurs morphologiques et des teneurs en eau et en huile réalisée de manière très détaillée sur un arbre a été étendue à 6 arbres, moyennant quelques allègements. Le facteur « niveau par rapport au sol » des fruits a été intégré dans la stratégie de constitution de l'échantillon de façon à ne considérer que l'orientation géographique.

Les résultats obtenus pour les 6 arbres étudiés sont regroupés dans le tableau VI.

Si en moyenne, les indicateurs du calibre du fruit (longueur, largeur, épaisseur) varient très peu avec l'orientation quel que soit l'arbre étudié, la masse du fruit entier (M_F) est supérieure à la moyenne de l'arbre à l'Ouest alors qu'elle est systématiquement inférieure au Sud sauf pour Kimbila 2 où la tendance s'inverse.

La variation est plus aléatoire pour l'Est et le Nord. Les résultats deviennent encore plus précis si l'on considère la masse de la pulpe (M_P).

De façon globale, on peut déjà constater que les fruits les mieux nantis en pulpe ont tendance à se trouver à l'Ouest sur l'axe Est-Ouest et les fruits les moins nantis au Sud sur l'axe Nord-Sud.

L'idée d'un axe Est-Ouest favorisé par rapport au Nord-Sud est renforcée par cette observation.

On pourrait multiplier les observations et les remarques en examinant les grandeurs les unes après les autres.

Mais ne perdons pas de vue que la question essentielle à laquelle doit répondre cette étude est celle de savoir si les fruits sur un même arbre, sont discriminés par leur orientation géographique.

Tableau VI : Variation des grandeurs morphologiques et des teneurs en eau et en huile de 6 arbres du district de Boko.

	Long*	Larg*	Ep*	M _F	M _P	Mas. Vol.	% eau	% huile
MOULENDA								
Nord	7,6	4,2	0,8	62,5	42,0	0,700	49,5	***
Sud	7,5	4,1	0,7	62,2	46,3	0,800	57,6	
Est	7,6	4,3	0,8	69,2	48,1	0,700	56,1	
Ouest	7,8	4,1	0,8	68,0	48,3	0,800	47,4	
Moyenne (arbre)	7,6d**	4,3d	0,8c	65,4d	46,1	0,750	56,2a	
KIAZI								
Nord	6,4	3,2	0,6	47,5	34,4	0,900	60,0	***
Sud	6,3	3,6	0,6	44,5	32,5	1,030	67,6	
Est	6,5	3,8	0,6	49,8	34,9	0,900	55,6	
Ouest	6,5	3,8	0,7	54,8	39,7	1,010	56,9	
Moyenne (arbre)	6,5b	3,6b	0,6b	49,1c	35,4	0,960	59,6b	
KIMBILA 1								
Nord	6,1	2,9	0,4	34,5	19,5	0,970	70,7	34,9
Sud	6,0	3,0	0,4	37,0	20,5	1,010	73,7	42,0
Est	6,2	3,1	0,5	38,0	23,0	0,950	58,2	41,1
Ouest	6,4	3,1	0,5	42,0	26,0	0,970	66,1	45,2
Moyenne (arbre)	6,1b,c	3,0a	0,4a	37,0b	22,2	0,970	67,1c	40,8
KIMBILA 2								
Nord	5,1	3,5	0,5	37,5	20,5	0,940	52,7	29,6
Sud	5,1	3,4	0,4	35,5	19,0	0,950	57,2	31,7
Est	5,1	3,4	0,5	33,5	18,0	0,910	54,8	33,1
Ouest	5,1	3,4	0,4	34,0	18,0	1,030	52,7	37,4
Moyenne (arbre)	5,1a	3,4b	0,4a	35,1b	18,8	0,950	54,3a,b	33,0
BOKO 1								
Nord	6,2	3,0	0,4	27,8	19,9	0,910	75,2	60,6
Sud	6,3	3,1	0,4	30,9	21,7	0,890	74,3	58,5
Est	6,0	3,0	0,4	27,4	19,1	0,890	77,5	65,2
Ouest	6,1	3,0	0,4	30,1	19,5	0,930	70,5	61,8
Moyenne (arbre)	6,1b	3,0a	0,4a	29,0a	20,0	0,900	74,3d	61,8
BOKO 2								
Nord	6,6	3,6	0,6	49,0	36,0	0,900	53,8	32,8
Sud	6,4	3,6	0,6	46,5	34,0	0,920	55,4	37,4
Est	6,4	3,6	0,6	48,0	33,5	0,920	52,1	38,8
Ouest	6,4	3,8	0,6	48,5	35,0	0,900	56,1	38,7
Moyenne (arbre)	6,4c	3,6	0,6b	48,0c	34,6	0,910	54,3a,b	36,8

*Long. : longueur ; Larg. : largeur ; Ep. : épaisseur ; MF : Masse du fruit entier ;

Mp : masse de la pulpe ; Mas. Vol. : masse volumique

**Les moyennes portant la même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes (ANOVA).

***valeurs non déterminées

L'analyse statistique élémentaire indique pour l'ensemble des caractéristiques morphologiques et chimiques étudiées, des variations de très faibles amplitudes (écarts-types) se traduisant par une forte agrégation des valeurs autour de la moyenne.

Ces résultats sont en faveur d'une calibration naturelle des fruits sur un même arbre aussi bien sur le plan morphologique que chimique, tout au moins à travers les teneurs en eau et en huile.

Ceci étant acquis, qu'en est-il pour des fruits des arbres différents ?

La réponse à cette question peut être recherchée en considérant d'abord les arbres localisés dans un même village et ensuite ceux d'une zone écologique plus large.

4. Variation inter arbres au sein d'un même village

Dans ce cas de figure on peut considérer les individus (arbres) liés entre eux ne serait-ce par le fait d'être pollénisés par la même population d'insectes.

Les tableaux VII et VIII représentent les caractéristiques morphologiques et les teneurs en eau et en huile des arbres de Loufoulakari et de Ngamibakou.

S'agissant du village Loufoulakari, on retrouve là encore des écarts-types faibles, et donc, des coefficients de variation pour l'essentiel inférieurs à 15% sauf pour les masses (M_F , M_P) où elles sont deux fois plus élevées.

Le calibre (longueur, largeur), les teneurs en eau et en huile semblent mieux caractériser les fruits dans un village, plus que leur masse qui varie dans une fourchette 2 fois plus grande.

Les résultats de Ngamibakou confirment la faible variation des grandeurs telles que la longueur, la largeur, la teneur en eau. Ici la masse du fruit et la teneur en huile ont des coefficients de variation plus élevés.

Comme sur l'arbre, les fruits ont une forte tendance à se ressembler pour les arbres d'un même village ; les fourchettes de variations sont un peu plus larges, que précédemment

Tableau VII : Calculs statistiques sur les caractéristiques morphologiques et la composition des fruits de 15 arbres de Loufoulakari (10 fruits/arbres).

	Longueur	Largeur	Epaisseur	M_F	M_P	Masse volumique	% eau	% huile
Moyenne	5,9	3,6	0,5	44,	34,8	0,908	63,8	47,1
Minimum	4,4	3,1	0,4	26,7	17,5	0,800	51,5	34,1
Maximum	7,7	4,1	0,7	77,5	67,0	1,040	74,9	58,5
Ecart-type	0,9	0,3	0,1	12,5	10,3	0,074	6,7	6,8
Coefficient de variation	15,2	9,0	14,8	28,5	32,5	8,1	10,5	14,3

Tableau VIII: Calculs statistiques sur les caractéristiques morphologiques et composition des fruits de 9 arbres de Ngamibakou (10 fruits/arbres).

	Longueur	Largeur	Epaisseur	M _F	M _P	Masse volumique	% eau	% huile
Moyenne	6.7	3.6	0.6	49.8	35.2	0.879	57.4	50.5
Minimum	5.1	3.3	0.4	33.5	23.0	0.800	45.6	31.8
Maximum	8.2	4.1	0.8	75.5	58.0	1.010	67.3	64.2
Ecart-type	1.1	0.3	0.1	12.4	10.7	0.07	6.8	11.6.
Coef.de variation	15.6	6.9	20.3	25.0	30.3	7.9	11.8	23.0

5. Variations inter arbres au sein d'une zone écologique

Etendons maintenant l'étude à une superficie plus vaste (District de Boko 2900 km²) pour essayer de cerner les données du problème sur une zone écologique plus large.

Soixante huit (68) arbres ont fait l'objet d'une étude statistique descriptive (tableau IX) à raison de 10 fruits par arbre soit 680 fruits au total.

Comme précédemment, les résultats obtenus sont en faveur d'une grande homogénéité des fruits dans la zone étudiée, même si l'amplitude de variation est un peu plus grande.

Tableau IX : Calculs statistiques sur les données morphologiques et les teneurs en eau et en huile des 68 safoutiers du District de Boko.

	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	M _F (g)	% eau *	% huile *
Moyenne	6.3	3.6	0.6	42.6	64.3	40.7
Minimum	4.1	2.7	0.4	19.0	47.0	25.8
Maximum	8.7	4.8	0.9	74.5	77.1	74.9
Ecart-type	0.9	0.4	0.1	13.0	6.9	10.5
Coef. variation	14.4	11.3	22.3	30	10.7	25.9

* n = 65 arbres.

IV - DISCUSSION

1. Approche pragmatique de la caractérisation des fruits

L'objectif poursuivi dans ce travail est la caractérisation des safous du district de Boko.

Nous venons d'établir l'existence d'une homogénéité de calibre (morphologie) et de catégorie (composition) des fruits dans le district.

Il convient maintenant de situer les safous étudiés sur l'échelle des safous existants telle qu'on peut la saisir par la littérature et aussi par des missions de terrains organisées à travers le Congo, par notre Equipe.

1.1. Calibre

Pour décrire la morphologie du safou, Certains auteurs tels que Omoti et al., (1987), Okafor (1983) utilisent la longueur et la circonférence ou le diamètre...

Pour des raisons pratiques nous avons considéré un parallélogramme inscrivant le fruit. La section du fruit étant quasiment cylindrique, la section du parallélogramme est un carré dont le côté est égal à la « largeur » du fruit.

La hauteur du parallélogramme correspond à la « longueur » du fruit.

Nous avons donc choisi la longueur et la largeur ainsi définies pour décrire la morphologie du safou.

Une telle description nous paraît pertinente dans l'éventualité de mise en place de machine pour l'ouverture mécanisée des fruits dans le cadre de la mise en place d'un procédé artisanal ou industriel de production d'huile à partir de la pulpe de safou.

Une autre grandeur a été considérée dans la description de la morphologie du safou, l'épaisseur de la pulpe. Elle peut s'avérer intéressante dans l'étape de séchage au cas où le procédé nécessiterait le retrait de l'endocarpe.

Des grandeurs physiques qui découlent de la morphologie peuvent également être prises en compte dans ce travail.

C'est le cas de la masse et du volume sous forme de masse totale du fruit, masse de la pulpe, masse volumique.

Toutes ces données combinées conduisent à une définition plus fine du calibre.

1.2. Catégorie

Nous regroupons sous ce vocable tout ce qui a trait à la composition du fruit, et en particulier à la teneur en huile parce que nous avons inscrit ce travail dans le cadre de la valorisation du safou en tant qu'oléagineux.

Le premier groupe de grandeurs à considérer sont celles relatives à la composition globale du fruit. Ce sont les teneurs en eau, lipides, protéines, cendres et éventuellement en sucres.

Le second groupe de grandeur concerne la qualité des huiles extraites du fruit (pulpe, graine).

Ce sont :

- les caractéristiques physico-chimiques : masse volumique, viscosité, indice de réfraction, couleur (spectrométrie visible) ;
- les indices chimiques : indices d'acide, de saponification, d'iode, et de peroxyde.

Un dernier groupe lié à des études plus fines renvoie à la composition de l'huile : teneur en insaponifiables, composition en acides gras, structure des triglycérides.

Il est évident que seul un petit nombre de tous ces critères possibles seront utilisés dans les classifications de types commerciales ou technologiques.

Nous avons retenu, dans cette étude, la teneur en eau et la teneur en huile.

1.3. Calibre et catégorie des safous du District de Boko

La littérature et les observations de terrain permettent de retenir pour les différentes grandeurs les bornes de variations suivantes (Bourdeaut, 1971 ; Silou *et al.*,2000, 2002; Ladipo *et al.*, 2002 ; Kapseu et Tchiegang, 1996 ; Tchoundjeu et al., 2002 ; Leakey *et al.*2002):

4 < Longueur (cm) < 10

2 < Largeur (cm) < 6

0,5 < épaisseur (cm) < 1,2.

Nous nous proposons *a priori* de faire 3 classes de fruits pour rendre compte des appellations adoptées par les acteurs de la filière : petit, moyen et gros safous que nous baptisons calibre I, II et III (tableau X). Dans la pratique nous avons cherché à cerner les caractéristiques de la classe médiane (fruits moyens, selon les acteurs de la filière). Il est évident que les bornes de cette classe s'affineront au fur et à mesure que les enquêtes s'étendront dans le pays, voire dans la sous région.

Tableau X : Classification des safous selon leur calibre et catégorie.

DESIGNATION	CALIBRE				CATEGORIE	
	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	Masse fruit. (g)	% huile	% eau
I	< 4.0	< 3.0	< 0,4	< 30	< 30	< 40
II	4-8	3-6	0,4-0,8	30-70	30-60	40-80
III	> 8	> 6	>0,8	> 70	> 60	>80

Par rapport à cette classification et au regard du tableau XI, la quasi-totalité des fruits étudiés appartiennent tous au calibre II.

Tableau XI : Echelle de variation des caractéristiques des fruits étudiés
(Calcul fait sur la moyenne au niveau des arbres)

Grandeur	Fourchette de variation pour catégorie II ou calibre II	% de l'échantillon remplissant le critère
Longueur (cm)	4 - 8	96%
Largeur (cm)	3 - 6	94 %
Epaisseur (cm)	0,4 - 0,8	99 %
Masse (g)	30 - 70	100 %
% eau	40 - 80	100 %

Il convient toutefois de signaler qu'une caractérisation aussi grossière des fruits qui est, sans aucun doute, déjà satisfaisante d'un point de vue commercial et peut-être oléotechnique, mérite d'être approfondie en incluant des aspects liés à la composition chimique, si l'on veut accéder à une meilleure évaluation de l'intérêt alimentaire et nutritionnel.

En ce qui concerne la composition, la littérature et l'expérience acquise sur le sujet indiquent les bornes de variation suivantes :

$$30 < \text{teneur en eau (\%)} < 90$$

$$10 < \text{teneur en huile (\%)} < 75$$

Ici aussi, 3 classes peuvent être proposées (tableau X)

Les fruits des arbres étudiés dans le district de Boko appartiennent à la catégorie II avec :

- 100% d'arbres ayant leurs fruits dont la teneur en eau est comprise entre 40 et 90%.
- 82,1% d'arbres ayant leurs fruits dont la teneur en huile est comprise entre 30 et 60%.

En conclusion, nous pouvons retenir que les fruits des arbres du district de Boko sont du calibre II et appartiennent à la catégorie II. Ce sont des fruits de calibre moyen et ayant une bonne teneur en huile ; ils nous paraissent bien adaptés à l'oléotechnie.

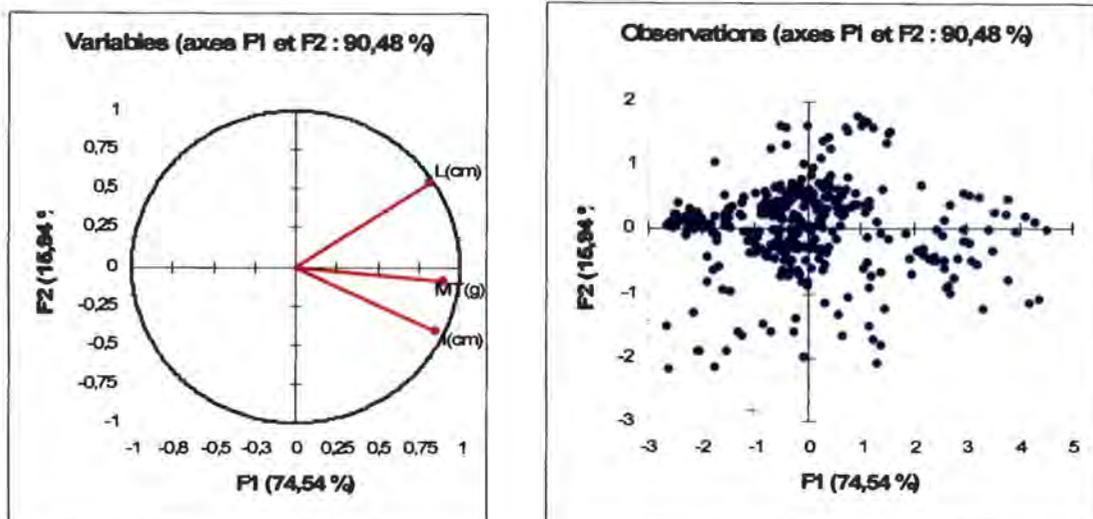
2. Apport des traitements statistiques à la caractérisation et la classification des fruits.

L'exigence de rigueur dans l'utilisation de la statistique soulève des questions préalables à toute discussion générale des résultats :

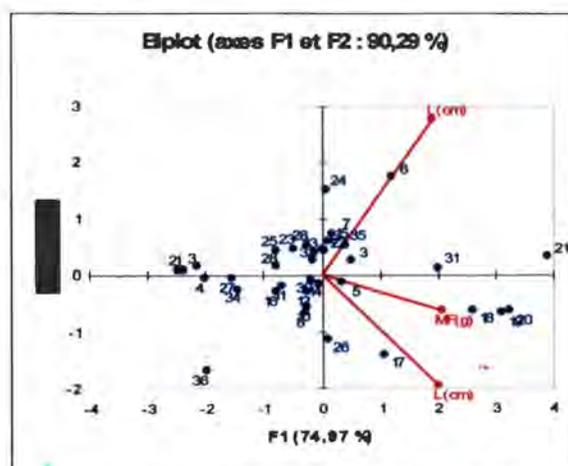
- Les conclusions sont-elles les mêmes selon que l'on travaille sur l'individu-fruit ou sur l'individu- arbre (moyenne de 10 fruits par arbre) ?
- Quelle est la quantité d'informations perdues lorsque l'on réduit l'étude aux deux variables morphologiques qui s'imposent intuitivement, à savoir la longueur et la largeur du fruit ?

2.1. Unités statistiques (individus).

Doit-on travailler à l'échelle du fruit (individu- fruit) ou de l'arbre (individu-arbre, moyenne des 10 fruits) ?



ACP, 360 fruits, 3 variables : longueur(L), largeur(l), masse du fruit (M_F).



ACP, 36 arbres, 3 variables : L, l, M_F .

Figure 4 : Structuration des variables et de répartition des individus en ACP pour 360 fruits issus de 36 arbres de Brazzaville.

Une étude sur les safous de Brazzaville, en cours au laboratoire (Silou *et al.*, 2006b), et réalisée en collaboration avec celle-ci montre que l'utilisation du fruit ou de la moyenne arbre conduit à la même description des individus et à la même structuration des variables, même si le regroupement des individus est plus compact avec les fruits qu'avec les arbres (figure 4).

On note un regroupement de la grande majorité des individus vers le centre du plan (Figure 4) et une agrégation de la quasi-totalité des individus dans une même classe (figure 5).

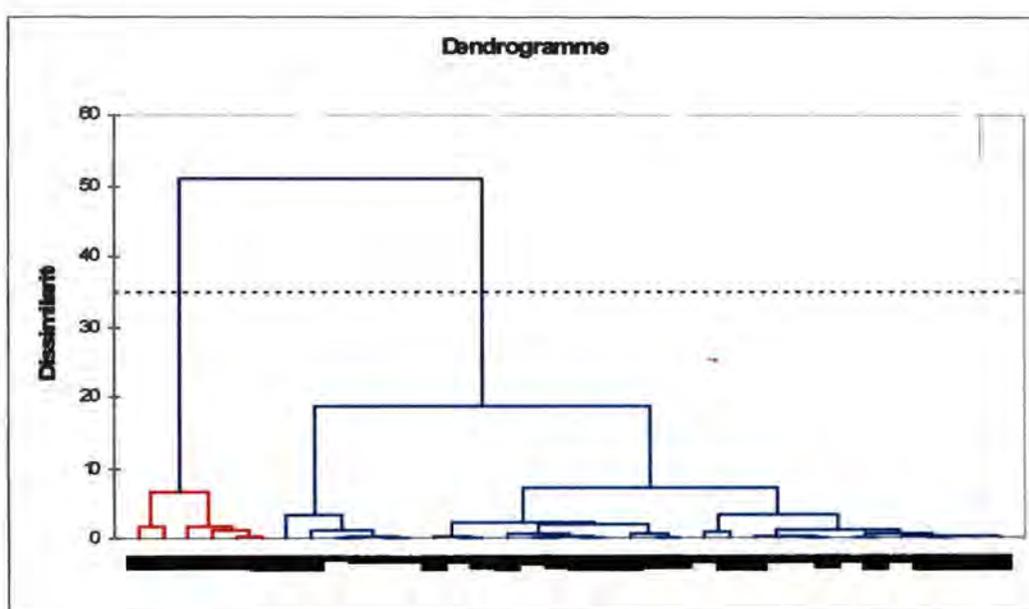


Figure 5 : Dendrogramme des fruits de 36 arbres de Brazzaville.

2.2 Variables morphologiques et physiques

La forme des fruits est appréhendée principalement par leurs dimensions, encore faudrait-il disposer des concepts pertinents pouvant aboutir à la description des formes géométriques relativement simples.

Il convient donc de définir un protocole rigoureux de prise de mesures morphologiques.

Depuis une décennie notre équipe a proposé de considérer la section longitudinale conduisant aux valeurs maximales des dimensions du fruit et de mesurer la longueur et la largeur du fruit projeté sur le plan de section (figure 3).

Une telle opération permet de visualiser les 2 formes limites de projection des fruits : un cercle plus ou moins parfait, pour les fruits quasi sphériques et une ellipse plus ou moins parfaite, pour les fruits ellipsoïdaux.

Une approche analogue a déjà été utilisée pour la description de la morphologie de la mangue, qui du fait de son aplatissement admet 2 « largeurs » en plus de sa longueur.

Avec $a > b > c$, les plus longues dimensions sur des axes orthogonaux, Jha *et al.* (2006) ont défini :

- un indice de calibre (size en anglais) correspondant à la moyenne géométrique des 3 dimensions maximales du fruit : $I_c = (abc)^{1/3}$;
- un indice de sphéricité : $I_{sp} = [(abc)^{1/3}] / a$

En adaptant ces définitions au safou qui a une section transversale quasi-circulaire, et qui a donc ses 2 largeurs identiques, on peut définir :

- un indice de calibre : $I_c = (L^2)^{1/3}$
- un indice de sphéricité modifié : $I_{sp} = l/L$, avec L, la longueur et l, la largeur.

En toute rigueur, si $L = 2l$, $I_{sp} = [(2l^3)^{1/3}] / L = [l (2)^{1/3}] / L$; en posant $(2)^{1/3}$ pas trop différent de l'unité, on retrouve l'expression modifiée de I_{sp} .

L'indice de sphéricité, telle que défini ici, présente un intérêt immédiat, parce qu'il peut être mis en relation avec les observations de terrain et les pratiques des acteurs de la filière.

En effet lorsque la longueur est sensiblement égale à la largeur ($L \sim l$), on a des safous quasi sphériques, et puisque la valeur courante de la largeur se situe autour de 3cm, on peut grossièrement y reconnaître une partie de petits fruits « parvicarpa » de Okafor ; ils ont un indice de sphéricité de l'ordre de 1.

Si la longueur est suffisamment supérieure à la largeur ($l = \bar{2}l$, par exemple) nous avons les gros safous « edulis » de Okafor (6 cm x 3 cm ou 8 cm x 4 cm, par exemple), ils ont un indice de sphéricité de l'ordre de 0,5.

Les études descriptives sur la morphologie du safou indiquent que c'est le fruit ayant l'indice de sphéricité de l'ordre de 0,5 qui est le plus couramment rencontré dans la sous région.

Par exemple, sur les 10 formes de fruits identifiées par Kengué (2002) au Cameroun, 9 sont de type ellipsoïdal.

A travers un travail de grande envergure mené au Nigéria, Ladipo *et al* (2002) ont identifié des fruits ayant un calibre moyen d'environ 6 cm x 3 cm. Ce sont bien des fruits d'indice de sphéricité de 0,5.

Les fruits de type ellipsoïdal sont les plus courants parmi les safous, issus des arbres plantés et écoulés dans la sous région (figure 6).

C'est donc sur ce type de fruits que devraient se concentrer les efforts de caractérisation ; c'est également sur ce type de fruit qu'il faudrait saisir la pertinence de la subdivision en petits, moyens et gros fruits utilisés, notamment dans les transactions commerciales.

Nous avons proposé, plus haut, une subdivision en 3 classes sur la base de la délimitation, par voie d'enquête et de mesures instrumentales, d'une classe médiane, constitués des safous « standards » (3-4 cm x 6-8 cm), les autres classes se situant en dessous et au dessus de cette classe .

Ce safou courant imposé par la loi du marché aura tendance à être le plus abondant dans la sous région.



Figure 6 : Safous courants des marchés d'Afrique centrale

2.3. Essai de caractérisation des safous du district de Boko

Pour caractériser les safous du district de Boko nous avons utilisé deux méthodes de traitement statistique de données :

- l'analyse en composantes principales (ACP), qui peut nous permettre de mettre en lumière les liens entre les descripteurs morphologiques et physiques, à travers les cercles de corrélation et la ressemblance ou non entre les individus (arbres), en examinant la répartition des ces derniers dans le plan principal, F1, F2.
- la classification ascendante hiérarchique (CAH), qui permet de dégager les regroupements les plus pertinents des fruits étudiés.

Nous avons également évalué l'incidence du nombre de variables retenues pour l'étude sur la qualité des résultats obtenus (tableau XII, figure 7).

Tableau XII : Structuration des variables et de répartition des individus en ACP pour les fruits de 68 arbres du district de Boko.

Variables	L, l, e, MF	L, l, MF	L, l
Critères de fiabilité			
% variabilité cumulée, F1+F2, (>80 %)	88,50	92,22	100,00
$\Sigma \cos^2$ variables, F1+F2, (~ 1)	0,80 – 0,97	0,85 – 0,98	0,99
Corrélation : variables / facteur F1 (~ 1)	0,74 – 0,90	0,78 – 0,93	0,85
Répartition des individus, plan F1,F2	1 regroupement au centre du plan	1 regroupement au centre du plan	1 regroupement au centre du plan

L'ACP construite sur les 4 variables morphologiques et physiques, indique, à travers le cercle de corrélation, un bon taux de restitution de l'information sur la variabilité totale sur le plan F1, F2 (88,50%).

Mieux la prise en compte des variables morphologiques au sens strict permet de retrouver les 100% de variation sur le plan F1, F2, et conduit à des conclusions totalement identiques aux précédentes.

On constate donc que l'introduction de la variable M_F ne modifie pas le comportement observé avec les grandeurs morphologiques : bonne restitution de l'information sur le plan principal, bonne corrélation entre variables avec les axes, bonne représentation des variables dans le plan F1, F2.

Les sommes des cosinus carrés des variables sur l'axe F1, la corrélation variable/facteur (F1) témoignent d'une bonne représentation des individus sur le plan F1, F2.

Cette représentation révèle un regroupement assez lâche des individus vers le centre du plan lorsqu'on considère les variables : longueur, largeur, l'épaisseur et masse du fruit (figure 7a). Ce regroupement devient de plus en plus net quand on passe progressivement à 3 variables (figure 7b) et 2 variables (figures 7c).

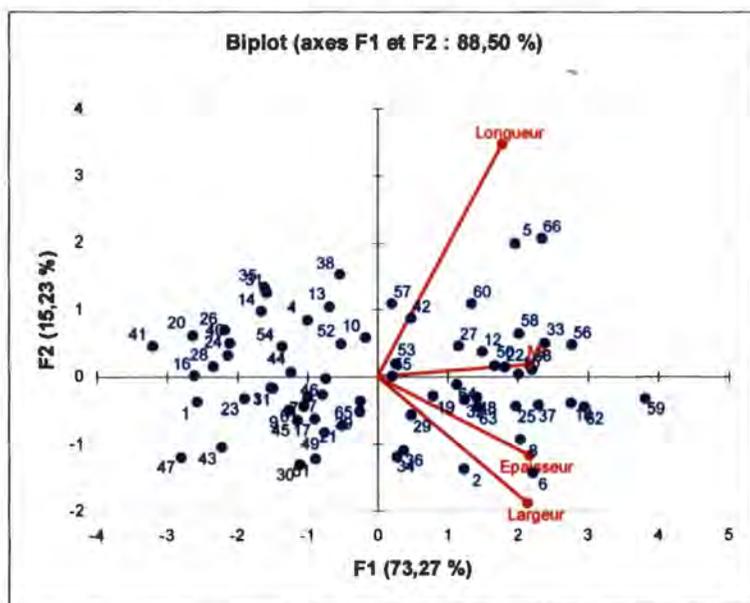


Figure 7a : Structuration des variables L, l, e, M_F et répartition des individus sur le plan principal F1, F2 des safous de 68 arbres du district de Boko.

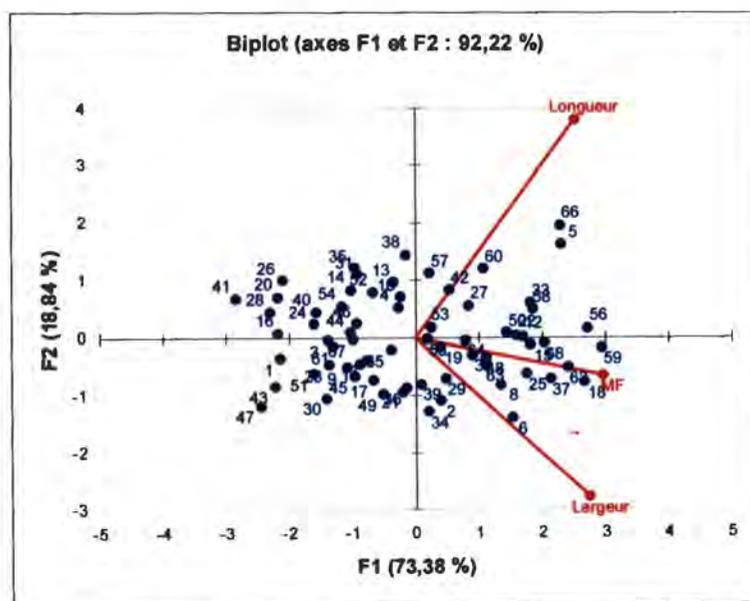


Figure 7b : Structuration des variables L, l, M_F et répartition des individus sur le plan principal F1, F2 des safous de 68 arbres du district de Boko.

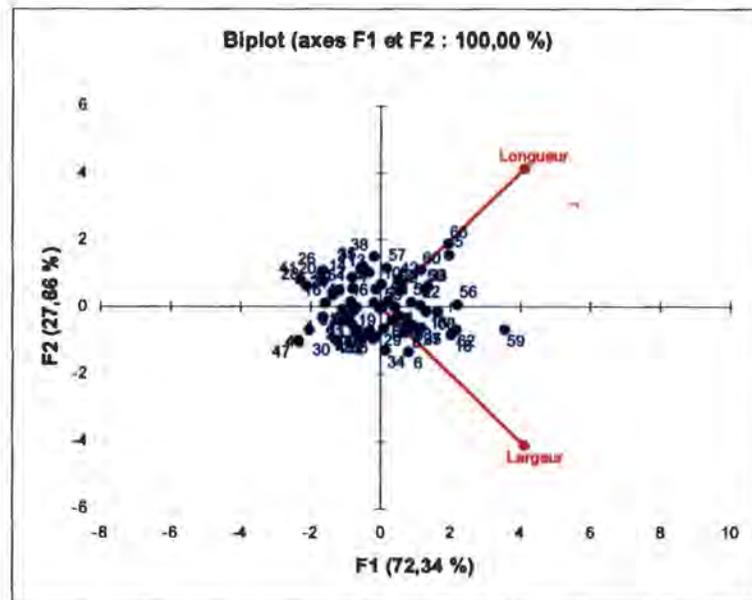


Figure 7c : Structuration des variables L, l et répartition des individus sur le plan principal F1,F2 des safous de 68 arbres du district de Boko.

La CAH conduit aux mêmes résultats quels que soient le nombre et la nature des variables pris en compte dans la caractérisation des individus.

On note l'existence de 2 sous classes très proches qui comprenant respectivement 2/3 et 1/3 d'arbres ; elles peuvent être regroupées en une seule qui représenterait la catégorie II, évoquée plus haut.

- Classe 1 : longueur, 5 – 7 cm ; largeur, 3 – 4 cm ; masse du fruit, 30 – 60 g
- Classe 2 : longueur 7- 8 cm, largeur 4 - 5 cm ; masse du fruit 30 - 35 g.

Ces classes sont très proches et si l'on fixe à 3 unités l'amplitude de variation de la longueur , à 2 celle de la largeur et 40 g celle de la masse, on peut définir une classe des fruits courants caractérisée par :

- 5 cm < longueur < 8 cm
- 3 cm < largeur < 5cm
- 30 g < masse < 70 g

Les classes 1 et 2 deviennent ainsi des sous classes du calibre II selon Silou *et al*(2002) ou de la « variété » edulis selon Okafor (1987).

Tableau XIII: Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des classes de safous du district de Boko

Classe	MF (g)	Longueur (cm)	Largeur (cm)
1 (46 arbres)	34,0	5,8	3,3
2 (22arbres)	55,6	7,0	3,9

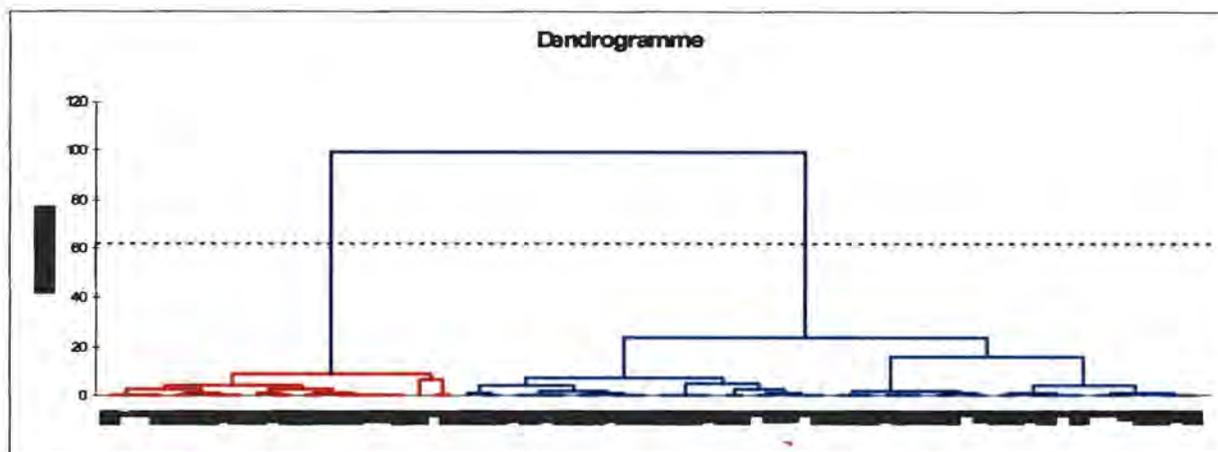


Figure 8 : Dendrogramme des safous de 68 arbres du district de Boko CAH, 3 variables : longueur, largeur, masse

2.4. Essai de généralisation de la méthode aux safous des 3 localités du Congo

En vue de positionner les safous de Boko par rapport aux autres safous du Congo étudiés au laboratoire, nous les avons comparés à ceux de Brazzaville (Silou *et al.*, 2006b) et du Kouilou (Silou *et al.*, 2006c).

Les figures 9 et 10, représentant les résultats de l'ACP, indiquent une très grande ressemblance pour la grande majorité des fruits étudiés.

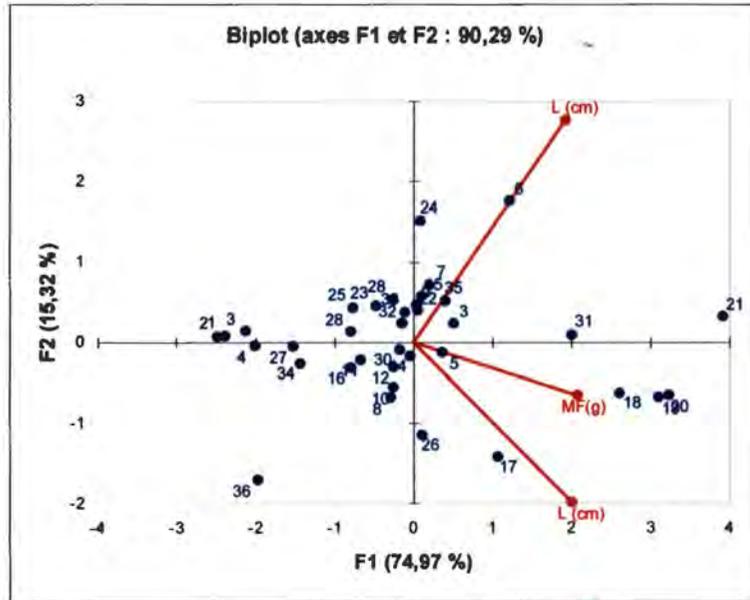


Figure 9 : Analyse en Composantes Principales (ACP)
Biplot des fruits de 36 arbres de Brazzaville ; variables : L, I, M_T

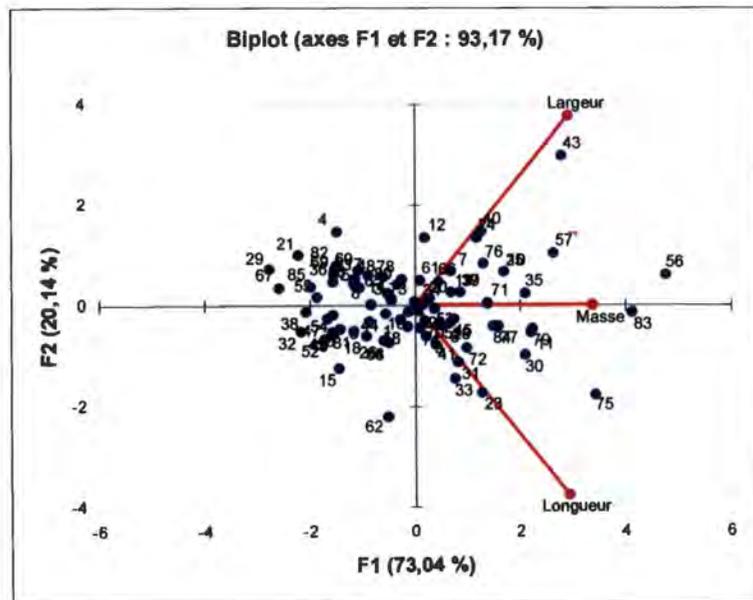


Figure 10 : Analyse en Composantes Principales (ACP)
Biplot des fruits de 85 arbres du Kouilou ; variables : L, I, M_T

Le tableau XIV, résumant les résultats de la CAH des arbres de Brazzaville et du Kouilou, conduit, comme pour les safous de Boko, à 2 sous classes incluses dans le calibre des fruits dits moyens (calibre II)

Tableau XIV: Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des classes de safous de Brazzaville et du Kouilou

Classe	M _F (g)	L (cm)	l (cm)
Safous de Brazzaville (36 arbres)			
1(30 arbres)	38,7	5,5	3,5
2(6 arbres)	64,7	6,9	4,1
Safous du Kouilou (85 arbres)			
1 (64 arbres)	37,5	6,0	3,5
2 (21 arbres)	60,2	6,8	4,4

2.4. Essai de généralisation de la méthode aux safous de 5 localités du golfe de Guinée.

L'exercice peut être étendu aux safous des différentes localités du golfe de Guinée en comparant les safous de Boko à ceux de Franceville (Silou *et al* 2006d) et de Kinshasa (Silou *et al* 2006e).

Le tableau XV donnent les résultats relatifs à la CAH pour des fruits de 227 arbres de Franceville (Gabon) et de 68 arbres de Kinshasa (RD Congo).

Tableau XV: Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des classes des safous de Franceville et de Kinshasa

Classe	Longueur	Largeur	Masse fruit
Safous de Franceville (227 arbres)			
1(119 arbres)	6,4	3,5	43,2
2(87 arbres)	5,2	3,0	26,7
3 (21 arbres)	7,5	4,2	71,9
Safou de Kinshasa (68 arbres)			
1 (57 arbres)	5,8	2,9	38,0
2 (11 arbres)	7,8	3,7	71,1

Les figures 11 et 12 d'une part et 13 d'autre part donnent respectivement les résultats de l'ACP des fruits des arbres de Franceville (Gabon) et de Kinshasa (RD Congo).

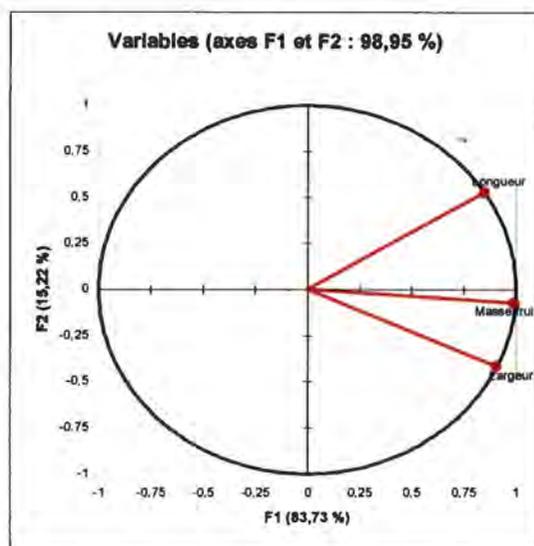


Figure 11 : Analyse en Composantes Principales (ACP) des fruits de 227 arbres de Franceville (Gabon) ; variables : L,I,M_T.

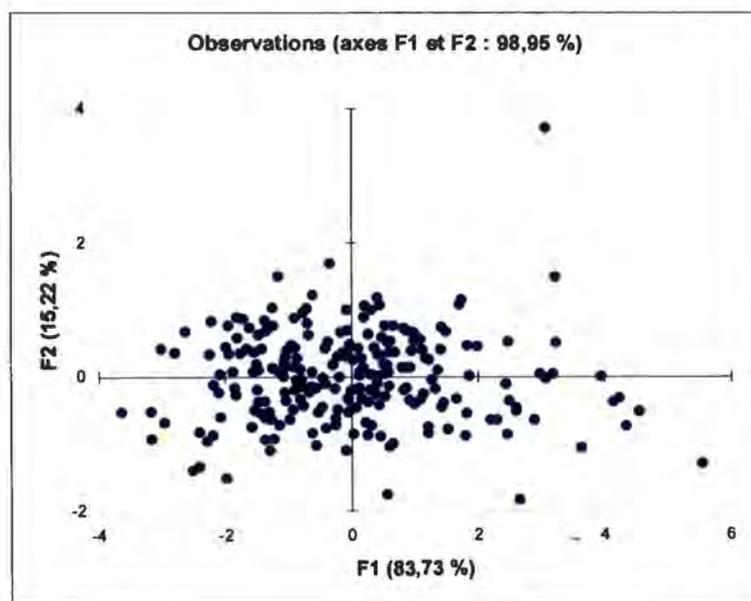


Figure 12 : Analyse en Composantes Principales (ACP) des fruits de 227 arbres de Franceville (Gabon) ; variables : L,I,M_T.

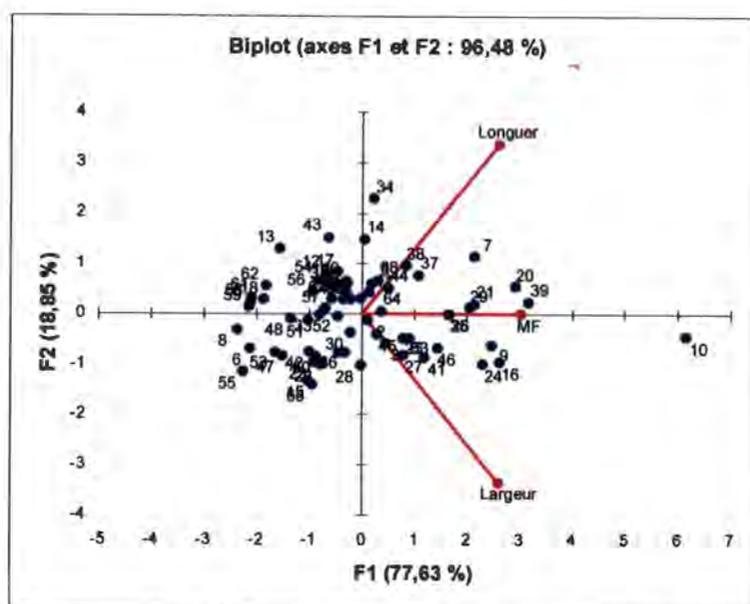


Figure 13 : Analyse en Composantes Principales (ACP)
Biplot des fruits de 68 arbres de Kinshasa (RD Congo) ; variables : L,l,M_F.

Nous avons dans une dernière opération regroupé et traité les données des fruits de 484 arbres de 5 localités pour essayer de cerner la tendance au niveau de la sous région (tableau XVI et XVII et figures 14 et 15)

Tableau :XVI Statistiques descriptives des variables relatives
aux fruits de 484 arbres du Golfe de Guinée.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Longueur (cm)	3,3	11,1	6,1	1,1
Largeur (cm)	2,0	6,3	3,4	0,5
M _F (g)	12,9	119,0	41,3	14,5

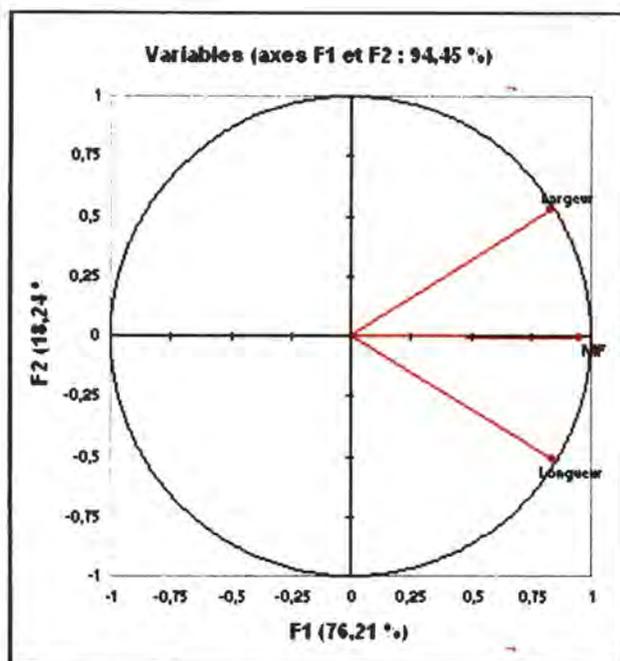


Figure 14 : Cercle de corrélation des variables sur le pan principal F1,F2 des safous du golfe de Guinée ; variables : longueur , largeur, masse.

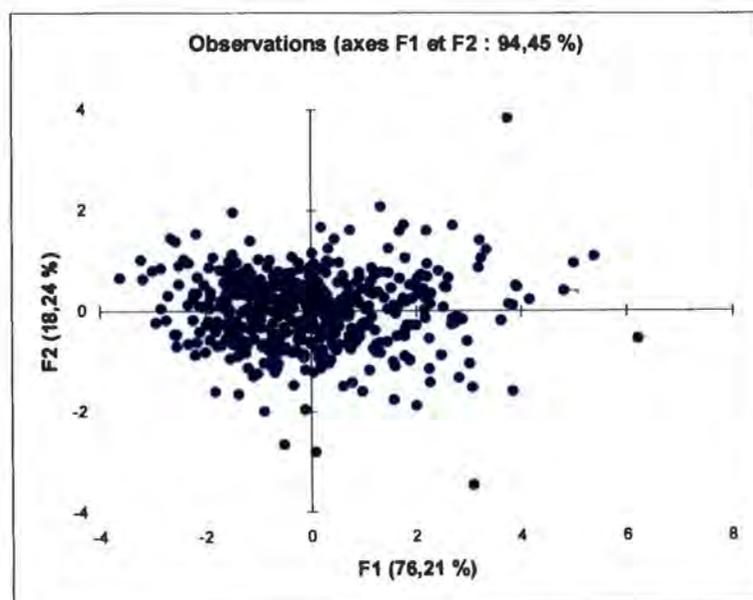


Figure15 : Répartition, sur le pan principal F1,F2 des fruits de 484 arbres du golfe de Guinée (variables : longueur , largeur, masse)

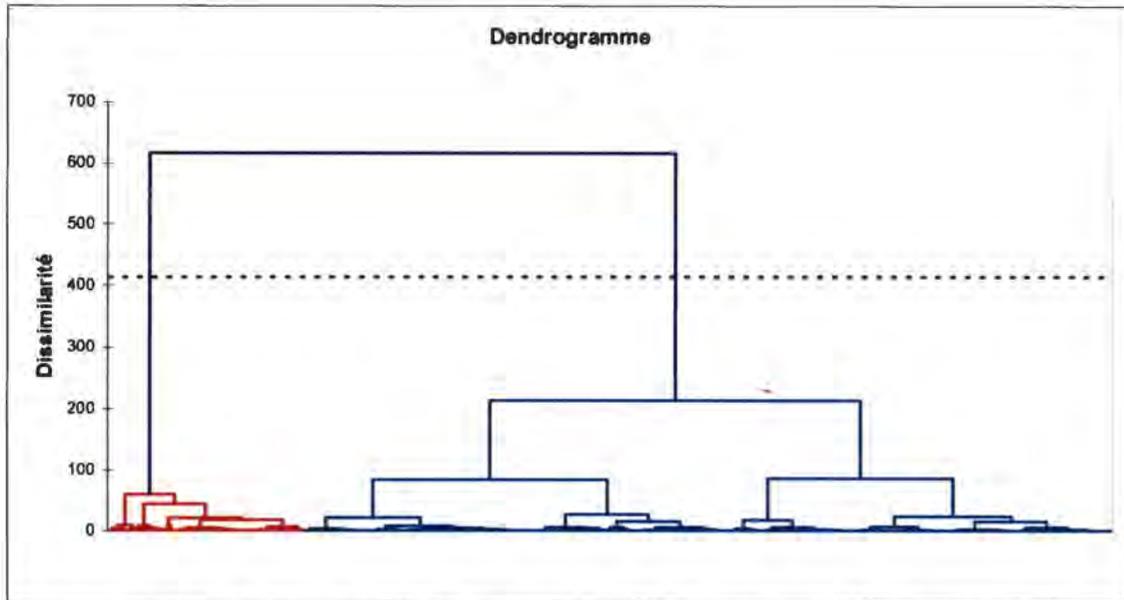


Figure 16: Dendrogramme des safous de 5 localités du golfe de Guinée CAH, 3 variables : longueur, largeur, masse.

Tableau XVII : Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des classes

Classe	Longueur (cm)	Largeur (cm)	MF (g)
1(390 arbres)	5,7	3,3	35,9
2 (94 arbres)	7,0	4,4	63,0

Sur la base des résultats de l'analyse statistique, on peut regrouper dans une figure synthèse (figure 17) les essais de classification des fruits courants de la sous région d'Afrique centrale (Silou *et al.*, 2000 ; Okafor, 1987).

Calibre I (Silou <i>et al.</i> 2000) Longueur < 5 cm	Calibre II (Silou <i>et al.</i> 2000) 5cm < longueur < 8 cm	Calibre III (Silou <i>et al.</i> 2000) Longueur > 8cm
« variété parvicarpa » (Okafor, 1987) Longueur < 5 cm	« variété edulis» (Okafor) Longueur > 5 cm	
 $I_{sp} = 0,5$	 $I_{sp} = 0,5$	 $I_{sp} = 0,5$
 $I_{sp} = 1$		

Figure 17 : Essai de classification des fruits courants dans la sous région d'Afrique centrale.

V. CONCLUSION

Nous avons mis au point, au cours de ce travail, une méthodologie d'évaluation de la taille et de la production des vergers en milieu rural, basée sur les chiffres du recensement général de la population et utilisant un échantillonnage à 2 degrés : le premier degré étant constitué par l'ensemble de villages du district de Boko et le second, par l'ensemble de ménage dans un village. L'enquête réalisée sur 30% de village, soit 63 villages, à raison de 6% de ménages par village, soit au total 188 ménages a conduit, par extrapolation, à l'ensemble du district, à une production évaluée , en moyenne à un millier de tonnes, en année de faible production et 4 fois plus, en année de forte production.

Le fruit produit est en grande majorité de type allongé (ellipsoïdal), avec un calibre moyen de l'ordre de 6 cm x 3 cm.

Ce fruit s'inscrit bien dans le profil du fruit couramment rencontré sur les marchés de l'Afrique Centrale ; ce qui nous conduit à proposer la délimitation d'une classe des fruits courants au Congo et dans la sous région caractérisée par :

$$5 < \text{longueur (cm)} < 8$$

$$3 < \text{largeur (cm)} < 5$$

$$30 < \text{masse (g)} < 70.$$

La grande majorité des fruits issus des arbres plantés dans le district de Boko forment donc un groupe relativement homogène sur le plan morphologique.

Ce travail confirme et reprecise la classification antérieurement suggérée par Silou *et al.*,(2002).

CHAPITRE II

VARIABILITE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LA PULPE ET DES HUILES DE SAFOUS DU DISTRICT DE BOKO

I. INTRODUCTION

Les variations intra arbres des grandeurs morphologiques et des caractéristiques physicochimiques issues de l'étude détaillée de 7 arbres permet de conclure à une calibration naturelle des fruits d'un même arbre.

Les variations inter arbres des grandeurs morphologiques des fruits d'un même village d'abord, étendu à une zone écologique plus grande ensuite (ici le district) sont en faveur d'une calibration naturelle des fruits d'une même zone écologique.

Nous allons maintenant examiner dans ce chapitre la variation inter arbres de la composition chimique des fruits en général et celle d'huile extraite de la pulpe de ces fruits en particulier.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

1.1. Etude de la composition globale du fruit

Des safous, à raison de 10 fruits par arbre, cueillis en tenant compte de l'orientation géographique et de leur distance au sol ont été récoltés sur 20 arbres localisés dans les villages du district de Boko ; ils sont numérotés de 1 à 20 sur le tableau XVIII.

1.2. Etude de la composition des huiles extraites de la pulpe .

Des safous, à raison de 10 fruits par arbre, cueillis en tenant compte de leur orientation géographique et de leur distance au sol ont été récoltés sur 50 arbres localisés dans les villages du district de Boko (figure 1) ; ils sont numérotés de 1 à 50 sur le tableau XVIII.

2.. Analyse de la composition globale du fruit.

2.1. Détermination des teneurs en eau et en huile.

Les teneurs en eau et en huile ont été déterminées comme indiqué au chapitre I.

2.2. Détermination de la teneur en protéines

Les protéines contenues dans la pulpe ont été évaluées par la méthode Kjeldahl (AFNOR, 1981). Cette méthode consiste à déterminer l'azote ammoniacal après minéralisation de l'échantillon. L'azote total est converti en protéines brutes en multipliant la teneur en azote par 6,25.

Tableau XVIII : Liste d'arbres étudiés identifiés par leurs villages d'origine dans le district de Boko.

1. Bondo	18. Boko(village)	35. Dzouba 2
2. Moulenda III*	19. Nziéto	36. Zouloukabi 4
3. Ngamibakou V	20. Kimbélé 1	37. Kinsele 2
4. Ngamibakou VI	21. Tadi 2	38. Mandombe
5. Ngamibakou VIII	22. Kimbele 2	39. Kinzaba
6. Kiazi VI	23. Moulenda	40. Mpika 2
7. Loufoulakari III	24. Mbanza - Sanda	41. Loufoulakari XI
8. Loufoulakari X	25. Nziéto 2	42. Ntombo 1
9. Loufoulakari XII	26. Loufoulakari VIII	43. Kenguele
10. Loufoulakari XIII	27. Mbanza - Nkaka	44. Lemba
11. Kinsélé I*	28. Bondo 3	45. Nsaka – Mbilou
12. Ngoliba I	29. Maboukou	46. Loufoulakari IV
13. Samba dia Mbouala I	30. Vouloukikaye	47. Voungouta 2
14. Tadi I	31. Loufoulakari V	48. Ngoliba 2
15. Nzouba I	32. Taba 2	49. Loufoulakari XIV
16. Voungouta I	33. Mankoussou	50. Boko (Village) 2

* Les chiffres romains et arabes discriminent les arbres d'un même village.

2.3. Détermination de la teneur en cendres

Les cendres représentent le résidu obtenu après incinération de la pulpe dans un four à moufle à 550°C (AFNOR, 1981). On pèse une masse m_1 de pulpe. Après refroidissement complet dans un dessiccateur, les cendres sont pesées. On obtient une masse m_2 . La teneur en cendres s'exprime de la manière suivante :

$$\% \text{ Cendres} = 100 \times (m_2 / m_1).$$

3. Détermination de la composition en acides gras

Le travail s'étant étalé sur une période relativement longue (10 ans), nous avons travaillé avec différents équipements analytiques ; ainsi nous avons utilisé 2 dispositifs pour l'analyse des acides gras des huiles étudiées.

3.1. Dispositif 1.

Après transestérification au bain marie à 90°C pendant 10 min. avec du trifluorure de bore dans du méthanol, les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) obtenus ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse sur une colonne BPX 70 de 25 m de long et 0,22 mm de

diamètre intérieur. Les températures de l'injecteur et du détecteur ont été maintenues à 230°C tandis que celle du four a été programmée de 190 à 220°C à raison de 5°C/min.

3.2. Dispositif 2.

Les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont obtenus par transestérification baso – catalysée. 50 mg d'huile brute sont dissous dans 1ml de méthyltertiobutyléther. On ajoute 0,5ml d'une solution méthanolique de méthylate de sodium 0,2N et on agite pendant 1 minute. Après avoir laissé reposer 2 minutes, on ajoute 0,1ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) 1N pour arrêter la réaction. On agite à nouveau quelques secondes. Les composés minéraux sont dissous dans la phase aqueuse et après décantation, la phase organique contenant les esters méthyliques, prélevée, est séchée durant 20 min. sur tamis moléculaire, on récupère le produit (3 fois, 1ml de solvant) dans un pilulier rodé et taré et on évapore le solvant sous azote.

Les EMAG sont solubilisés dans l'hexane anhydre de qualité analytique à raison de 0,5mg/l et 2,5 µl de cette solution sont injectés. Les conditions d'analyse sont les suivantes :

- colonne capillaire BPX 70 (longueur 2,5 ; diamètre interne 0,32 mm et épaisseur du film 0,25µm) ;
- programmation de température de 50 à 190°C à raison à raison de 7,5°/min ;
- température injecteur 250° C et détecteur 275°C ;
- l'hydrogène (gaz vecteur) : 0,75 bar ;
- l'hélium à 1 bar.

5. Traitements statistiques

Les calculs statistiques et les graphes ont été réalisés sur XLSTAT selon la procédure décrite au chapitre précédent.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Etude de la composition chimique globale des fruits de 20 arbres du district de Boko

1.1. Variation inter arbres de la composition globale du fruit

Nous avons analysé des pulpes séchées venant des fruits de 20 arbres et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau XIX.

Il ressort les valeurs suivantes pour :

- la matière sèche : 96,7 ±1,3 g/100g
- les protéines : 8,6 ±1,9 g/100g

- les lipides (huile) $61,0 \pm 6,5$ g/100g
- les éléments minéraux (cendres) $3,5 \pm 0,9$ g/100g.

Même si les amplitudes de variation sont parfois importantes (Min - Max), les faibles valeurs des écarts-types indique généralement une composition très proche des échantillons.

Comparés aux safous venant d'autres pays d'Afrique Centrale (Tableau XX), on constate que les safous de Boko qui s'inscrivent bien dans la moyenne du Congo en teneur en protéines ($9,7 \pm 1,8\%$), sont un peu moins riches que les safous du Cameroun (région de Douala) et du Gabon (région de Franceville) et beaucoup moins riches que ceux du Congo-Kinshasa (région de Bandundu, $13,8 \pm 1,2\%$).

Par contre, la teneur en huile est plus élevée que pour les safous du Cameroun ($58,5 \pm 2,1\%$) du Congo-Kinshasa ($58,6 \pm 7,9\%$) du Gabon ($50,8 \pm 10,5\%$).

La teneur en éléments minéraux est du même ordre de grandeur puisqu'elle varie dans ces pays de 2,8 à 3,7%.

Tableau XIX : Composition globale des safous du District de Boko (Congo-Brazzaville).

N°Echantillon	Teneur en protéine N x 6,25 (%)	Teneur en huile(%)	Teneur en Cendre (%)
1	6,06	62,20	3,261
2	6,33	65,44	3,428
3	7,41	61,06	3,246
4	6,46	57,20	5,063
5	6,92	70,67	4,967
6	8,15	63,01	3,189
7	9,45	59,02	4,077
8	7,21	66,78	3,025
9	7,03	68,48	4,813
10	10,27	58,85	3,540
11	8,50	64,42	2,657
12	9,54	58,13	3,942
13	10,84	57,28	3,225
14	10,11	57,65	2,775
15	13,33	39,43	4,495
16	10,59	59,26	3,497
17	6,50	61,05	4,450
18	9,06	59,81	3,118
19	10,58	59,04	1,917
20	8,39	70,55	1,886
Moyenne	8,6	61,0	3,5
Ecart type	1,9	6,7	0,9

Tableau XX : Composition globale des safous du Cameroun, du Congo-Brazzaville, du Congo-Kinshasa et du Gabon (Silou *et al.*, 2002)

Origine	Teneur en protéine N x 6,25 (%)	Teneur en huile (%)	Cendre 530°C (%)
Cameroun (Douala)	10,1 (1,2)	58,5 (2,1)	2,8 (0,3)
Congo-Brazzaville (Boko)	9,7 (1,8)	58,6 (7,9)	3,2 (0,9)
Congo-Kinshasa (Bandundu)	13,8 (1,2)	50,8 (10,5)	3,2 (0,4)
Gabon (Franceville)	10,5 (5,4)	49,9 (5,4)	3,7 (0,6)

1.2. Variation inter arbres de la composition minérale

Le tableau XXI donne la composition minérale de la pulpe de safous du District de Boko.

Tableau XXI: Composition minérale (en mg pour 100g) de la pulpe de safous du district de Boko (Congo Brazzaville)

Arbres	P	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn	Mn
1	124,20	175,80	122,60	1,50	1039,00	9,76	1,28	1,09	2,00
2	123,10	72,80	111,30	10,30	934,00	2,12	1,74	1,08	0,46
3	169,00	110,00	123,60	1,60	1421,00	6,73	0,98	0,99	0,63
4	137,40	118,10	142,10	1,30	1148,00	2,52	0,92	1,30	0,69
5	169,20	177,00	131,90	1,30	1715,00	5,25	1,07	0,98	0,74
6	152,30	115,10	117,10	1,30	1224,00	3,54	1,19	1,13	0,57
7	185,50	138,90	124,80	0,60	1260,00	3,45	1,58	1,29	0,80
8	256,10	173,50	124,70	1,20	1794,00	4,49	1,65	0,99	0,73
9	219,40	106,30	124,20	1,20	1302,00	15,40	1,78	1,37	0,65
10	143,90	160,90	143,80	1,10	1156,00	5,51	1,48	1,00	0,79
11	159,30	107,50	107,20	0,70	1027,70	1,80	2,19	1,35	0,63
12	200,20	261,80	168,50	1,10	1430,00	2,61	1,69	1,77	0,65
13	241,30	115,30	127,40	1,50	1252,70	2,56	2,57	1,74	0,78
14	149,20	111,40	95,60	1,30	1194,50	2,12	1,33	1,62	0,78
15	187,40	237,40	183,40	1,10	1753,00	3,13	1,12	2,03	0,83
16	203,70	108,10	142,00	2,30	1349,10	2,18	2,16	1,63	0,67
17	260,60	144,30	135,20	9,60	1805,40	1,93	1,84	1,30	0,51
18	161,00	149,40	155,50	0,70	1202,50	2,10	1,20	1,34	0,77
19	109,90	54,40	121,50	0,90	779,40	2,12	0,90	1,26	1,81
20	77,60	87,40	83,00	0,80	772,60	2,07	0,94	1,22	0,40
Moyenne	171,52	136,27	129,27	2,07	1278,00	4,07	1,48	1,32	0,79
Ecart type	47,34	49,80	22,56	2,65	300,05	3,26	0,46	0,29	0,39

De manière générale, il y a une grande variabilité sur la teneur en élément d'un échantillon à un autre, ce qui se traduit par des valeurs élevées des écarts-types : c'est le cas pour le sodium où la valeur de l'écart-type est supérieure à la valeur de la moyenne (tableau XXI).

Lorsque l'on reprend les calculs sans les 2 valeurs les plus éloignées des autres 10,30 et 9,60, on trouve une valeur moins surprenante statistiquement $1,2 \pm 0,4$ g.

Nous retrouvons, ici pour le sodium, une situation que nous avons déjà rencontrée dans l'étude de la composition minérale de Cucurbitacées (Silou *et al.*, 1999).

La faible teneur en sodium dans le safou place cet élément dans la fourchette de variation des oligo éléments (1 à 2) comme le cuivre, le zinc, le manganèse etc... alors qu'il est généralement classé macro élément tel que le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium. Cette question mériterait d'être approfondie, par la suite.

On retrouve dans l'ensemble le même sens de variation des teneurs en éléments minéraux que celui mis en évidence lors de l'étude de safous de 4 pays d'Afrique Centrale (Tableau XXII) à savoir :

pour les macro-éléments : $K > P > Ca > Mg > Na$ (figure 18)

pour les micro-éléments $Fe > Na > Cu > Zn > Mn$. (figure 19)

Tableau XXII : Composition minérale (en mg pour 100g) de la pulpe de safous du Cameroun, du Congo-Brazzaville, du Congo-Kinshasa et du Gabon (Silou *et al.*, 2002)

Origine	P	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Cameroun	116,0 (18,1)*	135,5 (40,0)	128,5 (11,8)	2,4 (1,5)	849,9 (187,1)	2,9 (0,6)	1,1 (0,2)	1,1 (0,1)	0,9 (0,3)
Congo Brazza	175,0 (55,9)	137,7 (65,0)	131,9 (31,8)	2,1 (2,7)	1256,8 (350,8)	2,3 (0,4)	1,5 (0,3)	1,4 (0,3)	0,8 (0,4)
Congo Kinshasa	145,0 (34,2)	178,6 (60,5)	150,3 (19,2)	1,5 (0,9)	1158,8 (111,5)	2,7 (0,5)	1,4 (0,5)	1,5 (0,5)	1,3 (0,5)
Gabon	166,4 (26,0)	209,9 (52,9)	146,3 (20,7)	5,2 (2,2)	1096,0 (422,6)	10,1 (6,4)	1,7 (0,4)	1,5 (0,3)	0,6 (0,5)

*() écart type.

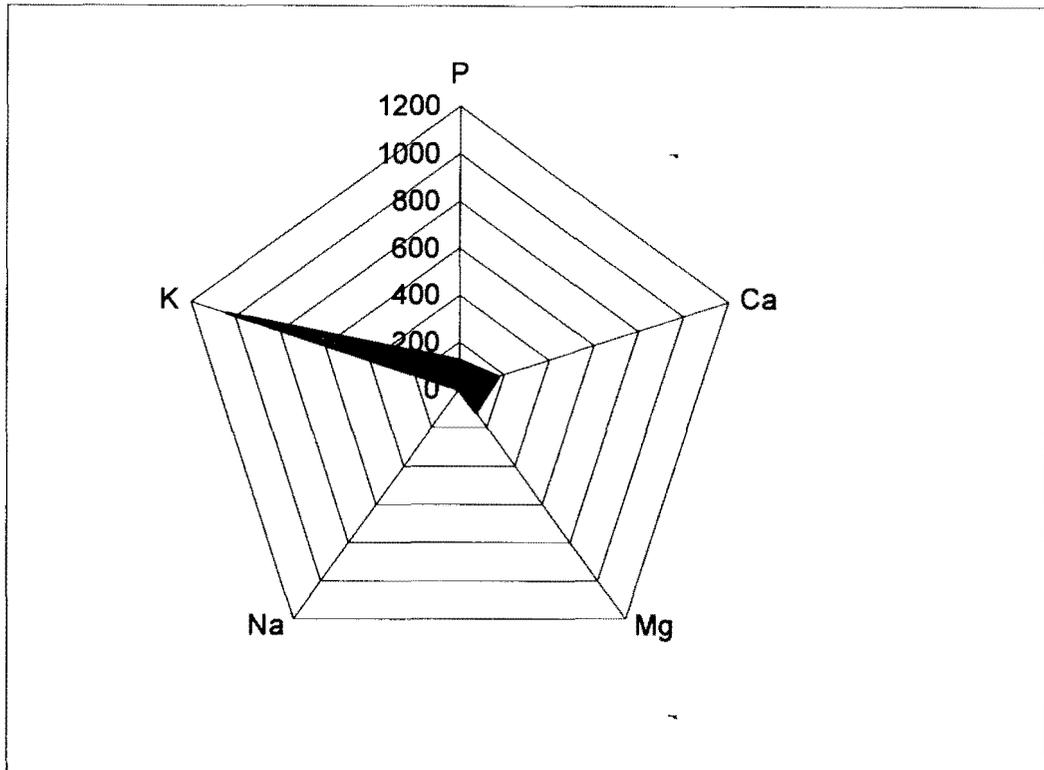


Figure 18: Profil des macro-éléments dans le safou

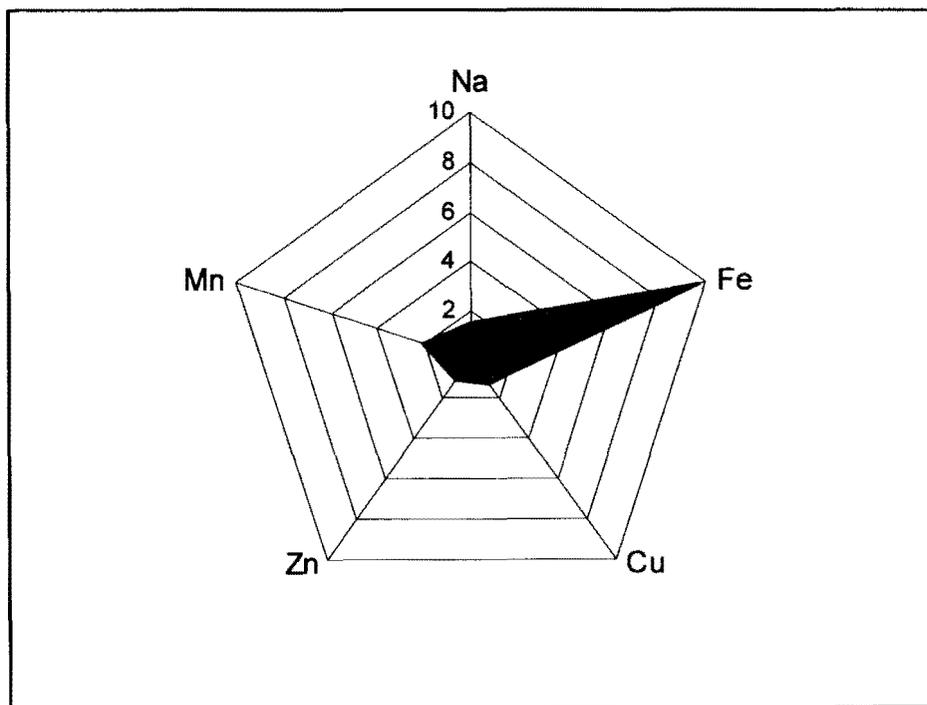


Figure 19: Profil des oligo-éléments (+ Na) de la pulpe de safou

2. 3. Variation inter arbres de la composition en acides gras

Tableau XXIII : Composition en acides gras des huiles de la pulpe de safous du district de Boko (Congo-Brazzaville)

Arbres	C16 :0	C18 :0	C18 :1 n-9	C18 :2 n-6	C18 :3 n-3	(C18 :2/ C18 :3)	P/S
1	54,08	1,67	23,34	20,40	0,30	68,00	0,37
2	49,9	1,81	22,72	23,45	0,52	45,10	0,48
3	43,75	2,27	24,87	26,75	1,30	20,58	0,60
4	49,71	1,8	29,00	17,32	1,15	15,06	0,36
5	49,42	1,78	25,70	20,73	0,86	24,1	0,42
6	51,63	1,22	23,63	21,81	1,01	21,59	0,43
7	52,68	1,38	28,68	16,43	0,52	31,6	0,31
8	51,42	1,87	29,81	14,65	0,71	20,63	0,28
9	42,96	3,16	37,55	15,01	0,41	36,61	0,33
10	46,36	1,26	33,48	18,40	0,50	36,80	0,38
11	38,04	4,02	32,68	24,06	0,72	34,81	0,59
12	44,72	1,68	26,56	25,23	0,72	34,24	0,56
13	44,41	1,53	36,55	15,93	0,65	25,15	0,36
14	44,57	1,48	36,92	16,1	0,67	25,15	0,36
15	43,68	1,1	29,28	24,22	1,22	20,51	0,57
16	37,59	4,97	34,92	21,49	0,70	32,02	0,52
17	38,34	1,46	46,40	13,05	0,42	34,37	0,34
18	39,03	2,67	28,79	28,35	1,05	28,05	0,71
19	39,46	1,82	33,89	24,02	0,67	37,52	0,60
20	44,77	1,53	30,19	22,64	0,71	34,26	0,50
Moyenne	47,9	2,3	28,4	19,9	2,4		
Ecart type	5,3	0,9	5,5	4,3	12,2		

Les résultats de la composition de l'huile issus de l'étude des 20 arbres du District de Boko indiquent les teneurs suivantes pour les différents acides gras constitutifs de cette huile :

$$C16 : 0 = 47,9 \pm 5,3 ; C18 : 1 = 28,4 \pm 5,5 ; C18 : 2 = 19,9 \pm 4,3 .$$

Ces valeurs concordent avec celles obtenues sur les safous d'Afrique centrale (Tableau XXIV).

Tableau XXIV : Composition en acides gras des huiles extraites des safous du Cameroun, du Congo-Brazzaville, du Congo-Kinshasa et du Gabon (Silou *et al.*, 2002)

Origine	Nbre éch. étudiés (n)	C16 :0	C18 :0	C18 :1 n-9	C18 :2 n-6	C18 :3 n-3	(C18 :2/ C18 :3)	P/S
Cameroun	6	43,5 (4,1)*	2,6 (0,8)	26,5 (1,8)	25,8 (2,9)	0,3 (0,4)	21	0,60
Congo Brazza	10	41,5 (3,2)	2,2 (1,3)	33,6 (5,7)	21,5 (4,9)	0,8 (0,2)	30	0,51
Congo Kinshasa	7	44,8 (1,4)	2,1 (0,7)	27,7 (3,8)	23,9 (2,9)	1,2 (0,6)	15	0,62
Gabon	10	47,4 (1,7)	1,8 (0,3)	20,1 (4,5)	28,5 (3,8)	1,9 (0,6)	22	0,54

*() écart type.

3. Essai de généralisation à 50 arbres .

Tableau XXV: Teneurs en eau, en huile et composition en AG des huiles des fruits de 50 arbres de semis du District de Boko.

Arbres	% eau	% huile	C16 :0	C18 :0	C18 :1 n-9	C18 :2 n-6	C18 :3 n-3	Arbres	% eau	% huile	C16 :0	C18 :0	C18 :1 n-9	C18 :2 n-6	C18 :3 n-3
1	65,5	62,20	54,08	1,67	23,34	20,4	0,30	26	54,0	56,9	48,17	3,07	28,42	18,94	0,89
2	98,1	65,4	49,9	1,81	22,72	23,45	0,52	27	ND	49,5	44,95	2,10	29,68	12,82	0,56
3	59,1	61,06	43,75	2,27	24,87	26,75	1,30	28	59,5	66,0	51,62	3,38	21,23	21,41	0,52
4	66,3	57,20	49,71	1,8	29	17,32	1,15	29	ND	55,6	55,60	2,00	24,82	16,08	0,55
5	56,1	70,7	49,42	1,78	25,7	20,73	86	30	65,0	50,9	49,65	3,14	25,7	24,98	0,75
6	53,8	63,0	51,63	1,22	23,63	21,81	1,01	31	63,5	53,3	49,10	2,70	29,5	17,6	0,5
7	50,9	59,0	52,68	1,38	28,68	16,43	0,52	32	69,6	56,0	50,11	1,37	21,9	21,9	0,62
8	58,0	66,8	51,42	1,87	29,81	14,65	0,71	33	52,1	50,8	52,27	2,801	22,06	21,72	0,44
9	58,6	68,5	42,96	3,16	37,55	15,01	0,41	34	72,3	66,0	51,48	4,23	30,11	13,21	0,41
10	ND	58,9	46,36	1,26	33,48	18,4	0,50	35	70,8	44,6	51,63	3,05	22,93	20,17	0,74
11	65,8	64,4	38,04	4,02	32,68	24,06	0,72	36	66,7	53,3	54,46	2,11	22,49	19,91	0,56
12	71,2	58,1	44,72	1,68	26,56	25,23	0,72	37	69,3	50,0	45,01	3,14	25,7	24,98	0,75
13	69,3	57,3	44,41	1,53	36,55	15,93	0,65	38	67,8	61,5	42,53	2,39	34,38	19,56	0,79
14	73,2	57,7	44,57	1,48	36,92	16,1	0,67	39	70,0	56,3	ND	ND	ND	ND	ND
15	79,2	39,4	43,68	1,1	29,28	24,22	1,22	40	61,3	57,5	42,36	1,34	37,93	15,69	0,59
16	64,2	59,3	37,59	4,97	34,92	21,49	0,70	41	69,8	62,8	56,80	3,54	26,83	12,03	0,37
17	69,0	61,0	38,34	1,46	46,4	13,05	0,42	42	62,4	57,0	60,96	1,51	21,19	14,48	0,79
18	68,1	59,8	39,03	2,67	28,79	28,35	1,05	43	72,1	65,9	50,89	1,89	26,14	19,53	-
19	68,5	59,0	39,46	1,82	33,89	24,02	0,67	44	72,0	40,72	55,10	2,22	23,4	17,37	1,04
20	62,6	70,6	44,77	1,53	30,19	22,64	0,71	45	68,6	54,2	49,49	2,60	21,08	24,64	0,99
21	61,8	50,0	42,25	3,24	29,79	23,54	0,74	46	ND	46,3	51,59	2,95	19,93	23,35	1,40
22	53,9	53,9	41,20	3,42	30,99	22,94	0,54	47	54,7	59,9	50,86	2,88	22,19	22,40	0,42
23	50,0	49,2	46,01	3,09	31,87	18,37	0,58	48	58,8	59,2	49,19	2,11	28,51	22,85	0,66
24	42,2	52,15	44,25	2,08	24,47	26,78	0,82	49	58,2	61,6	51,40	2,00	33,55	12,23	0,43
25	67,4	55,4	51,31	1,75	30,04	15,75	0,56	50	58,2	61,6	50,9	2,15	27,76	18,37	0,46

Nous avons étendu à 50 arbres, l'étude de la teneur en huile et de la composition en acides gras des huiles extraites de la pulpe de safou en vue d'une généralisation.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau XXV et illustrés par la figure 2 ; ils confirment, en la généralisant, la grande similitude des huiles extraites de la pulpe de safous du district de Boko.

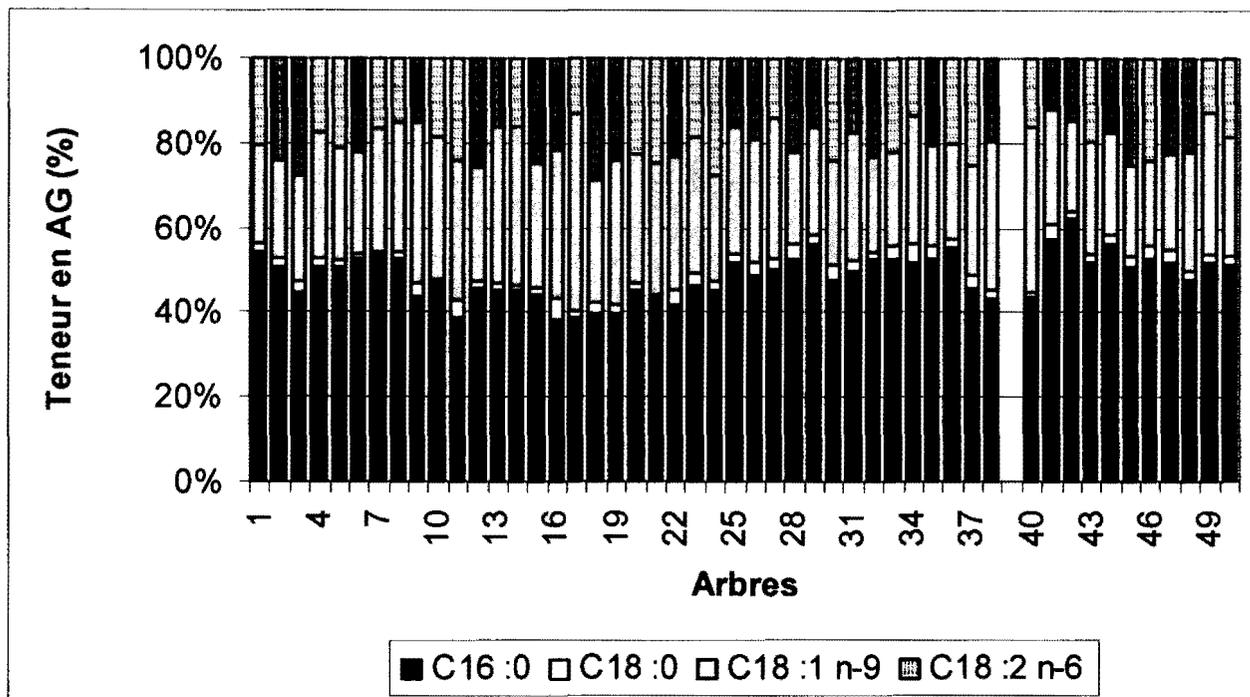


Figure 20 : Profil des AG des huiles de la pulpe des fruits de 49 arbres du District de Boko

IV. DISCUSSION

1. Composition globale

L'ACP des individus construit avec 3 variables (teneur en eau, en huile et en cendres) indique une très bonne restitution de la variabilité sur le plan F1F2 (93,66%), avec une bonne représentation des teneurs en huile et en protéines sur l'axe F1 et de cendres sur F2.

La teneur en huile est anti corrélée à la teneur en protéines, tandis que la teneur en cendres est indépendante des 2 autres (figure 21).

L'ACP des individus met en évidence 1 groupe plus ou moins homogène au centre du plan et quelques individus isolés.

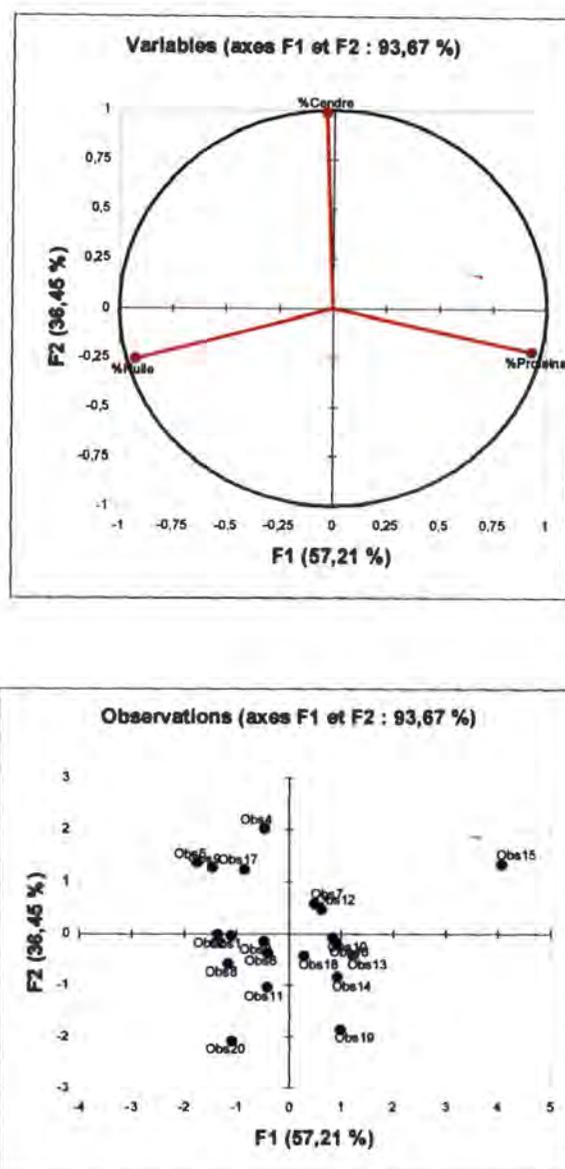


Figure 21 : structuration des variables et répartition des individus sur le plan F1,F2 des safous de 20 arbres du district de Boko

La CAH conduit à une classe englobant la quasi-totalité des individus et une classe réduite à 1 individu (tableau XXVI , figure 22).

Tableau XXVI : Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des 2 classes de safous définis par leur composition.

Classe	%Proteines	%Huile	% Cendres
1(19 arbres)	8,4	62,1	3,5
2(1 arbre)	13,3	39,4	4,5

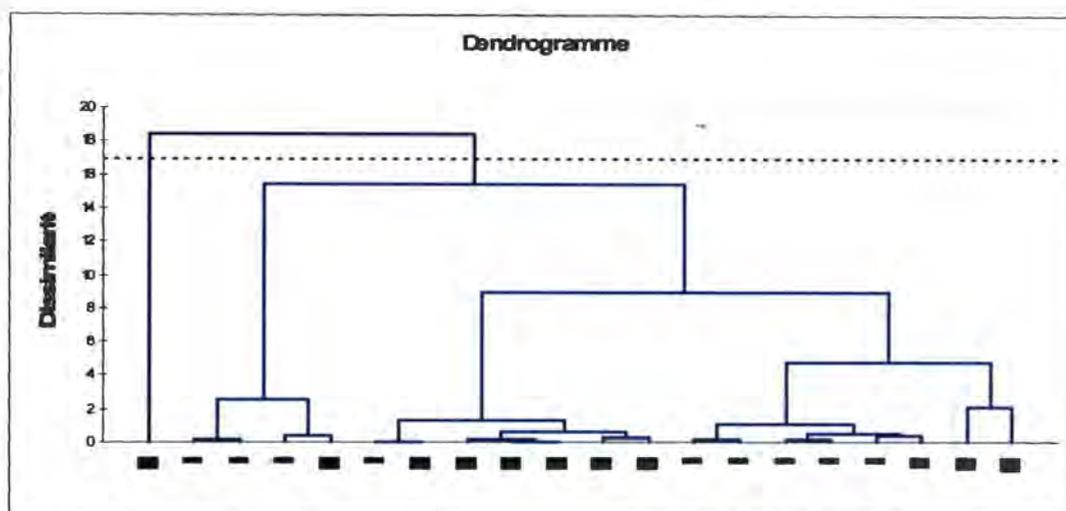


Figure 22: Dendrogramme des fruits de 20 arbres du district de Boko.

La ligne de séparation de ces 2 classes pourrait passer par les teneurs de 10 % en protéines, 50 % en huile et 4 % en cendres.

2. Composition en acides gras de l'huile de la pulpe

Les figures 23 et 24 relatives à l'ACP construite sur 5 acides gras ayant une teneur supérieure à 1 %, indique une meilleure représentation de C16 :0 et C18 :1 sur F1 et C18 :2 sur F2 par rapport à C18 :0 et C18 :3.

L'acide palmitique est anti corrélé à l'acide oléique, l'acide linoléique est indépendant des ces derniers (figure 23)

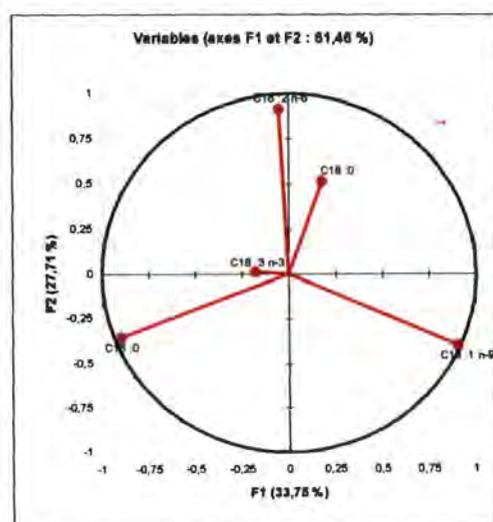


Figure 23 : Corrélation des variables acides gras en ACP des huiles de la pulpe de fruits de 20 arbres du district de Boko.

On note pour la répartition des individus, un regroupement vers le centre du plan F1,F2 (figure 24).

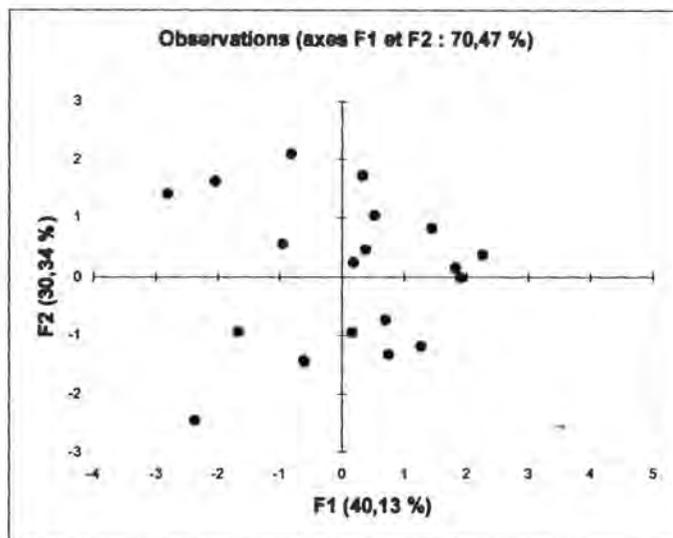


Figure 24 : Répartition des individus sur le plan F1,F2 des fruits de 20 arbres du district de Boko

La réduction du nombre de variables, impliqués dans l'analyse, aux 3 acides gras majoritaires (C16 : 0, C18 : 1, C18 : 2), rend beaucoup plus lisible la représentation des individus avec des bons critères de fiabilité de la procédure de représentation : 98,5 % de variabilité sur le plan F1,F2, somme des cosinus carrés des variables voisins de 1, bonne corrélation des variables avec le facteur F1 (figure 25)

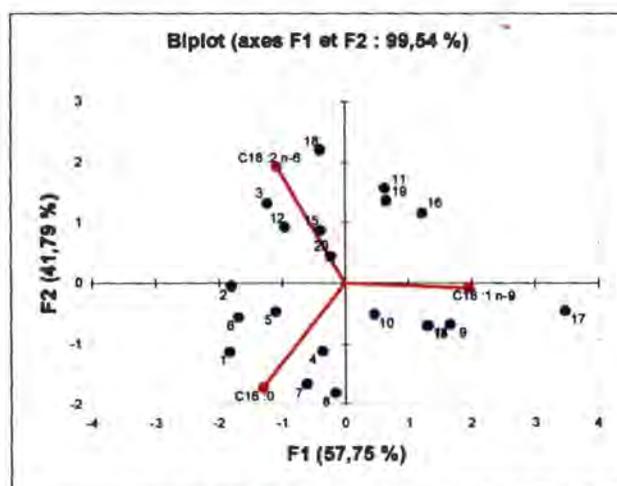


Figure 25 : ACP des variables et des individus Biplot des huiles des 20 arbres du district de Boko.

La CAH conduit à 2 sous classes très proches ayant les caractéristiques de la catégorie II (tableau XXVII, figure 26), telle que proposées par Silou et al., 2002. La ligne de séparation pourrait être placée à 50 % de C16 :0 ; 30 % de C18 :1 et 20 % de C18 :2.

Tableau XXVII : Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des 2 classes de safous définis par leur composition.

Classe	C16 :0	C18 :1 n-9	C18 :2 n-6
1 (7 arbres)	49,5	25,7	20,7
2 (13 arbres)	39,5	33,9	24,1

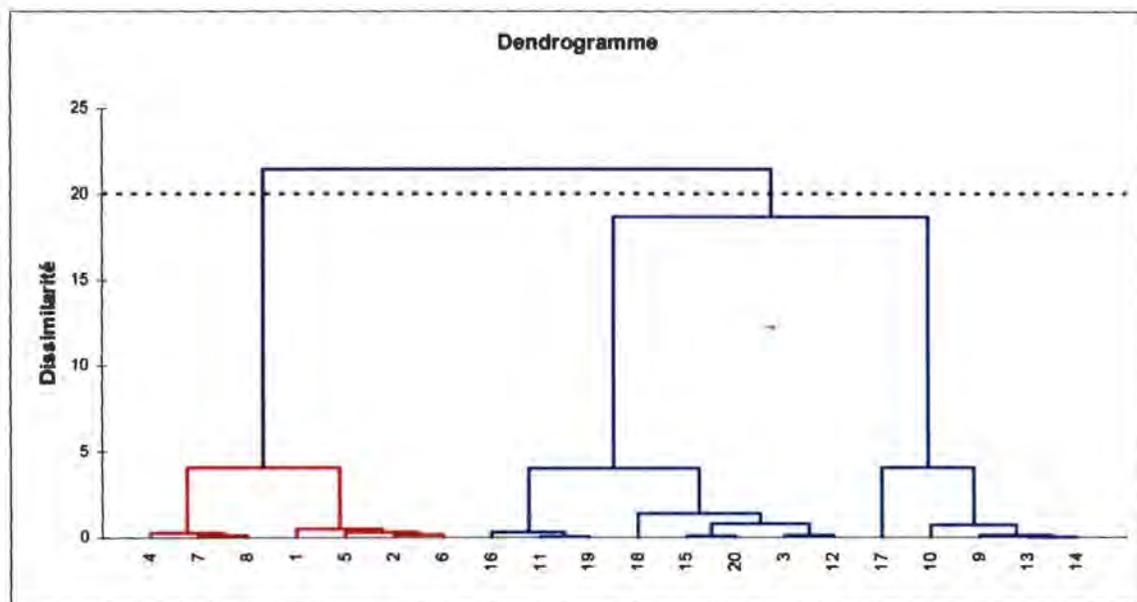


Figure 26 : Dendrogramme des huiles des fruits de 20 arbres du district de Boko.

L'extension de l'étude à 49 échantillons conduit aux mêmes conclusions (tableau XXVIII, figure 27)

Tableau XXVIII : Nombre d'objets et caractéristiques des objets centraux des 2 classes de safous définis par leur composition.

Classe	C16 :0	C18 :1 n-9	C18 :2 n-6
1 (29 arbres)	50,9	26,1	19,5
2 (20 arbres)	41,2	31,0	22,9

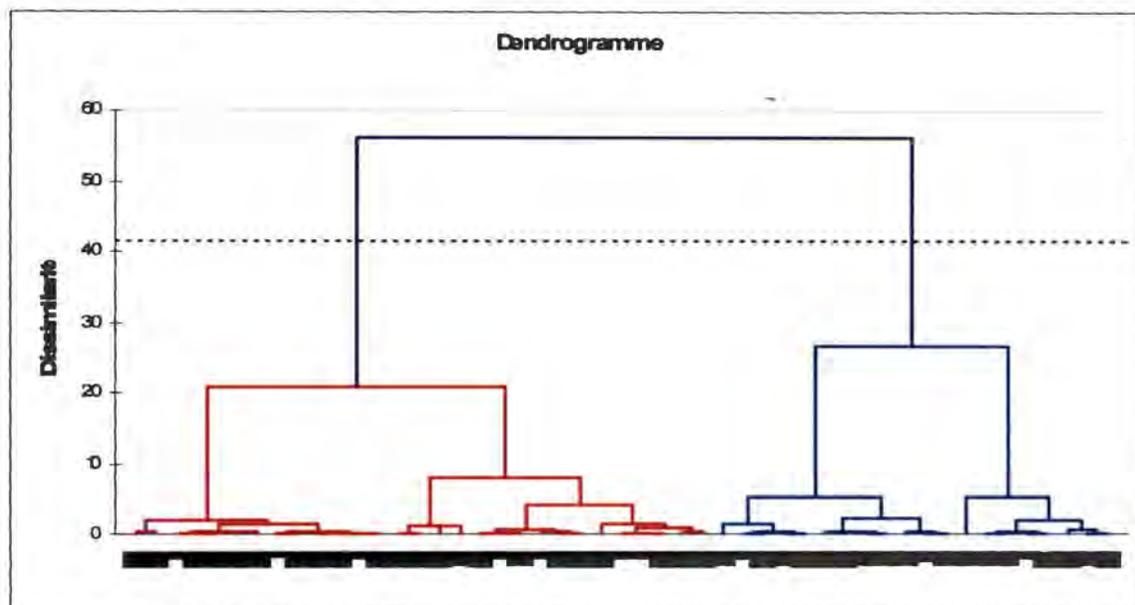


Figure 27 : Dendrogramme des huiles des fruits de 49 arbres du district de Boko.

V. CONCLUSION

Comme la morphologie, la composition de safous du district de Boko varie assez faiblement d'un fruit à un autre, d'un arbre à un autre.

La composition globale varie sur des fourchettes relativement faibles :

- $8,6 \pm 1,9$ % pour la teneur en protéines
- $61,0 \pm 6,7$ % pour la teneur en huile
- $3,5 \pm 0,9$ % pour la teneur en cendres

La teneur en éléments minéraux varie de manière plus marquée tout en gardant constant le profil suivant :

$$K > P > Ca > Mg > Fe > Na > Cu > Zn > Mn.$$

La composition en acides gras des huiles extraites de la pulpe des fruits est également stable avec en moyenne :

- $47,9 \pm 5,3$ de teneur en C16 :0
- $28,4 \pm 5,4$ de teneur en C18 :1

- $19,9 \pm 4,2$ de teneur en C18 :2
- $2,3 \pm 0,9$ de teneur en C18 :0
- $0,7 \pm 0,3$ de teneur en C18 :3 ;

Les safous du district de Boko constituent un groupe homogène si l'on se réfère à leur composition globale et à la composition des huiles extraites de la pulpe.

Le constat fait pour la morphologie peut donc être étendu à la composition chimique.

En fin de compte, il apparaît que la culture du safou, orientée par le marché, a réduit la biodiversité aussi bien sur le plan morphologique que chimique. Il y a eu une standardisation, peut-être involontaire, du calibre et de la composition du fruit ; ce qui peut être un atout pour l'amélioration et la sélection du safoutier.

De ces fruits, imposés par la demande, on peut retenir les meilleurs pour les reproduire à l'identique par voie végétative, par le marcottage par exemple.

Toutefois, on peut, au terme de cette étude, esquisser le profil du fruit idéal pour l'huilerie :

- teneur en protéines < 10 %
- teneur en huile > 50 %
- teneur en C16 : 0 < 50 %
- teneur en C18 : 1 ~ 25 %
- teneur en C18 : 2 ~ 25 %

CHAPITRE III

ETUDE REGIOSPECIFIQUE DES TRIACYLGLYCEROLS DE L'HUILE DE LA PULPE DE SAFOU. EVALUATION DE L'INTERET NUTRITIONNEL.

I. INTRODUCTION.

L'intérêt nutritionnel d'une huile ou d'une graisse dépend en très grande partie de la composition et de la structure des triacylglycérols qui les constituent.

Pour pouvoir déterminer la composition lipidique exacte d'une huile ou d'une graisse il faudrait se poser les quatre questions essentielles suivantes :

- quelles sont les différentes classes de lipides en présence ?
- quels sont les acides gras (AG) présents dans le mélange ?
- quelle est la composition en AG dans chaque classe de lipide ?
- étant donnée que les lipides contiennent généralement deux ou trois chaînes acyles, comment est réalisée l'association de ces chaînes sur chaque molécule de glycérol?

Diverses méthodes chromatographiques et spectroscopiques permet de répondre à toutes ces questions.

Après une vue panoramique de ces méthodes, nous présenterons dans ce chapitre les résultats obtenus en utilisant la résonance magnétique nucléaire dans la détermination de la structure des triacylglycérols.

II. ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

La détermination de la composition en AG d'une huile a lieu généralement par chromatographie en phase gazeuse (CPG). Les AG sont habituellement sous forme de triacylglycérols (TAG) ; avant l'analyse sur colonne capillaire, ils sont convertis en esters méthyliques plus volatils ; la détection des AG se fait généralement par ionisation de flamme et plus rarement par capture d'électrons. Leur identification est réalisée le plus souvent par étalonnage interne de la colonne avec des produits de référence ou par calcul des longueurs de chaînes équivalentes. Cette technique permet une analyse qualitative et quantitative de la

grande majorité des AG présents dans le règne végétal ou animal ; mais elle peut s'avérer inefficace dans le cas d'AG à structures inhabituelles dont les temps de rétention peuvent être confondus avec des AG courants (acide oléique, linoléique...). On utilise pour cela un autre mode de détection qui a un champ d'action beaucoup plus vaste, la spectroscopie de masse (SM). Dans ce cas précis, les AG sont analysés sous plusieurs formes comme dérivés tétraméthylsilylés, ter-butyldiméthylsilylés et pyrrolidiques.

La composition et parfois la structure de TAG est généralement déterminées par chromatographie liquide à haute performance (CLHP), utilisant différents types de détecteur : détecteur réfractométrique, détecteur d'absorption dans l'ultraviolet, spectrométrie de masse, détecteur évaporatif à diffusion de lumière...

On assiste ces dernières années au développement de la résonance magnétique nucléaire comme méthode de détermination de structure moléculaire des triacylglycérols.

Considérée comme la technique « reine » de l'identification structurale, elle peut s'appliquer à toutes sortes de molécules organiques. Grâce à divers programmes d'analyse mono et bidimensionnelle (voire tridimensionnelle), elle donne des renseignements importants sur la structure de la molécule et constitue généralement une étape finale dans l'identification d'un composé.

La RMN possède une grande variété d'aspects instrumentaux et méthodologiques basés sur les mêmes principes.

Pour qu'il y ait spectre de RMN, il faut qu'il y ait interaction entre les noyaux de spins non nuls et un champ magnétique.

Celui-ci crée des états de peuplement de spin dont l'application d'un autre champ magnétique dans le domaine des radiofréquences va permettre d'observer le phénomène de résonance.

Le phénomène se mesure par la connaissance des déplacements chimiques qui s'exprime en ppm (partie par million) et des tableaux standards ont été établis aussi bien pour la RMN du proton que celle du carbone 13 .

A cela s'ajoute la notion de couplage spin-spin qui est à l'origine de la détermination des structures. Il était possible de pouvoir à la lecture d'un spectre de RMN du proton, retrouver le groupement $\text{CH}_3 - \text{CH}_2$ - car il se présente sous forme de quadruplet pour les CH_2 et sous forme de triplet pour les CH_3 .

Les intensités relatives des multiplets sont distribuées selon les coefficients du triangle de Pascal.

La RMN du carbone 13, se développe plus tardivement car le pourcentage du ^{13}C dans les composés organiques est faible. Il s'est développé autour des méthodes connues, une RMN impulsionnelle par transformée de Fourier.

La méthode consiste à additionner de façon cohérente des résultats de plusieurs mesures, de même nature mais indépendantes. Les difficultés apparaissent surtout sur la résolution des spectres. La transformée de Fourier permet de passer d'une fonction du temps à une fonction de fréquence.

Lorsque l'on réalise une expérience, il faut que les atomes retrouvent leur état d'équilibre et la connaissance de ce temps dit « temps de relaxation » permet d'éviter le chevauchement des impulsions et permet un traitement correct des données.

Une méthode d'étude des huiles végétales par RMN du carbone 13 a été proposée par Farines *et al* (1998). Blaise *et al*, (1997) en ont précisé les conditions expérimentales et ont déterminé les valeurs des déplacements chimiques qui seront utilisées ici comme référence.

La structure d'un triacylglycérol (TAG), selon la représentation conventionnelle est la suivante : les carbones externes sont dits sn-1 et sn-3 et le carbone interne est sn-2 (figure 28) Selon les données de la littérature, un spectre de RMN ^{13}C se subdivise en cinq zones. La zone des CH_3 , des CH_2 , des carbones sn-1 ; sn-3 ; sn-2 ; des carbones éthyléniques puis des groupements carbonyles (tableau XXIX).

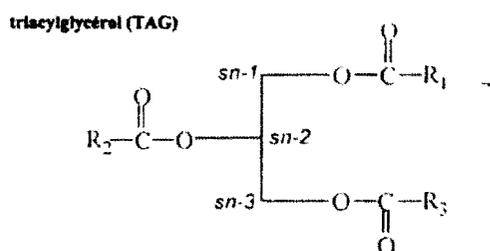


Figure 28 : Formule chimique d'un triacylglycérol (TAG).

Tableau XXIX Déplacements chimiques des carbones des TAG en RMN du carbone 13.

Déplacement chimique (ppm)	Groupements chimiques
13-15	-CH ₃
20-40	-CH ₂ -
60-70	C (glycérol)
62	C (sn - 1 et sn-3)
68	C (sn -2)
120-140	C (éthylénique)
170-175	C (carbonyle)

Blaise *et al.* ont également eu à spécifier quelques détails de structures, en déterminant les déplacements chimiques des carbones en α et β des carbonyles qu'ils appellent C2, C3 et les acides gras en position sn-1, sn-2 et sn-3 sur trois huiles notamment les huiles d'olive, de tournesol et de lin (tableau XXX).

Tableau XXX : Analyse des huiles d'olive, de lin et de tournesol par RMN ^{13}C

Huile	Déplacements chimiques (ppm)				
	Carbonyles	C2	C3	Ethyléniques	CH ₃
Olive	173,20 (1,3)	34,10 (sn-1,3)	24,96 (sn-1,3)	129,76 (O ₉) sn-1,3 129,73 (O ₉) sn-2	14,10
	172,79 (2)	34,26 (sn-2)	24,93 (sn-2)	130,08 (O ₁₀) sn-2 130,07 (O ₁₀) sn-1,3	
Tournesol	173,19 (1,3)	34,09 (sn-1,3)	24,94 (sn-1,3)	130,26 (L ₁₃) sn-2 130,25 (L ₁₃) sn-1,3 130,03 (L ₉) sn-1,3 130,01 (L ₉) sn-2	14,06
	172,78 (2)	34,25 (sn-2)	24,91 (sn-2)	128,18 (L ₁₀) sn-2 128,16 (L ₁₀) sn-1,3 127,98 (L ₁₂) sn-1,3 127,97 (L ₁₂) 2	
Lin	173,19 (1,3)	34,09 (sn-2)	24,94 (sn-2)	131,99 (L _{n16}) sn-1,3/ sn-2 130,26 (L _{n9}) sn-1,3 130,23 (L _{n9}) sn-2 128,38 (L _{n13}) sn-2 128,37 (L _{n13}) sn-1,3	14,27
	172,78 (2)	34,25 (sn-1,3)	24,91 (sn-1,3)	128,31 (L _{n12}) sn-1,3 128,30 (L _{n12}) sn-2 127,87 (L _{n10}) sn-2 127,85 (L _{n10}) sn-1,3 127,21 (L _{n15}) sn-1,3 127,20 (L _{n15}) sn-2	

O9 : C9 de l'acide oléique, L9 : C9 de l'acide linoléique, Ln9 : C9 de l'acide linoléique.
sn-1,3 et sn-2 correspondent respectivement aux positions externes et interne du glycérol.

Nous avons entrepris l'étude stéréospécifique de l'huile de la pulpe de safou, par RMN du ^{13}C .

Rappelons, pour situer le problème que les premières études sur la composition du safou datent de 1964 avec les travaux de Laroushile *et al.*, (1964).

Dans la littérature, les études de la fraction glycéridique de l'huile de la pulpe de safou constituent la presque totalité des résultats de recherche disponibles, elles concernent particulièrement l'analyse des acides gras.

Les travaux sur l'étude des triacylglycérols sont peu nombreux et les recherches de régiospécificité de triacylglycérols (TAG) de l'huile de la pulpe de safou et notamment la détermination de l'acide gras en position sn-2 sont quasi inexistantes .

On pourrait citer les travaux de Tchendji *et al.*, (1987) sur des safous du Cameroun et ceux de Kinkéla et Bézard (1993) sur les échantillons du Congo – Brazzaville.

Les méthodes mises en œuvre dans ces études sont complexes, longues et destructives ; ce qui peut être un des éléments dissuasifs pour des chercheurs travaillant à la limite des conditions requises à l'exercice normal des activités de recherche.

La mise au point d'une nouvelle méthode d'étude des TAG par RMN pourrait à notre avis faire sauter le verrou , si l'on peut accéder par le biais de la collaboration entre les laboratoires au matériel adéquat de spectrométrie RMN qui reste , à cause de son coût et de sa fragilité le principal facteur limitant, pour les chercheurs des pays du Sud. (Farines, 1998).

II. MATERIEL ET METHODES

1. Analyse des esters méthyliques d'acides gras par chromatographie en phase gazeuse.

Les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont obtenus et analysés selon la procédure décrite au chapitre II.

2. Analyse stéréospécifique des triacylglycérols par spectrométrie RMN du carbone 13

L'huile a été étudiée en solution deutérochloroformée, le tétraméthylsilane étant utilisé comme référence .

De manière à relaxer tous les atomes de carbone, l'huile a été mélangée à un agent de relaxation 0,025 g de [Cr (acac)₃] (C₁₅H₂₁CrO₆). Le spectre de RMN est obtenu à 35°C avec une accumulation de 650 scans. Le spectre de RMN ¹³C haute résolution des zones éthyléniques et carbonyle a été réalisé avec une largeur de spectre de 127 à 130,4 ppm et de 172,5 à 173,5 ppm.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau III donnent les résultats obtenus en chromatographie en phase gazeuse (CPG) et en spectrométrie R.M.N du carbone 13.

Il représente les teneurs en acides gras par rapports aux AG totaux déterminés sur l'huile brute, et les teneurs des différents acides gras sur les positions sn-2 et sn-1,3 déterminées par spectrométrie RMN.

Tableau XXXI : Comparaison en AG obtenus par CPG et RMN

	Proportions molaires %		
	Saturés, C16 : 0	Oléique, C18 :1	Linoléique, C18 : 2
CPG	40,9	27,2	24,5
RMN	45,0	32,1	22,9
(sn-1,3/ sn-2)	100/0	45/55	30/70

1- Composition de l'huile brute déterminée par CPG

La composition en acides gras (% molaire) de l'huile étudiée pour les 3 premiers acides gras de l'huile de safou est :

- acide palmitique (P ou C16 :0) = 40,9
- acide oléique (O ou C18 :1) = 27,2
- acide linoléique (L ou C18 : 2) =24,2

Nous retrouvons pour cet échantillon le profil caractéristique de l'huile de la pulpe de safou tel qu'il apparaît dans la littérature à savoir (Silou, 1996):

$$\%C16 :0 > \%C18 :1 > \%C18 :2$$

Ce sont bien ces acides gras qui constituent la presque totalité des TAG de l'huile de la pulpe de safou.

En effet, sur une quinzaine des TAG identifiés dans la littérature pour cette huile, 5 majoritaires représentent près de 90% des TAG totaux. Il s'agit de PPO, POO, PPL, POL, PLL (Silou et al.,1996 ; Kapseu et al.,1999 ; Bézard et al.,1993 ; Kinkéla et Bézard, 1993 ; Tchendji et al., 1987).

2- Composition des AG sur les TAG déterminés par spectrométrie RMN

Cette position a été déterminée par spectrométrie RMN du carbone 13.

La prise d'un spectre entier nécessite une largeur de spectre d'environ 200ppm pour couvrir l'ensemble des signaux qui généralement se répartissent de la manière suivante (Tableau IV, figures 2) :

- zone de 15 à 55 ppm, groupes CH₂ et CH₃
- zone de 60 à 70 ppm, deux pics correspondants aux positions sn1-3 et sn2
- zone 75 à 80 ppm solvant (deutériochloroforme)
- zone 125 à 135 ppm carbones éthyléniques
- zone 170 à 175 ppm carbonyles

Tableau XXXII : Déplacements chimiques des carbones étudiés

Acides gras	Groupe carbonyle	Carbones éthyléniques
Oléique	173,23 (sn-1,3) 172,81 (sn-2)	O9 : 129,74 (sn-1,3) – 129,72 (sn-2) O10 : 130,03 (sn-1,3) – 130,06 (sn-2)
Linoléique	173,20 (sn-1,3) 172,79 (sn-2)	L 9 : 130,03 (sn-1,3) – 130,00 (sn-2) L 10 : 128,13 (sn-1,3) – 128,15 (sn-2) L 12 : 127,96 (sn-1,3) – 127,940 (sn-2) L 13 : 130,24 (sn-1,3) – 130,25 (sn-2)
Acide gras saturés	173,24 (sn-1,3)	

Les deux dernières zones sont les plus intéressantes pour l'analyse des lipides ; elles sont malheureusement mal résolues si l'on reste sur la largeur totale du spectre.

On obtient généralement, en limitant la largeur du spectre à l'étude de ces deux "fenêtres" une meilleure résolution permettant une interprétation plus aisée (Blaise *et al.*, 1998).

Dans ces conditions les déplacements chimiques des carbones du carbonyle et des carbones éthyléniques observés pour les acides gras qui intéressent cette étude sont groupés dans le tableau XXXII (figures 29, 30 et 31).

Le rapport (AG en position sn1-3)/(AG en position sn-2) indique que :

- la totalité des C16 :0 se trouvent en position sn 1-3 ;
- que 55% de C18 :1 occupent la position sn-2 ;
- que 70% de C18 :2 occupent la position sn-2 ;

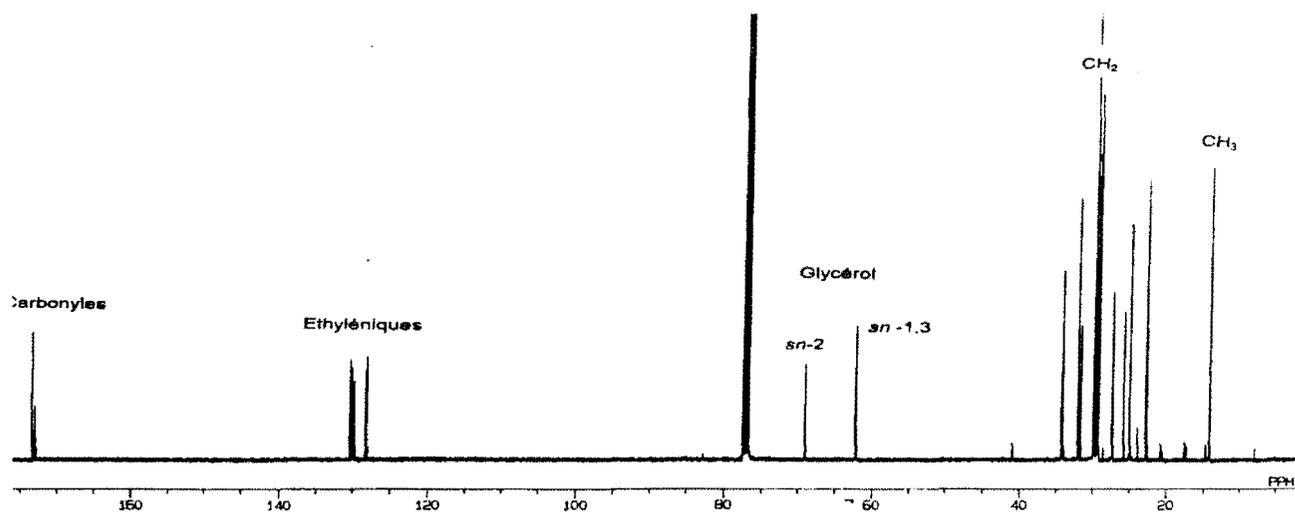


Figure 29 : Spectre ^{13}C des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou (spectre total)

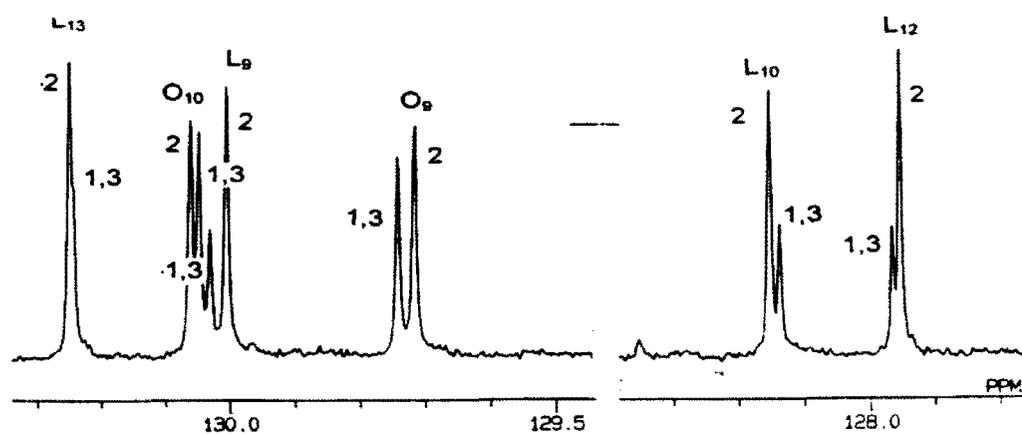


Figure 30 : Spectre ^{13}C des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou (zone éthylénique)

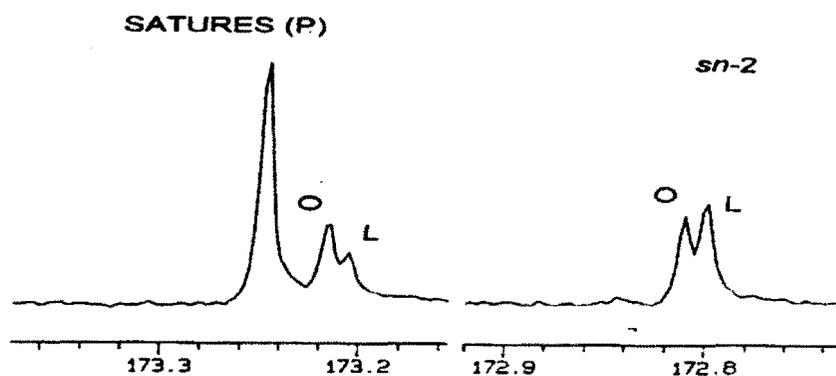


Figure 31 : Spectre ^{13}C des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou (zone carbonyle)

Si nous ramenons ces résultats aux teneurs respectifs des acides gras par rapport aux AG totaux on obtient :

$$C18 :1 = 17,2\% \text{ et } C18 :2 = 16,0\%$$

La teneur de ces acides constituent bien 33% des AG totaux ce qui est conforme au pourcentage statistique de AG en position sn – 2.

Ces résultats sont en parfait accord avec ceux déjà publiés antérieurement.

En effet à partir des huiles extraites de fruits récoltés au Cameroun, Tchendji *et al* (1987) ont noté que les principaux acides gras fixés en position sn-2 étaient décroissants C18 :2 (55,1%), C18 :1 (38,1%) et C16 :0 (5,6%).

Sur des échantillons du Congo, Kinkéla et Bézard (1993) ont confirmé cet ordre.

Mieux ils ont constaté que dans les TAG où il y avait 2 AG saturés, l'acide gras le plus insaturé se fixait préférentiellement en position sn-2, confirmant ainsi le constat général de Litchfield (1972) selon lequel pour les huiles végétales la position interne de triacylglycérols est occupé préférentiellement par les acides gras insaturés ce d'autant plus que le degré d'insaturation est élevé.

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que 70% de C18 :2, 55% de C18 :1 et 0% de C16 :0 occupent la position sn –2 des TAG.

Ces résultats confirment l'intérêt alimentaire de l'huile de la pulpe de safou.

On sait que les acides gras sont assimilés par l'organisme sous forme des sn –2 acylglycérols. La présence majoritaire et dans certains cas exclusive des C18 :1 et C18 :2 atteste de la qualité exceptionnelle de cette huile, car on sait que d'une part le C 18 : 1 permet à l'organisme de couvrir ses besoins énergétiques et de lutter contre les maladies cardiovasculaires et d'autre part le C 18 : 2, acide gras essentiel, permet la couverture des besoins plastiques de l'organisme.

L'absence du C16 :0 en position centrale est également bénéfique sur le plan nutritionnel, sa présence dans l'organisme expose l'individu au risque de cholestérolémie et athérogénie.

Ces résultats déjà obtenus par les méthodes classiques sont confirmés par spectrométrie RMN qui est une méthode rapide (3 à 4h) non destructive et peu consommatrice de produit.

Il convient néanmoins de signaler en plus du coût du matériel, les limites techniques de cette méthode qui sont essentiellement ; le seuil de détection des AG en position sn–2 (2%) et la non discrimination des AG saturés ; on observe par exemple un seul pic pour les acides palmitiques (C16 :0) et stéarique C18 :0) (Farines, 1998).

IV. CONCLUSION

Les études des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou jusqu'à présent ont été réalisées par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) avec ou sans lipolyse enzymatique ou chimique préalables. Elles sont généralement longues et destructives.

Nous venons d'appliquer, pour la première fois à l'huile extraite de la pulpe de safou la méthode d'étude par spectrométrie de Résonance Magnétique Nucléaire (R.M.N) du carbone 13 qui a vu le jour il y a quelques années et qui est actuellement en plein développement. Les résultats obtenus corroborant ceux de la littérature obtenus par les méthodes classiques, atteste de la fiabilité de la nouvelle méthode.

Ils confirment en particulier l'occupation de la position centrale des différents TAG par C18 : 1 et C18 : 2 et à des proportions respectivement de 54 % et de 45 %.

CHAPITRE IV

EVALUATION DES POTENTIALITES TECHNOLOGIQUES DE LA PULPE DE SAFOU EN VUE DE LA PRODUCTION DE L'HUILE

INTRODUCTION

La production de manière rentable de l'huile de la pulpe de safou dépend à la fois des caractéristiques intrinsèques de la matière première d'une part, de la performance et de la qualité des techniques utilisées, d'autre part.

La caractérisation des fruits, entreprise aux chapitre II et III répond à la première partie de cette observation. Pour aborder le deuxième volet de cette observation, nous examinerons, dans ce chapitre, deux aspects liés à la technologie de traitement des oléagineux : l'extraction de l'huile et l'évaluation de la stabilité du produit obtenu.

Ces deux aspects constituent, à notre avis les deux des principaux blocages à lever dans la mise au point d'un procédé rentable de production d'huile.

Parallèlement à une étude systématique de l'optimisation de l'extraction au soxhlet de l'huile de la pulpe de safou entreprise au Laboratoire (Mampouya, 2006), nous avons étudié l'influence du temps et du solvant d'extraction en vue de l'évaluation préalable de la qualité de l'huile à utiliser ultérieurement dans l'étude de la stabilité thermique, retenue comme simulation du comportement au vieillissement de l'huile.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de safous, récolté à Pointe Noire et ses environs, soit comme échantillon « tout venant » du verger SNR (safou 1), soit sur des arbres individuels (safous 2, 3, 4).

2. Extraction de l'huile

La pulpe de safou séchée à 103°C pendant 10 h est réduite en poudre ; l'huile a été extraite à l'aide d'un extracteur Soxhlet avec le trichloro-éthane, le chloroforme, l'hexane et l'éther de pétrole, comme solvants d'extraction.

3. Caractéristiques physico-chimiques des huiles extraites.

Les caractéristiques physico-chimiques des huiles fraîches, chauffées ou stockées ont été déterminées par différentes méthodes disponibles dans la littérature (AFNOR, 1981 ; IUPAC, 1979, Combe, 1996) sur l'analyse de l'oxydation lipidique.

3.1. Masse volumique

La masse volumique a été déterminée avec le densimètre électronique de marque DM35.

On introduit dans la cuve du densimètre 5 mL d'huile avec une seringue et on lit directement la masse volumique et la température correspondante, sur l'écran du densimètre.

3.2. Densité relative

La densité relative a été déterminée à la température de 26 °C, à l'aide d'un pycnomètre de 5 mL environ.

On détermine les masses m_0 , m_1 , m_2 correspondant respectivement à la masse du pycnomètre à vide, à la masse du pycnomètre + l'eau distillée, et à la masse du pycnomètre + échantillon.

La densité est donnée par la relation :

$$d = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0).$$

3.3. Viscosité

La viscosité a été déterminée à l'aide d'un viscosimètre SR300 F 905, à la température de 40°C, par mesure du temps d'écoulement de l'échantillon entre 2 repères.

Elle est donnée par la relation :

$$\eta = C \times t$$

avec C = coefficient du viscosimètre utilisé ; t = temps d'écoulement.

3.4. Indice de réfraction

Les indices de réfraction ont été déterminés à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe standard 1T de marque ATAGO, à 25,0 °C.

3.5. *Indice d'acide*

L'indice d'acide est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH), nécessaire pour neutraliser les acides gras libres contenus dans un gramme de matière grasse. On dissout 2,5 g d'huile dans 50mL du mélange éthanol-toluène (v/v). La solution obtenue est titrée en présence de quelques gouttes de phénolphaléine avec une solution éthanolique de KOH à 0,1N en utilisant la burette automatique où une microburette.

$$I_A = (56,1 \times T \times V)/M$$

T = titre exacte de KOH

V = volume en millilitre de la solution de KOH

M = masse en gramme de la prise d'essai.

3.6. *Indice de saponification*

L'indice de saponification d'un corps est le nombre de milligrammes d'acide chlorhydrique nécessaire pour la saponification d'un gramme de produit.

Dans un ballon de 250ml à fond rond contenant 2 grammes d'huile, on ajoute 25mL de la solution éthanolique de KOH à 0,5 N et la pierre ponce. Le ballon est ensuite adapté à un réfrigérant à reflux et l'ensemble est chauffé dans un bain-marie pendant 60 minutes. Quelques gouttes de phénolphaléine sont ajoutées à la solution d'acide chlorhydrique dilué à 0,5N avec l'eau distillée. Un essai à blanc, témoin est utilisé dans les mêmes conditions. L'expression suivante indique la formule de l'indice de saponification :

$$I_S = (56,1 \times T(V_0 - V_1))/M$$

T = titre exact de la solution éthanolique de KOH

V₀ = volume en ml de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisé pour l'essai à blanc

V₁ = volume en ml de la solution titrée de HCl utilisé pour l'essai avec matière grasse.

M = masse, en grammes, de la prise d'essai.

3. 7. *Indice de peroxyde*

Dans un ballon peser 1 g d'échantillon à l'aide d'une balance de précision. Ajouter 10 mL de chloroforme. Dissoudre rapidement la prise d'essai en agitant. Ajouter 15 ml d'acide acétique, puis 1 mL de la solution saturée d'iodure de potassium. Reboûcher aussitôt le ballon, l'agiter pendant 1 minute, et le laisser à l'abri de la lumière pendant exactement 5 minutes. Ajouter 75 mL d'eau distillée. En agitant rigoureusement et en présence de l'empois d'amidon comme indicateur, titrer l'iode libéré avec la solution 0,01 N de thiosulfate de sodium.

L' indice est donné par la relation

$$I_p = 1000 \times V \times T, \text{ avec :}$$

V= volume de thiosulfate versé

T= titre de la solution de thiosulfate

m = masse d'échantillon d 'huile

4. Analyse des acides gras (AG)

4.1. Préparation des esters méthyliques

Les esters méthyliques sont obtenus par méthanolyse basique de l'huile par de méthanoate de sodium .

Un échantillon de 100 mg de matière grasse est dissout dans 5 mL d'hexane. On ajoute 0,2 mL de réactif de transestérification (11,2 g KOH dans 100 mL de méthanol) ; on bouche le tube, et on mélange le contenu vigoureusement à l'aide de l'homogénéisateur type vortex pendant 1 minute. On laisse reposer 5 minutes avant d'ajouter 0,5 g de NaHSO₄ solide.

Après homogénéisation et centrifugation de l'échantillon pendant 3 minutes à température ambiante, on prélève le surnageant pour analyse.

Deux dispositifs ont été utilisés pour l'analyse.

4.2. Dispositif pour l'analyse des huiles issues de l'étude sur l'extraction.

Les esters méthyliques sont analysés par chromatographie en phase gazeuse (CPG) sur un appareil Perichrom (SAULX-Les-CHARTREUX, France), Type PERI 2000, équipé d'une colonne capillaire de verre de 30 m de long et 0,4 mm de diamètre intérieur, imprégnée de carbowax 20 M (Applied Science labs, state Collège, PA, USA).

L'analyse est faite à une température constante de 195°C avec un débit d'azote de 3 ml/ min sous une pression de 0,5 bar. L'appareil est muni d'un injecteur à 220°C et d'un détecteur à ionisation de flamme à 215°C.

L'acquisition des données (aires des pics, pourcentage pondéral des AG), s'est faite à l'aide du logiciel Azur v2,0 (Datalys, Saint-Martin d'Hères, France).

4. 3. Dispositif pour l'analyse des huiles issues de l'étude sur l'altération.

La composition en AG a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse sur un appareil Hewlett-Packard muni d'une colonne capillaire polaire HP- FFAP N°559436116, de 25 m de longueur et 0,20mm de diamètre intérieur et d'un détecteur à ionisation de flamme (FID).

Les analyses ont été réalisées en isotherme, avec une température du four de 235°C d'une part et de l'injecteur et du détecteur de 250°C, d'autre part.

L'hélium sert de gaz vecteur, sa pression en tête de colonne est de 160 kPa, le débit de fuite de split est maintenu à 48 ml/min, avec un débit de purge du septum à 2 ml/min environ.

L'acquisition des données s'est faite à l'aide du logiciel Azur v2,0 (Datalys, Saint-Martin d'Hères, France).

5. Détermination de la composition en triacylglycérols (TAG)

Selon les objectifs des différentes opérations de l'étude, la composition en TAG des huiles étudiées a été déterminée soit quantitativement soit qualitativement.

5.1. Méthode quantitative.

Les TAG purifiés par chromatographie sur colonne d'acide silicique sont analysés par chromatographie liquide à haute performance (CLHP) en phase inverse à l'aide d'une colonne en acier inoxydable de 250 mm de longueur, de 4,6 mm de diamètre intérieur remplie de silice (4µm de diamètre) greffée de radicaux octadecyl (Hibar Lichrospher 100 CH -18 ; Merck).

La colonne est montée sur l'appareil Waters 717 Plus Autosampler, qui est muni d'un réfractomètre différentiel Waters 996 Photodiode Array Detector (Waters, Milford, MA, USA). Les conditions d'analyse sont les suivantes : analyse isocratique, à température ambiante (21°C), à l'aide d'une phase mobile acétone-acétonitrile (47 : 33, en volumes) avec un débit de 1 mL/min).

L'acquisition des données (aire des pics, pourcentage pondérale des TAG), s'est faite à l'aide du logiciel Azur v2,0 (Datalys, Saint-Martin d'Hères, France).

5.2. Méthode qualitative.

Les triacylglycérols ont été analysés par chromatographie liquide Haute performance en phase inverse.

La chaîne se décompose en : une pompe HP 1050 (Hewlett Packard, Palo-Alto, CA, Etats Unis), une vanne d'injection Rhéodyne modèle 7125 avec une boucle de 20µl (Rhéodyne, Cotati, CA, Etats Unis) un détecteur évaporatif à diffusion de lumière Sedere Sedex 75 (Sedere Alfortville, France). La température de la colonne a été contrôlée à l'aide d'un four Croco-cil (Cluzeau, Sainte-Foy-la-Grande, France) à circulation d'eau régulée par un

thermostat-cryostat Julabo UC F10 (Touzart et Matignon, les Ulis, France). L'acquisition des données s'est faite à l'aide du logiciel Azur v2.0 (Datalys, Saint Martin d'Hères, France). Toutes les analyses ont été menées à 20 °C avec la colonne suivante: Kromasil C18 (5µm) 250 x 4,6 mm (Thermo Quest, Les Ulis, France). La phase mobile est un mélange binaire optimisé MeCN/CH₂Cl₂ 63/37 avec un débit de 1 ml/min.

Les paramètres du détecteur ont été optimisés et sont les suivants: T= 37 °C, P_{air} = 2 bars, Gain = 11, constante de temps= 1.

L'acétonitrile (Acros, New Jersey, USA) et le dichlorométhane (Carlo Erba, Rodano, Italie) sont de qualité HPLC. Les huiles ont été mises en solution dans un mélange MeCN/CH₂Cl₂ 50/50; la concentration et le volume injecté ont été adaptés de telle façon qu'un pic pris en référence (LLL) ait toujours sensiblement la même aire.

Le standard utilisé la trilinoléine (LLL) provient de chez Sigma Chimie (St-Quentin Fallavier, France).

A partir de la connaissance des différents AG obtenus par CPG et grâce à un programme informatique, on remonte à la composition théorique en TAG, c'est à dire à la nature des TAG attendus et à leur ordre d'apparition sur le chromatogramme. Ce résultats théorique est comparé au chromatogramme expérimental.

L'identification ultime des TAG est réalisée par grâce à des huiles témoins de composition parfaitement connue et étudiées dans les mêmes conditions chromatographiques (Héron et Tchaplà, 1994a,b).

6. Conduite de l'altération par oxydation accélérée.

En vue de déterminer dans des délais raisonnables les seuils et l'ampleur de l'altération des huiles au cours de leur stockage, nous avons simulé le phénomène en chauffant, à différentes températures à l'étuve, les huiles étudiées.

Il est établi que l'oxydation est la principale forme d'altération des huiles à des températures inférieures à 200°C. Au delà de cette température, la formation des dimères et polymères devient non négligeable (Dobargagnes, 1998).

Pour suivre l'altération des huiles étudiées, 5 g d'huile placés dans autant de récipients de 25 mL que de mesure à faire, ont été chauffés à l'étuve à différentes températures (105, 120, 150, 180°C) et un flacon a été prélevé, à intervalle de temps donné, pour analyse.

Le diagramme de la figure 33 schématise le déroulement de l'évaluation de l'oxydation accélérée de l'huile de la pulpe de safou.

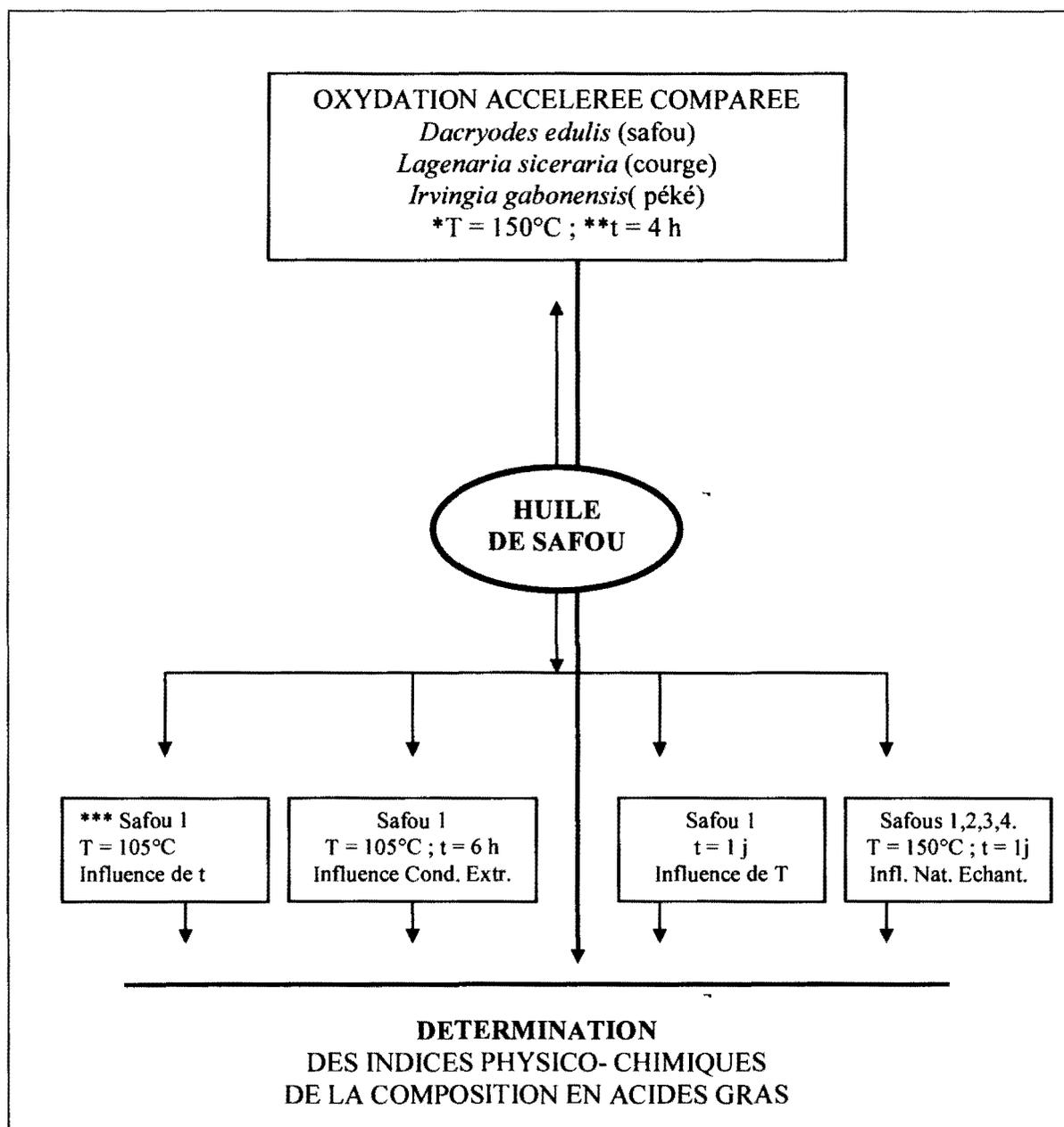


Figure 33 : Diagramme de l'évaluation de l'oxydation accélérée de l'huile de la pulpe de safou. (* T : température, **t : durée du chauffage, *** : échantillon étudiée)

7. Evaluation de la stabilité de l'huile.

L'altération a été évaluée par mesure de la variation des caractéristiques physico-chimiques globales des huiles chauffées ou stockées et celle de leur composition en acides gras.

III- RESULTATS ET DISCUSSION.

1. Influence du temps et du solvant sur l'extraction au soxhlet de l'huile de la pulpe de safou.

1.1. Durée d' extraction

La variation du rendement en fonction de la durée de l'extraction à été suivie jusqu'à 2 h30 ; les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau XXXIII

La figure 34, qui donne la courbe de la variation du rendement en fonction de la durée d'extraction, présente l'allure classique d'un phénomène d'épuisement d'un composé par extraction à partir d'une matrice végétale.

La courbe $R = f(1/t)$ est une droite d'équation : $R(\%) = 62,8 - 2,3(1/t)$, qui permet par extrapolation de calculer la quantité maximale d'huile contenue dans l' échantillon : 62,8 % (figure 35).

Cette courbe est également importante en technologie, parcequ'elle permet de définir le taux d'extraction qui est la rapport entre le rendement réel et le rendement théorique maximal, obtenu par extrapolation de la courbe $R = f(1/t)$.

Tableau XXXIII: Rendement de l'extraction de l'huile de la pulpe de safou en fonction de la durée de l'extraction.

Temps(min)	R(%)	1/t
43	11,36	23
114	27,6	8,8
147	54,4	6,8
221	55,4	4,5
343	56,96	2,9
427	57,72	2,3

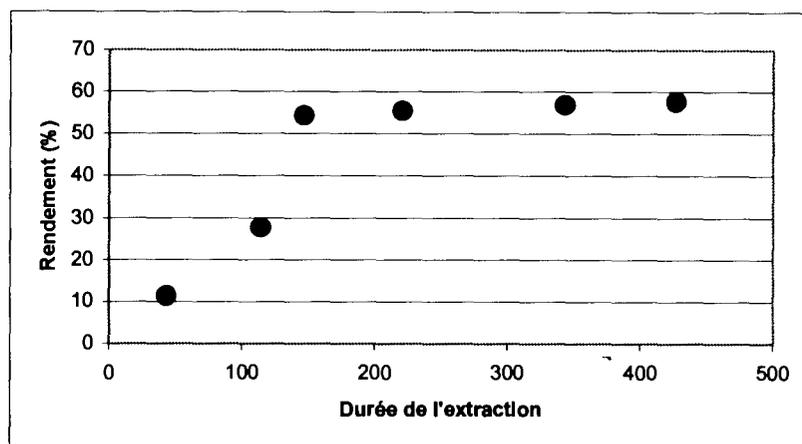
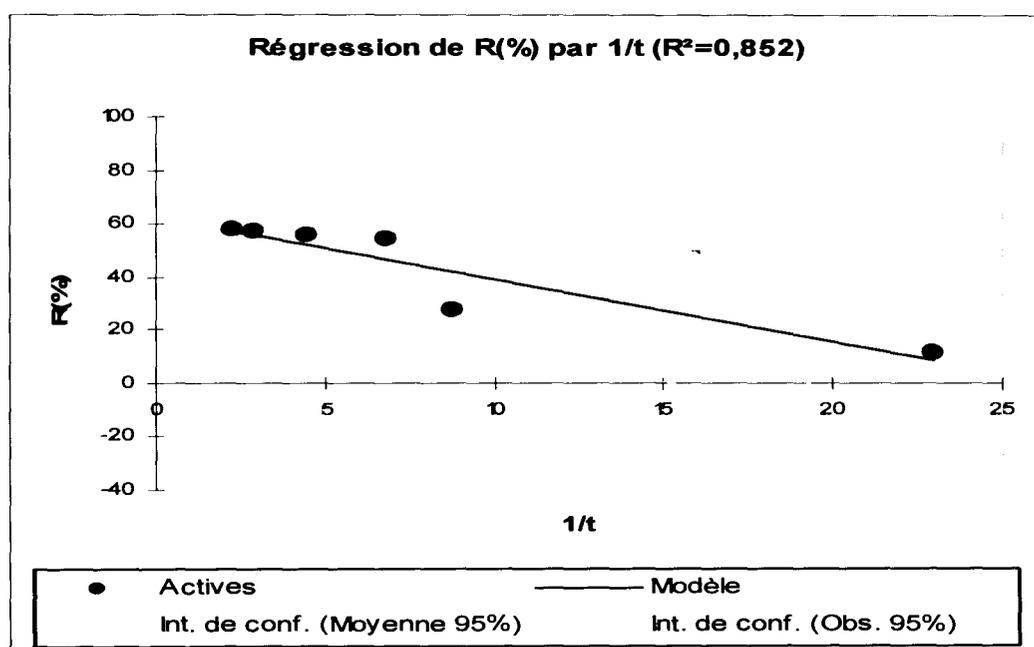


Figure 34 : Evolution du rendement (%) de l'extraction en fonction de la durée de l'extraction (min).



$$R(\%) = 62,810 - 2,348 \cdot 1/t$$

Figure 35 : Variation du rendement en fonction de l'inverse de la durée d'extraction.

Par ailleurs ce résultat indique qu'à partir de 2h 30 d'extraction, près de 90% de l'huile contenue dans la pulpe sont déjà extraites ; la prolongation de la durée d'extraction au-delà de ce temps ne se justifie donc pas.

1. 2. Solvants d'extraction

Les rendements d'extraction de l'huile avec différents solvants organiques sont consignés dans le tableau XXXIV.

Tableau XXXIV : Rendement de l'extraction de l'huile des pulpes de safou séchées, avec différents solvants

solvant	1,1,1-trichloro éthane	chloroforme	Ether de pétrole	hexane
Rendement (%)	54,12	50,04	56,48	51,60

Le trichloroéthane et l'éther de pétrole conduisent à des rendements d'extraction les plus élevés, donc aux résultats les plus proches du rendement théorique ; l'hexane et l'éther de pétrole conduisent à des rendements presque identiques et qui sont de l'ordre de 50%.

1.3. Caractéristiques physico-chimiques

Nous avons évalué l'incidence de la nature du solvant d'extraction sur la qualité de l'huile.

Tableau XXXV : Caractéristiques physico-chimiques des huiles extraites avec différents solvants

Solvant d'extraction	Masse Volumique g.cm ³ (25,0°C)	Viscosité cSt (40,0°C)	Indice d'acide
1,1,1 -trichloro éthane	0,923	72,09	17,10
Chloroforme	0,924	70,97	10,39
Ether de pétrole	0,924	61,03	14,20
Hexane	0,914	34,87	10,28

Du tableau XXXV, regroupant les caractéristiques physico-chimiques des huiles étudiées, il ressort que :

- la masse volumique ne varie pratiquement pas en fonction du solvant d'extraction.

- l'hexane conduit à une huile 2 fois moins visqueuse que les autres solvants, il entraîne probablement moins de cires et autres composés lourds que ces solvants ;
- le chloroforme et l'hexane conduisent aux huiles les moins acides; il convient tout de même de signaler la valeur relativement élevée de cet indice, probablement à cause d'une mauvaise conservation des pulpes ayant servies à l'extraction de l'huile .

1.4. Composition en AG et TAG des huiles obtenues

Les huiles étudiées contiennent 3 acides gras majeurs représentant plus de 90 % des acides gras totaux. Ce sont les acides palmitique (P ou C16:0), oléique (O ou C18:1 n-9) et linoléique (L ou C18:2 n-6) ; vient ensuite l'acide stéarique (S ou C18:0) à environ 2-3 % (tableau XXXVI, figure 36). Les acides linoléique (Ln ou C18:3 n-3), arachidique (ou C20:0) et eicosaénoïque (ou C20:1 n-9) sont présents à des teneurs inférieures à 1 %.

Tableau XXXVI : Composition en acides gras (AG) majeurs et en triacylglycérols (TAG) majeurs des huiles de la pulpe de safou extraite dans différents solvants.

	Trichloro- éthane	Ether de pétrole	Chloroforme	Hexane
Acides gras				
C16 : 0	50,11	48,91	49,90	50,25
C18 : 0	4,31	4,27	4,21	2,61
C18 : 1 n-9	30,24	30,15	29,95	32,13
C18 : 2 n-6	13,14	14,59	13,58	13,74
Triacylglycérols				
PLL	3,29	4,24	4,08	4,50
POL	9,01	10,59	10,43	10,00
PPL	19,37	21,22	20,36	15,00
POO	20,60	19,92	20,86	14,80
PPO	47,73	44,28	44,28	58,30

On retrouve ici, pour les majeurs, le profil caractéristique de l'huile de la pulpe de safou tel qu'il émerge de la littérature (Silou, 1996 ; Kapseu *et al.*, 1999 ; Mbofung *et al.*, 2003) à savoir :

$$\% P > \% O > \% L.$$

On note la présence de 5 TAG majeurs dans les huiles extraites des pulpes avec une teneur cumulée de plus de 95 % des TAG totaux et un profil :

$$PPO > POO > PPL > POL > PLL.$$

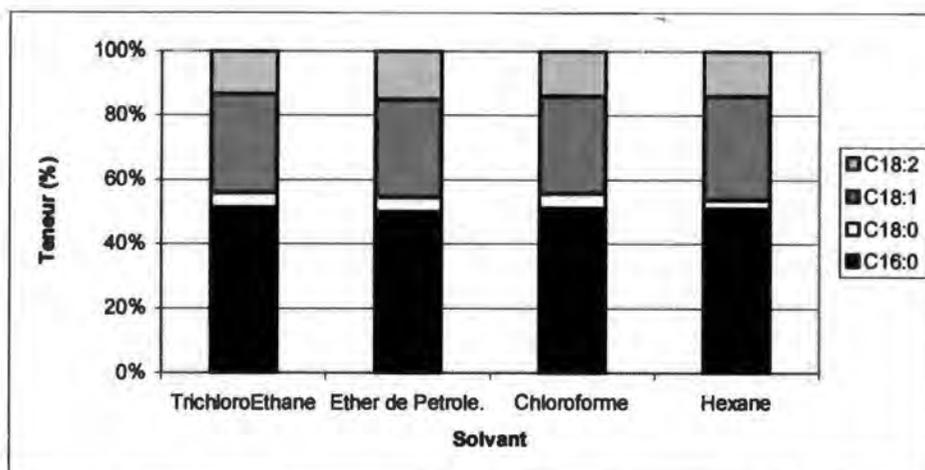


Figure 36 : Histogrammes représentant la teneur en AG des huiles extraites dans différents solvants organiques.

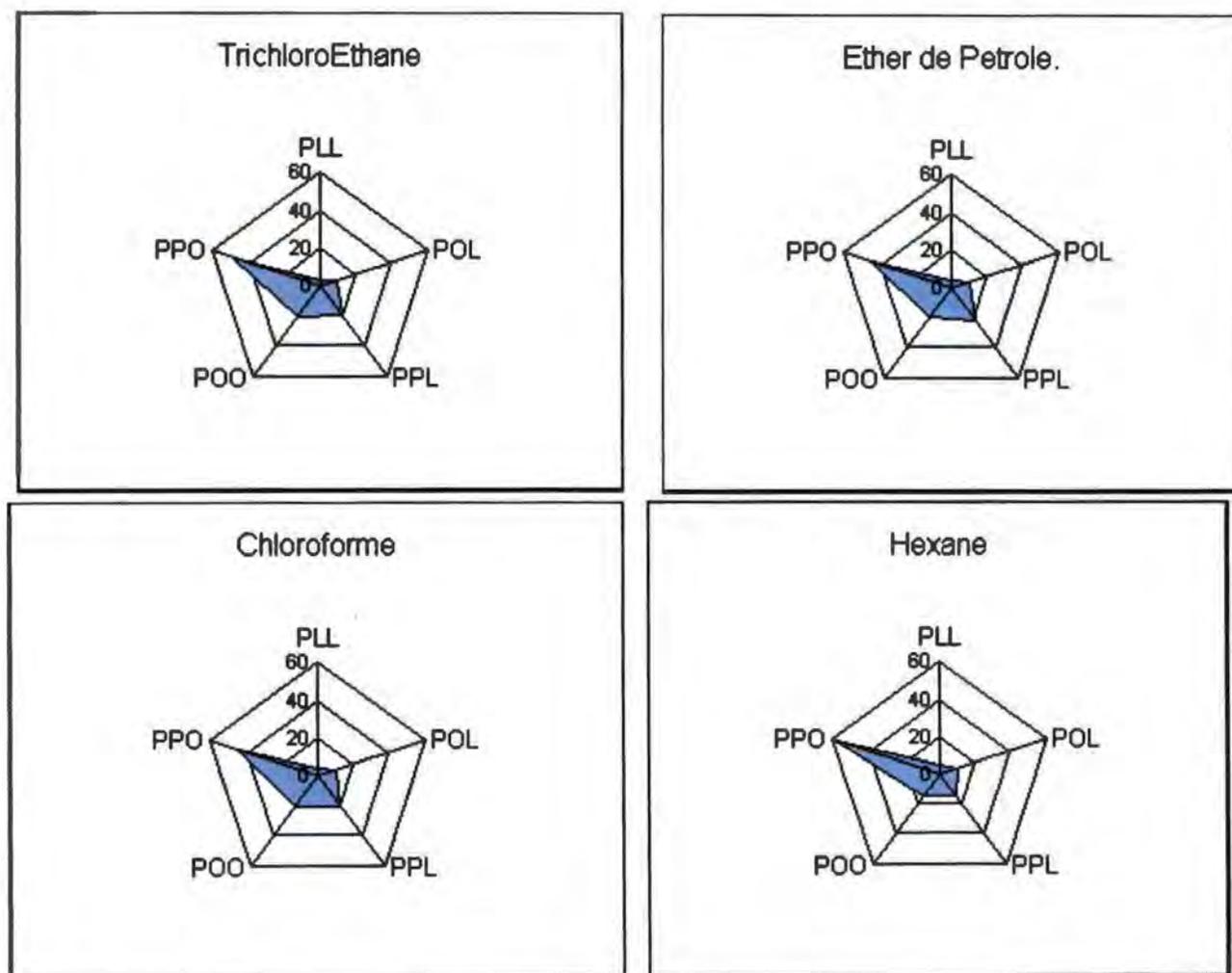


Figure 37 : Radar plots représentant la teneur en TAG des huiles extraites dans différents solvants organiques.

Il y a une parfaite identité de la composition des huiles extraites de la pulpe de safou avec différents solvant organiques.

1.5. Conclusion.

La durée d'extraction généralement limitée à 3 heures au laboratoire a été justifiée. La qualité physico-chimique de l'huile obtenue, qui ne varie pas de manière significative avec la nature du solvant d'extraction est conforme aux normes régissant les huiles alimentaires et concordent avec les résultats disponibles dans la littérature.

2. Evaluation de la stabilité de l'huile de la pulpe de safou.

2.1. Indicateurs de l'altération

Nous avons retenu 3 indicateurs physico-chimiques pour évaluer et suivre l'évolution du degré d'altération des corps gras étudiés.

Ce sont l'indice d'acide I_A , l'indice de peroxyde I_P et la teneur des différents AG constitutifs de ces huiles.

Toutefois nous avons évalué, dans un travail préliminaire, l'impact de la nature de l'huile et de la température de chauffage sur la stabilité de l'huile.

2.1.1. Indice d'acide

L'acidité d'une huile ou d'une graisse a au moins 2 origines.

Les acides gras sont naturellement présents dans la pulpe ou la graine des fruits oléagineux ; ils participent à la synthèse des lipides.

Il existe également dans les lipides des enzymes endogènes, qui, si elles ne sont pas désactivés au moment de l'extraction de l'huile, passe dans cette dernière ; ils sont responsables des réactions d'hydrolyse des acylglycérols (mono-, di-, et tri-), avec comme conséquence la libération des acides gras dans l'huile ou la graisse.

Les acides gras libres ainsi formés catalysent la réaction d'hydrolyse pour la formation des nouveaux acides gras libres et ainsi de suite ...

L'indice d'acide permet donc d'évaluer la qualité de l'huile au moment de l'extraction et de suivre son évolution dans le temps ou à l'issue des traitements technologiques particuliers.

2.1.2. Indice de peroxyde (I_p)

Les acides gras libres ou des acylglycérols participent à la réaction d'oxydation qui est la réaction d'altération la plus importante des huiles et des graisses.

Les acides gras libres sont plus sensibles à l'oxydation que les acylglycérols.

L'oxydation d'une huile ou d'une graisse se déroule selon le mécanisme radicalaire qui comprend : une étape d'initiation, une étape de propagation et une étape d'arrêt.

Il y a formation de peroxydes (ROOH, ROOR) intermédiaires qui évoluent vers des produits stables de l'oxydation (Dobargagnes, 1998) ; l'indice de peroxyde permet ainsi de mesurer le degré d'oxydation d'une huile ou une graisse.

2.1.3. Bilan des teneurs en constituant majeurs.

Les indicateurs vus plus haut rendent compte de l'altération globale de l'huile, ce ne sont donc que des méthodes indirectes d'évaluation de l'altération.

Les méthodes directes consistent à analyser et identifier les espèces chimiques nouvelles (ECN) apparues au cours de l'altération.

C'est une entreprise extrêmement complexe compte tenu du nombre élevé et de la variété de structures des ces ECN.

On peut contourner le problème en faisant le bilan des constituants, c'est-à-dire l'écart entre les teneurs initiales et finales des constituants, des constituants majeurs notamment (AG, TAG).

Par ailleurs, les huiles contiennent naturellement des colorants caroténoïdes (huiles rouges et jaunes) et chlorophylliens (huiles vertes). Après oxydation, ces colorants prennent la couleur brune. Une couleur trop foncée d'une huile peut être considérée comme indicateur qualitatif de l'état d'altération.

2.2. Influence de la nature de l'huile sur sa stabilité au cours du chauffage

2.2.1. Caractérisation des huiles étudiées

Compte tenu de la difficulté de définir de façon absolue, des critères d'altération, nous avons étudié l'huile extraite de la pulpe de safou en la comparant à deux huiles extrêmes, l'huile des graines de courge (*Lagenaria siceraria*) qui contient 81 % d'acides insaturés et l'huile de l'amande de *Irvingia gabonensis* qui a 88 % d'acides gras saturés.

Ce sont 3 corps gras suffisamment différents, aussi bien sur le plan physique que chimique.

Leurs caractéristiques physiques et chimiques sont reportées dans le tableau XXXVII.

L'huile de *Lagenaria siceraria* est un liquide jaune pale extrait des graines avec un rendement de 38%. Elle contient 1,6% d'insaponifiables avec un indice d'acide de 5,1 et un indice de peroxyde de 8,0.

Les acides gras suivants : C16 :0, C18 : 0, C18 :1, C18 : 2 constituent les principaux TAG de cette huile, à savoir : LLL , OLL, PLL, OOL, SLL.

Tableau XXXVII : Caractéristiques physico-chimiques des huiles utilisées dans l'étude de l'altération par chauffage à l'étuve.

	<i>Dacryodes edulis</i>				<i>Irvingia gabonensis</i>	<i>Lagenaria siceraria</i>
	Safou 1	Safou 2	Safou 3	Safou 4		
Etat physique	Semi-solide				solide	liquide
Couleur	Vert clair	Vert foncé	Vert foncé	Vert olive	jaunâtre	Jaune-pâle
Origine	pulpe				graine	graine
% huile	47 - 54				68	38
% insaponifiable	1,0 - 1,2				2,0	1,6
Indice d'acide	2 - 9				11,1	5,1
Indice de peroxyde	5,0 - 24,0				5,5	8,0
Indice réfraction	1,4670				1,4566	1,4873
Indice saponification	280 - 290				287	191
Acides gras, AG, (%)						
C12 : 0					38,39	
C14 : 0					41,85	
C16 : 0	42,51	48,9	50,3	48,1	6,93	12,02
C18 : 0	2,78	2,3	1,8	3,1	1,23	6,59
C18 : 1	30,00	22,6	22,3	25,4	6,34	6,99
C18 : 2	11,55	24,6	25,6	22,3	2,47	74,00
C18 : 3	0,49	1,7	-	1,1		0,39
Triacylgcérols (TAG) majeurs	PLL, POL, PPL, POO, PPO				LaLaLa, LaLaM LaMM	LLL, OLL PLL, OOL SLL

L'huile de *Lagenaria siceraria* est un liquide jaune pale extrait des graines avec un rendement de 38%. Elle contient 1,6% d'insaponifiables avec un indice d'acide de 5,1 et un indice de peroxyde de 8,0.

Les AG suivants : C16 :0, C18 : 0, C18 :1, C18 : 2 constituent les principaux TAG de cette huiles, à savoir : LLL , OLL, PLL, OOL, SLL.

Les 4 échantillons d'huile de la pulpe de *Dacryodes edulis* se présentent sous forme de liquide semi-solide verdâtre extrait de la pulpe avec un rendement de 47 - 54 %. Ils

contiennent 1,0 - 1,2 % de d'insaponifiables avec un indice d'acide de 2 - 9 et un indice de peroxyde de 5 - 24,0.

Les AG suivants : C16 :0, C18 : 0, C18 :1, C18 : 2 constituent les principaux TAG de ces huiles, à savoir : PLL, POL, PLL, OOL, SLL .

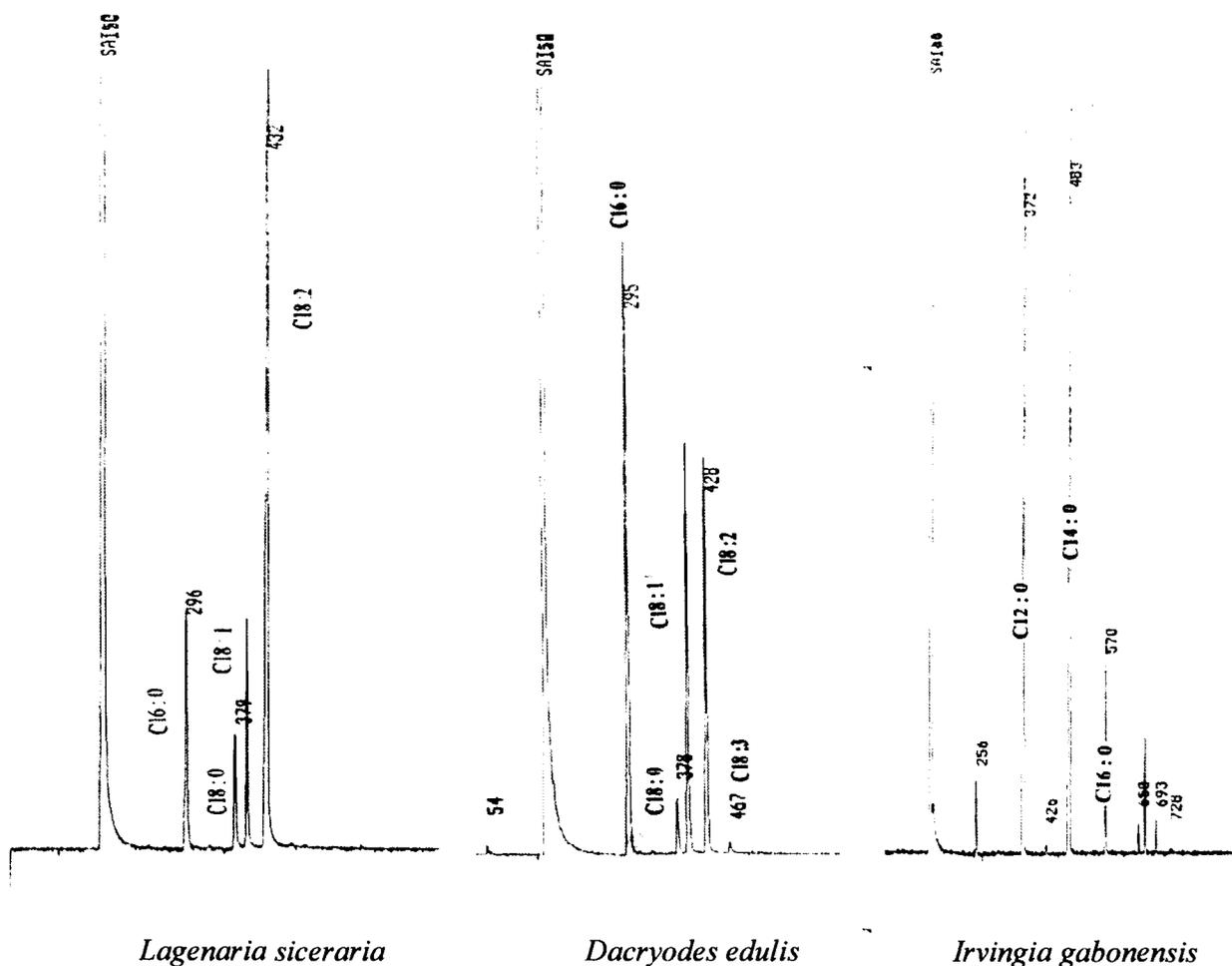
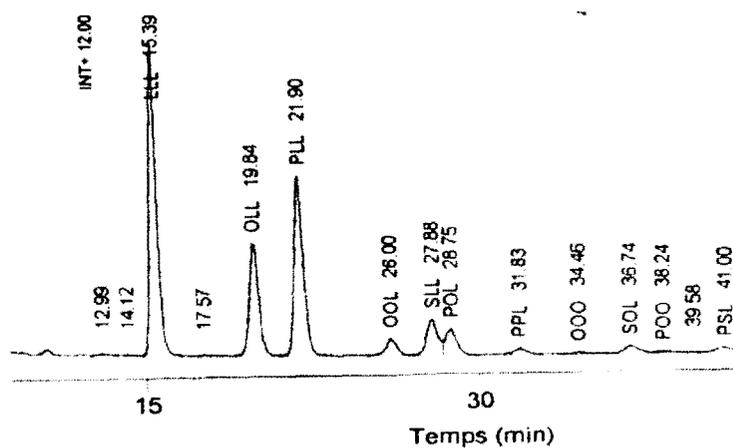
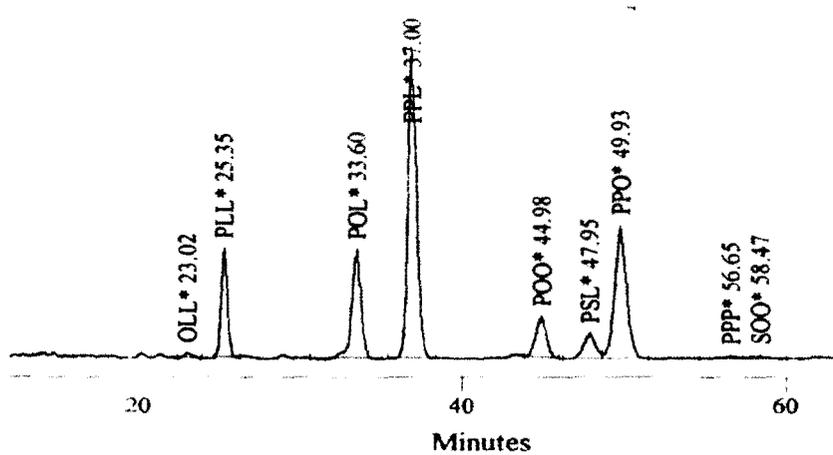


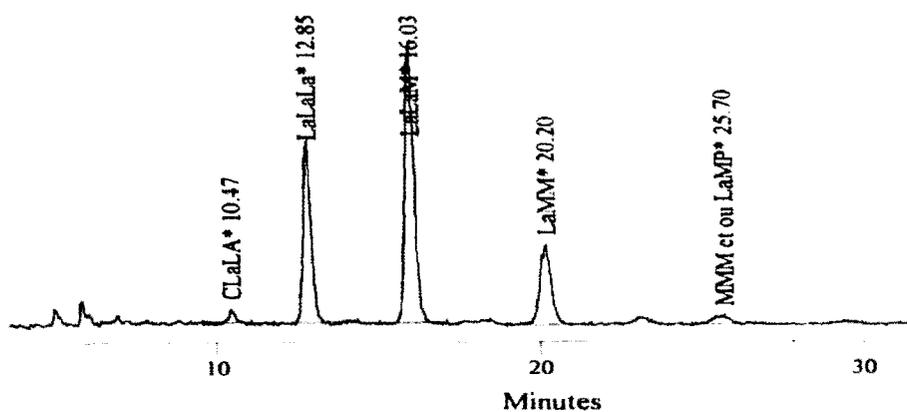
Figure 38: Chromatogrammes des acides gras (AG) des huiles et graisse étudiées



Lagenaria siceraria



Dacryodes edulis



Irvingia gabonensis

Figure 39 : Profils chromatographiques des acides gras (AG) des huiles et graisse étudiées (méthodes qualitative)

Le graisse de *Irvingia gabonensis* est un solide blanchâtre extrait des graines avec un rendement de 68 %. Elle contient 2,0 % d'insaponifiables avec un indice d'acide de 11,1 et un indice de peroxyde de 5,5.

Deux AG, C12 : 0 et C14 : 0 constituent les principaux TAG de cette graisse, à savoir : LaLaLa, LaLaM, LaMM .

Les chromatogrammes des figures 38 et 39 permettent de constater que les trois corps gras présentent des différences importantes aussi bien sur la qualité que la quantité des AG et des TAG.

Les huiles de *Lagenaria siceraria*, *Dacryodes edulis* et *Irvingia gabonensis* ont été chauffées dans des conditions rigoureusement identiques et les indices d'acide et de peroxyde ont été déterminés de manière identique.

2.2.2. Suivi comparé de l'altération des huiles par chauffage à l'étuve à 150°C.

Après 4 h de chauffage à 150°C, la variation la plus importante de l'indice d'acide (I_A) est observée pour *Lagenaria siceraria* ($R = 2,7$) alors que *Irvingia gabonensis* et *Dacryodes edulis* présentent un comportement identique ($R = 1,5$ et $1,3$; tableau XXXVIII).

En examinant la forme des courbes déduites du tableau XXXVIII, on constate qu'après une période de « latence » qui dure environ 1h, pour *Lagenaria siceraria* et 2 h pour *Dacryodes edulis* et *Irvingia gabonensis*, I_A se met à augmenter régulièrement, probablement à cause de l'hydrolyse des TAG constitutifs des corps gras étudiés (figurè 40).

Tableau XXXVIII : Variation des indices d'acides des différents échantillons d'huiles à T = 150°C.

Temps, t(h)	<i>Lagenaria siceraria</i>		<i>Dacryodes edulis</i>		<i>Irvingia gabonensis</i>	
	I_A	R	I_A	R	I_A	R
0	5,05	1	22,72	1	11,08	1
0,5	5,33	1,055	22,44	0,988	10,66	0,962
1	5,89	1,166	20,48	0,901	7,29	0,658
2	8,70	1,723	16,83	0,741	5,61	0,506
3	12,62	2,499	21,04	0,926	14,03	1,266
4	13,74	2,720	30,29	1,333	16,83	1,519

$$R = [I_A(t_{0h})] / [I_A(t_{4h})]$$

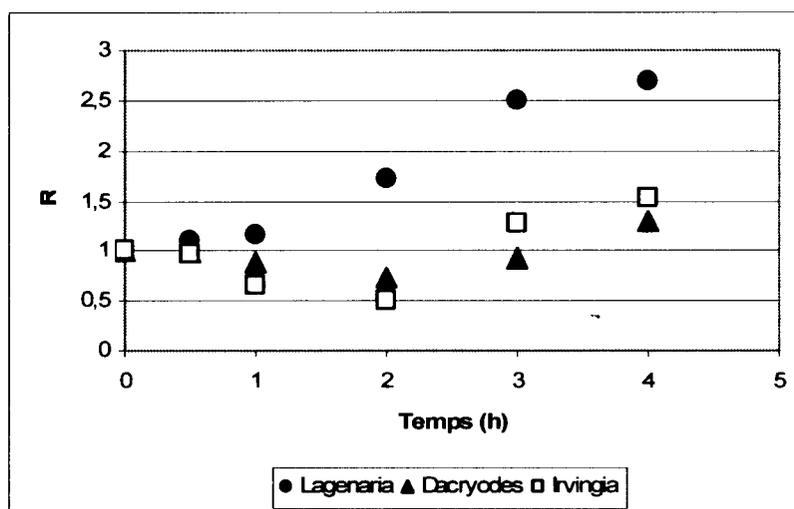


Figure 40 : Evolution des indices d'acide des huiles chauffées étudiées

L'indice de peroxyde (I_p) varie de façon inattendue (tableau XXXIX, figure 41). Alors que l'on s'attendrait à une augmentation régulière de I_p avec la durée de chauffage, on constate un processus en 2 temps :

- de 0 à 2 h, on observe le comportement attendu, c'est-à-dire I_p augmente pour *Lagenaria siceraria* ($R = 16$ et *Dacryodes edulis* ($R = 5$), et reste quasi constant pour *Irvingia gabonensis*. ($R = 1$). Ceci est en accord avec la variation de la teneur en AG insaturés : 80% pour *Lagenaria siceraria*, 40 % pour *Dacryodes edulis* et 10 % pour *Irvingia gabonensis*.
- de 2 à 5 h, on observe une brusque augmentation de I_p pour *Irvingia gabonensis* et une diminution de I_p pour *Lagenaria siceraria* et *Dacryodes edulis*

Une des explications possibles de ce comportement serait l'intervention des réactions autres que l'oxydation au cours de l'altération thermique des corps gras étudiés, notamment dans *Lagenaria siceraria* et *Dacryodes edulis* alors que l'oxydation serait toujours le phénomène largement majoritaire pour *Irvingia gabonensis*.

Tableau XXXIX : Variation des indices de peroxyde des différents échantillons d'huiles chauffées à T = 150°C

Temps (h)	<i>Lagenaria siceraria</i>		<i>Dacryodes edulis</i>		<i>Irvingia gabonensis</i>	
	I _p	R	I _p	R	I _p	R
0	8	1	24	1	5,5	1
0,5	18	2,3	39	1,6	4,0	0,7
1	110	18,8	99	4,1	3,0	0,5
2	132	16,5	116	4,8	4,0	0,7
3	11	13,9	100	4,2	62	11,2
4	80	10	67	2,8	163	29,6

$$R = I_p(4h) / I_p(0h)$$

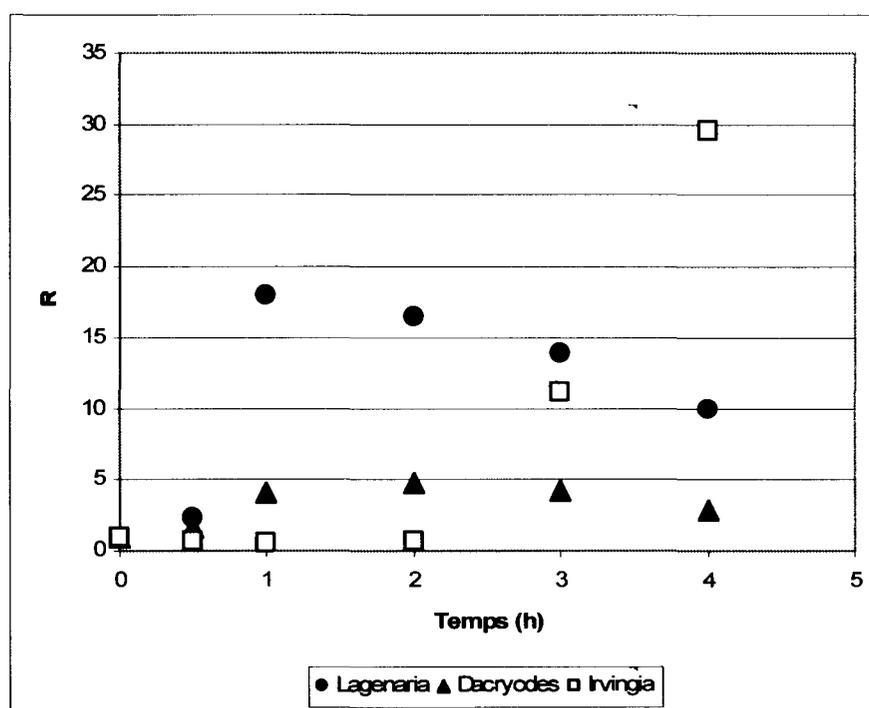


Figure 41 : Evolution des indices de peroxyde des huiles chauffées étudiées

2.3. Influence de la durée et de la température de chauffage sur la stabilité de l'huile de la pulpe de safou.

2.3.1. Chauffage de l'huile de la pulpe de safou 105°C en fonction de la durée de chauffage

De l'huile extraite de la pulpe de safou a été chauffée à 105°C sans interruption pendant 6 jours. La tendance de variation de I_A et I_P mis en évidence à 150°C a été confirmée à savoir :

- Croissance faible mais régulière de l'indice d'acide
- Passage par un maximum, suivi d'une décroissance et d'une stabilisation de la valeur de l'indice de peroxyde. (tableau XXXXI, courbes 42 et 43).

Tableau XXXX : Evolution des indices d'acide et peroxyde de l'huile de la pulpe de safou chauffée à 105°C pendant 6 jours (safou 1)

Durée (j)	I_A	I_P
0	6,3	13,7
1	6,7	74,0
2	9,4	113,0
3	11,5	59,9
4	11,5	48,9
6	12,6	46,7

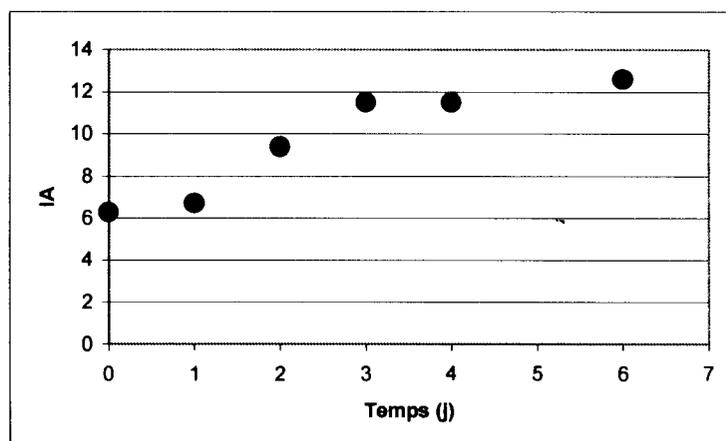


Figure 42: Variation de l'indice d'acide de l'huile de la pulpe de safou chauffée à 105°C pendant 6 jours

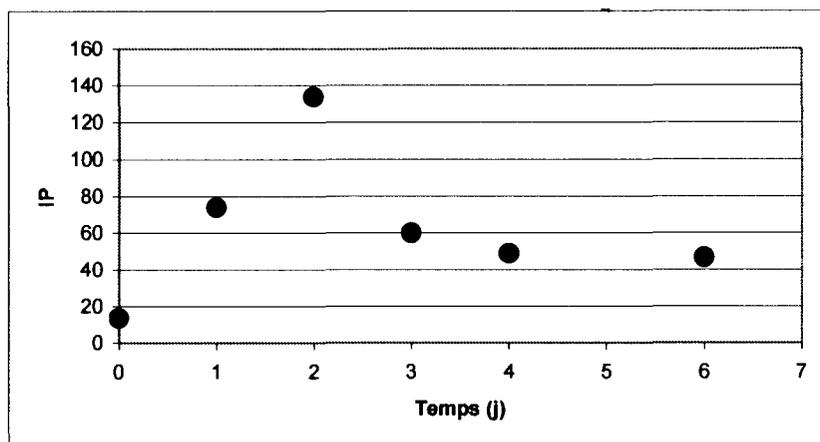


Figure 43: Variation de l'indice de peroxyde de l'huile de la pulpe de safou chauffée à 105°C pendant 6 jours.

2.3.2. Chauffage, à 105 °C, pendant 6 jours d'huiles de safou extraites au solvant à froid (méthode de Folch) ou à chaud (soxhlet)..

L'huile extraite des pulpes du « tout venant » des arbres du verger du SNR (safou 1), extraite suivant 2 méthodes (Folch et soxhlet) a été chauffée à 105 °C pendant 6 jours. Les indices d'acide et de peroxyde, la composition en acides gras déterminés à 0 et 6 jours sont reportés dans les tableaux XXXXI et XXXXII.

Tableau XXXXI : Valeurs de I_A et I_P de l'huile de l'échantillon safou 1 chauffée à 105°C pendant 6 jours.

Echantillon	Conditions expérimentales		Indice d'acide		Indice de peroxyde	
	Durée de chauffage (J)		0	6	0	6
Safou 1a	Extraction froid	Solvant de Folch*	6,9	11,8	13,7	37,3
Safou 1a'		CHCl ₃	7,6	12,3	10,5	25,7
Safou 1b	Extraction à chaud (soxhlet)	Solvant de Folch	6,8	10,1	12,6	67,2
Safou 1b'		CHCl ₃	6,3	12,6	13,7	46,7
Moyenne (Ecart type)			6,9 (0,5)	11,7 (1,7)	12,6 (1,7)	44,2 (17,5)
Coefficient de variation (%)			7,7	14,5	13,5	38,9

* Solvant de Folch (chloroforme – méthanol, 2 :1, V/V)

Sauf pour l'indice de peroxyde de l'huile chauffée pendant 6 jours à 105°C, les résultats obtenus présentent une bonne reproductibilité avec des coefficients de variation inférieurs à 15 %.

L'huile extraite par ces 2 méthodes sont quasi identiques, elles conduisent aux mêmes valeurs de I_A après 6 jours de chauffage ; l'hydrolyse des TAG, supposée être principalement

responsable de l'acidité de l'huile se passe de la même façon quelles que soit les conditions d'extraction utilisées.

Par contre la formation de peroxyde, après extraction, semble ne pas se faire à la même vitesse pour les 2 types d'huiles ; l'huile extraite à chaud présente, après 6 jours de chauffage, un indice de peroxyde globalement 2 fois plus élevé que celle extraite à froid.

Tableau XXXXII : Evolution de la composition en acides gras au cours du chauffage à 105°C pendant 6 jours

Acides gras	Huile non chauffée (safou1)	Huile chauffée (6j à 105°C)			
		Safou 1a	Safou 1a'	Safou 1b	Safou 1b'
C16 :0	48,80	61,98	59,19	61,12	62,79
C18 :0	2,10	3,56	3,52	3,60	3,64
C18 :1	28,00	24,94	26,68	24,60	24,61
C18 :2	20,30	3,23	3,54	2,19	2,60
C18 :3	0,90	0,00	0,11	0,07	0,44

L'huile chauffée de manière continue à 105°C pendant 6 jours subit une altération relativement sévère. Sa teneur en C18 : 2 passe globalement de 20 à 3 %, soit une division de l'ordre de 10 et C18 :3, présent à environ 1% dans l'huile non chauffée, disparaît pratiquement dans l'huile chauffée.

Les acides gras qui n'ont subi aucune altération voient leur teneur augmenter du fait de la diminution de la quantité des AG totaux.

La température d'extraction et la nature du solvant d'extraction n'ont aucun effet sur le comportement futur de l'huile au cours du chauffage.

2.3.3. Chauffage pendant 1 jour de l'huile de safou à différentes températures.

Les résultats de la variation de I_A et I_P au cours du chauffage de l'huile de l'échantillon safou 1 pendant 1 jour à différentes températures ; sont regroupés dans le tableau XXXXIII (figure 44).

Tableau XXXXIII : Valeurs de I_A et I_P de l'huile de l'échantillon safou 1 chauffée à différentes températures (°C) pendant 1 jour.

Température (°C)	Indice d'acide	Indice de peroxyde
27 *	6,3	13,7
105	6,7	74,0
120	16,3	20,5
150	15,7	31,0
180	23,8	-

* indice de l'huile de départ à température ambiante (huile non chauffée).

Ces indices qui, pour l'huile de départ valent respectivement 6,3 et 13,7 augmentent de manière régulière pour I_A et passe par un maximum pour I_P ;

On retrouve le comportement déjà observé lors du suivi de l'évolution de I_A et I_P en fonction de la durée de chauffage.

Ces observations suggèrent :

- une production faible, mais continue d'acides gras très vraisemblablement par hydrolyse lorsque la durée de chauffage augmente pour des températures modérées de chauffage ($< 120^\circ\text{C}$)
- une décomposition rapide de peroxydes qui se forment plus ou moins rapidement, après extraction de l'huile.

Il ressort très nettement de cette étude qu'il est délicat de discuter les valeurs absolues de ces 2 indices ; ce qui justifie *à posteriori* notre option pour une discussion de l'évolution de valeurs relatives de ces 2 indicateurs d'altération.

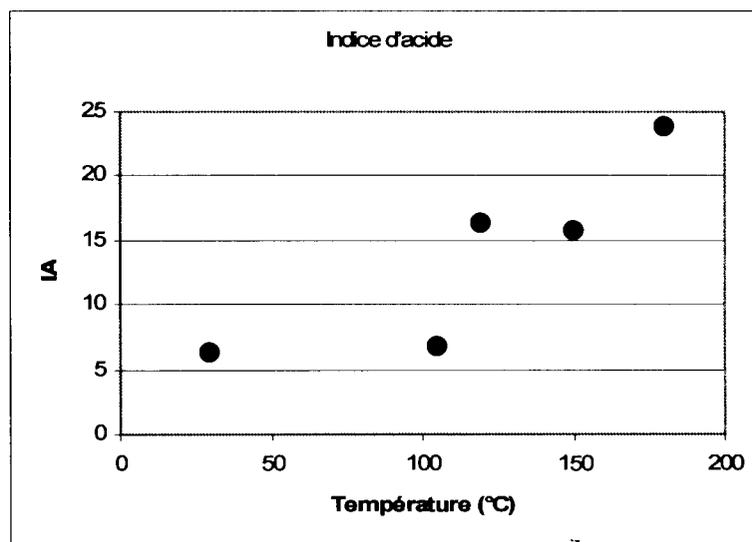


Figure 44 : Variation de l'indice d'acide de l'huile de la pulpe de safou chauffée pendant 1 jour à différentes températures.

L'augmentation de la température de chauffage pour même durée de chauffage produit le même effet que l'augmentation de la durée de chauffage pour une même température à savoir (tableau XXXXIV, figure 45) :

- Stabilité de la teneur en C18 : 1 ;
- Baisse importante de la teneur en C18 : 2 ;
- Disparition de C18 : 3 ;
- Augmentation apparente de C16 : 0.

Tableau XXXXIV : Evolution de la composition en acides gras avec la températures de chauffage (safou 1b, 1 jour)

Acides gras	Huile non chauffée	Huile chauffée (Safou 1b)			
		105°C	120°C	150°C	180°C
C16 :0	48,8	48,78	55,75	53,62	58,52
C18 :0	2,1	2,90	3,34	3,18	3,47
C18 :1	28,0	28,91	27,99	28,18	26,03
C18 :2	20,3	15,55	6,98	8,59	5,84
C18 :3	0,9	0,48	0,10	0,14	0,07

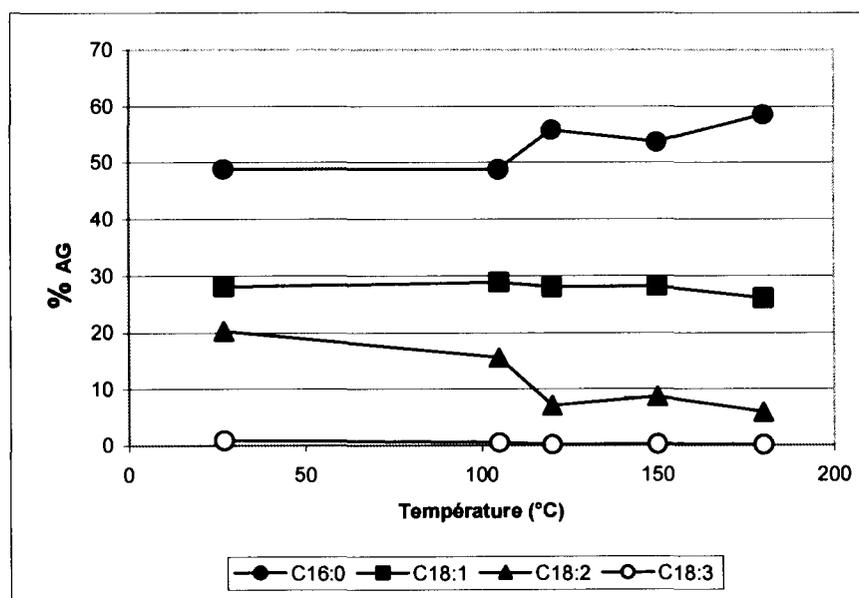


Figure 45 : Evolution de la composition en acides gras avec la température de chauffage (safou 1b, 1 jour)

A une température donnée (150°C), les résultats de l'échantillon 1 étendus à 3 autres échantillons (2, 3 et 4) confirment le comportement de l'huile de la pulpe de safou au chauffage (tableau XXXXV).

Tableau XXXXV : Evolution de la composition en acides gras des huiles chauffées à 150°C de différents échantillons (safou 1b, 1 jour)

AG (%)	Safou 1	Safou 2	Safou 3	Safou 4
C16:0	53,62	80,0	67,4	59,9
C18:0	3,18	3,7	0,3	3,0
C18:1	28,18	9,6	23,0	24,8
C18:2	8,59	6,7	9,3	12,4
C18:3	0,14	0,0	0,0	0,0

2.3.4. Conclusion

Il ressort de l'étude exploratoire de l'évaluation globale de l'état d'altération de l'huile chauffée extraite de la pulpe de safou que :

- l'hydrolyse des TAG est négligeable pour les températures inférieures à 100°C, si l'on se réfère à la faible variation de I_A dans le temps, à la température de chauffage de 105°C.
- le comportement des peroxydes est plus difficile à suivre à l'aide de l'évolution de I_P ; en effet la formation importante et assez rapide des peroxydes juste après l'extraction de l'huile, semble être suivie d'une décomposition aussi importante et aussi rapide de ces mêmes peroxydes, suggérant ainsi l'idée d'une grande instabilité de la majorité de ces molécules. Elles sont, de ce fait, difficilement décelables avec une certaine fiabilité.

Cette incertitude nous a logiquement amené à examiner le comportement des autres réactifs de la réaction de peroxydation des huiles que sont les acides gras insaturés libres ou impliqués dans des acylglycérols.

Par ailleurs lorsque l'on procède au bilan de la composition en acides gras au cours de l'étude des huiles chauffées, il faudrait être parfaitement conscient du fait que :

- d'une part, l'altération des AG se fait sur les TAG qu'ils constituent, ce qui pose le problème de réactivité dans cette matrice ;

- et d'autre part que la transtérification de ces AG altérés à côté de ceux non altérés ne pourrait poser des problèmes analytiques inédits en chromatographie en phase gazeuse.

Finalement, les résultats indiquent les grandes tendances qui sont tout à fait suffisantes pour les objectifs assignés à ce travail (figure 46, 47) ; ils ne sauraient donner lieu à une discussion fine, compte tenu de la grande complexité du problème de l'étude des huiles chauffées amplement évoquée dans la littérature (Naudet, 1977 ; Ottaviani et al 1979a, 1979b ; Debarganes, 1998).

#	Nom du pic	Tr.	Aire	% Aire
1		24,35	404,25	46,67
2		28,81	32,34	3,64
3		29,70	239,75	27,02
4		31,15	210,81	23,76
SOMME			887,15	100,00

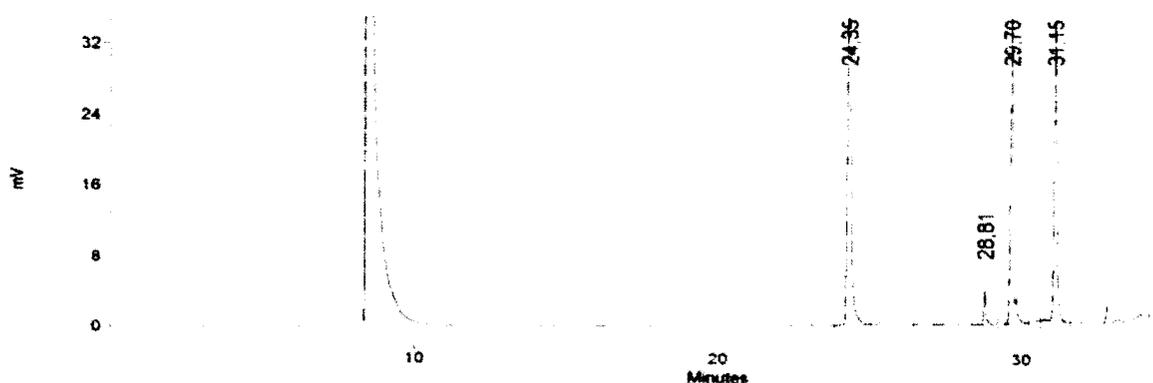


Figure 46 : Chromatogramme des acides gras de l'huile de la pulpe de safou 1 non chauffée

#	Nom du pic	Tr.	Aire	% Aire
1		24,57	983,47	56,43
2		28,98	55,88	3,21
3		29,66	525,05	30,13
4		31,28	178,47	10,24
SOMME			1742,86	100,00



Figure 46 : Chromatogramme des acides gras de l'huile de la pulpe de safou 1
Chauffée à 105°C pendant 24h.

IV. CONCLUSION

L'étude comparée du comportement de *Lagenaria siceraria* (80% d'acides gras insaturés), *Dacryodes edulis* (50 % d'acides gras insaturés) *Irvingia gabonensis* et (10 % d'acides gras insaturés) au chauffage a permis d'établir que l'altération thermique à des températures inférieures à 200°C est fortement corrélée à la teneur en acides gras poly insaturés (C18 :2 et C18 :3). Cette altération peut être suivie par la mesure de l'indice d'acide alors que l'indice de peroxyde ne conduit aux résultats attendus qu'aux instants initiaux du phénomène (1 à 2 h pour un chauffage aux voisinage de 100°C), à cause probablement de la grande instabilité des peroxydes formés.

Le bilan en AG avant et après chauffage donne une preuve directe de cette corrélation.

L'augmentation de la température de chauffage pour une même durée de chauffage produit le même effet que l'augmentation de la durée de chauffage pour une même température à savoir :

- Stabilité de la teneur en C18 : 1 ;
- Baisse importante de la teneur en C18 : 2 ;
- Disparition de C18 : 3 ;
- Augmentation apparente de C16 : 0.

CONCLUSION GENERALE

L'Equipe Pluridisciplinaire des Recherche en alimentation et Nutrition (EPRAN) développe depuis plus d'une décennie un vaste programme sur la valorisation de la filière safou, notamment à travers : l'évaluation de la production nationale de safou et des pertes post-récoltes, le recensement et évaluation des modes traditionnels de conservation, de transformation et de consommation du safou, la caractérisation des « variétés » actuellement cultivées, sur le plan morphologique, physico-chimique et organoleptique des fruits, en vue de repérer les fruits les plus intéressants pour la production d'huile à haute qualité nutritionnelle, l'étude socio-économique de la filière safou, la caractérisation et l'évaluation de l'intérêt socio-économique et nutritionnel des vergers urbains.

Le but du présent travail a été de délimiter le champ d'étude pour cet ambitieux programme, avec comme problématique central : **l'évaluation de manière globale et pluridisciplinaire des contraintes** à surmonter au cours du processus de production de l'huile, de la matière première au produit fini ; les objectifs spécifiques étant : la mise au point d'une méthode de quantification de la production de safous dans une zone écologique donnée (cas du district de Boko), la caractérisation les fruits sur le plan morphologique, physicochimique et nutritionnel ; et l'évaluation les potentialités technologiques des fruits pour l'extraction de l'huile à partir de la pulpe (extraction, composition, stabilité).

Nous avons mis au point, au cours de ce travail, une méthodologie d'évaluation de la taille et de la production des vergers en milieu rural, et évaluer sur la base de cette méthodologie la production de safou dans le district de Boko.

Nous avons également récolté des échantillons de fruits représentatif du district à des fins de caractérisation de la ressource, éventuelle matière première d'une activité d'huilerie artisanale et pourquoi pas industrielle. Les fruits du district de Boko sont, dans leur grande majorité, de type allongé (ellipsoïdal), avec un calibre moyen de l'ordre de 6 cm x 3 cm.

Ils forment donc un groupe relativement homogène sur le plan morphologique.

Ces fruits s'inscrivent bien dans le profil du fruit couramment rencontré sur les marchés de l'Afrique Centrale.

Comme la morphologie, la composition de safous du district de Boko varie assez faiblement d'un fruit à un autre, d'un arbre à un autre ;

Ils constituent également un groupe homogène si l'on se réfère à leur composition globale et à la composition des huiles extraites de la pulpe.

En fin de compte, il apparaît que la culture du safou, orientée par le marché, a réduit la biodiversité aussi bien sur le plan morphologique que chimique. Il y a eu une standardisation, peut-être involontaire, du calibre et de la composition du fruit ; ce qui peut être un atout pour l'amélioration et la sélection du safoutier.

De ces fruits, imposés par la demande, on peut retenir les meilleurs pour les reproduire à l'identique par voie végétative, par le marcottage par exemple.

Toutefois, on peut, au terme de cette étude, esquisser le profil du fruit idéal pour l'huilerie : teneur en protéines < 10 % ; teneur en huile > 50 % ; teneur en C16 : 0 < 50 % ; teneur en C18 : 1 ~ 25 % ; teneur en C18 : 2 ~ 25 %.

Les études des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou jusqu'à présent ont été réalisées par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) avec ou sans lipolyse enzymatique ou chimique préalables. Nous avons étendue au safou une méthode originale mise au point par Farines et al. (1998).

L'analyse régiospécifique des triacylglycérols par spectrométrie de Résonance Magnétique Nucléaire (R.M.N) du carbone 13 conduit à des résultats obtenus corroborant ceux de la littérature obtenus par les méthodes classiques et confirment en particulier l'occupation de la position centrale dans différents TAG par C18 : 1 et C18 : 2 et à des proportions respectivement de 54 % et de 45 %.

La simulation du vieillissement naturel par chauffage modéré a permis d'établir, par analyse directe des acides gras, avant et après chauffage, que l'augmentation de la température de chauffage pour même durée de chauffage produit le même effet que l'augmentation de la durée de chauffage pour une même température à savoir : stabilité de la teneur en C18 : 1 ; baisse importante de la teneur en C18 : 2 ; disparition de C18 : 3 et augmentation apparente de C16 : 0.

Nous espérons ainsi avoir balisé le chemin pour des études plus ponctuelles et plus approfondies des différents maillons du procédé de production de l'huile à partir de la pulpe de safou au Congo

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, 1981. Recueil des normes Françaises, corps Gras, graines oléagineuses, produits, AFNOR. Paris (France) 2^e édition.

Ali A., Koumpo I., Kamdem Kenmegne A., Silou Th., Séchage de la pulpe safou pour sa valorisation, *Fruits*, 1997, 52 : 167 -176

Awono, A., Ndoye, O., Schreckenber, K., Tabuna, H., Isseri, F. and Temple, L. Production and marketing of Safou (*Dacryodes edulis*) in Cameroon and internationally: Market development issues. *Forest, Trees and Livelihoods*, 2002. 12: 125–147.

Bézar J, Silou T, Kiakouama S, Sempore G, Variation de la fraction glycéridique de l'huile de la pulpe de safou avec l'état de maturité du fruit, *Rev Fr. Corps Gras* , 1993, (7 /8) : 233 - 241.

Blaise P., Wolf R., Farines M., Etude régiospécifique des TAG d'huiles végétales par clivage chimique et RMN 13C haute résolution, *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 1997, 4 : 135 - 141.

L. Blondel, J. Cassin, Influence des facteurs écologiques sur la qualité des fruits de clémentinier de Corse. Fluctuation de l'extrait sec. *Fruits*, 1972, 27, (6) : 425-432

Bourdeaut J., Le safoutier (*Pachylobus edulis*), *Fruits*, 1971, 26, (10) : 663 – 666.

Cohen E., The chemical composition and sensory flavour quality of “Mineola” tangerines. I. Effects of fruit size and within tree position, *J. Hort. Sci.*, 1988, 63, (1): 175-178

Debarganes C., Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils, *OCL*, 1998 , 5, (1): 41 – 47.

Farines M., La Résonance magnétique nucléaire: un atout pour l'analyse des lipides, *Oléagineux Corps Gras Lipides*, 1998 , 5 : 291 – 293.

Fellahi E., Moon Jr J.W., Moussavi Z. , Quality and element content of citrus fruit from exposed and internal canopy position, *J. Plant Nutrition*, 1989, 12 (8): 939-951.

Gaillard J.P., Cassin J., Arias N., Ciccoli H., Contribution à l'étude de l'échantillonnage des agrumes. I. Monographie de la récolte d'un clémentinier, *Fruits*, 1976, 31(1) : 31-59

Héron S, Tchaplà A.,. Choix des phases stationnaires et mobiles pour la séparation en chromatographie en phase liquide de triglycérides de corps gras. *Analisis*, 1994a ,22 : 114-126.

Héron S, Tchaplà A, , Utilisation d'un modèle d'interaction moléculaire pour l'optimisation de la separation des triglycérides de corps gras en CLPI. *OCL*, 1994b, 1 (3) : 219-228

Jah S.N., Kingsly A.R.P., Chopra S., Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity, *Journal of Food Engineering*, 2006, 72: 73 – 76.

Kapseu, C. Tchiegang, Composition de l'huile des fruits de deux cultivars de safou au Cameroun, *Fruits*, 1996, 51 (3) : 185 – 191

Kapseu C., Mapongmetsem P.M., Silou Th., Roques M., Physicochimie du fruit du safoutier (*Dacryodes edulis*) camerounais, *Tropicultura*, 1999, (16 -17) : 37-42.

Kapseu, C., Avouampo, E. and Djeumako, B. Oil extraction from *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam fruit. *Forests, Trees and Livelihoods*. 2002, 11: 97-104.

Kengue J., 2002. , Safou (*Dacryodes edulis*). Monographie. Centre International des cultures sous utilisées, Southampton, 150p.

Kinkéla T, Bézard J., Etude de la structure des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou (*Dacryodes edulis*), *Rev. Fr. Corps Gras*, 1993, 40 (11/12) : 273 - 382.

Kinkéla T., 2003. Etude de la fraction triglycéridique de l'huile de safou (*Dacryodes edulis*) et évaluation in vitro de son intérêt nutritionnel pour les populations d'Afrique centrale. Thèse de Doctorat d'Etat., Université Marien Ngouabi, 130p.

Kinkela T, Silou T, Composition en acides gras et en triacylglycérols de l'huile de la graine de safou, *Journal de la Soc.Ouest Afr. Chimie*, 2003, 17 : 20 –31.

Kinkéla T. Kama Niamayoua R., Mampouya D., Silou Variation in morphological characteristics, lipid content and chemical composition of safou (*Dacryodes edulis*) according to fruit distribution. A case study. *African Journal of Biotechnology*, 2006, 5 (12): 1233 – 1238.

Ladipo D. O. , Adewusi H.G., Omaliko C. P. E., Sarumi M. B., Adebisi A; A., Gbadamosi L. M., Okeke A. I. & Asiegbu J. E. *Dacryodes edulis* germplasm collection from southern Nigeria, 3^{ème} séminaire international sur la valorisation du safoutier et autres oléagineux non conventionnels 3 – 5 /10/00 Yaoundé, J. Kengue, C. Kapseu, G. J. Kayem, Editeurs 2002, , pp: 93 – 105.

Laroussilhe (de) F., Schowb R., Wolf J.P. le sfou, source de matière grasse. Premier congrès International des industries agricoles des zones tropicales et subtropicales, 1964, Abidjan 14 - 19 décembre.

Leakey, R.R.B., Atangana, A.R., Kengni, E., Waruhiu, A. N., Usuro, C., Anegbeh, P. O. and Tchoundjeu, Z. Domestication of *Dacryodes edulis* in West and Central Africa: Characterisation of Genetic Variation, *Forests, Trees and Livelihoods* (Special Issue on *Dacryodes edulis*), 2002., 12: 57-72.

Litchfield C, 1972, Analysis of triglycérides, New York, London, Academic Press.

Loemba Ndembi J, Silou T, Etude des alcools triterpéniques de la fraction insaponifiable de l'huile de la pulpe de safou (*Dacryodes edulis*), 2006, 21, xx-xx

Mampouya D., Contribution à l'optimisation de l'extraction de l'huile de la pulpe de safou. Incidence des traitements technologiques sur la qualité de l'huile, Thèse de Doctorat UMNG , Brazzaville , 2006,

Mars A., Abderrazak R., Marrakchi M., Etude de la variation intra-arbre de la qualité des fruits d'agrumes récoltés sur un même arbre. I. Effets de la date de récolte , de l'orientation des fruits et de leur position sur la frondaison, Fruits, 1994, 49 (4) : 269-278

Mbofung, C.M.F., Silou, T. and Mouragadja, I. Chemical characterisation of Safou (*Dacryodes edulis*) and evaluation of its potential as an ingredient in nutritious biscuits. Forests, Trees and Livelihoods. 2002, 12: 105-118.

Mettrick H., 1994, Recherche agricole orientée vrs le développement, ICRA/CTA, Wageningen, Pays Bas .

Mialoundama F., Avana M-L., Youmbi E., Mampouya P.C., Tchoundjeu Z., Mbenyo M., Galamo G.R., Bell J.M., Kopguep F., Tsobeng A.C. & Abega J. Vegetative propagation of *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J.Lam by marcots, cuttings and micropropagation. Forests, trees and Livelihoods, 2002, 12 : 85-96.

Mialoundama F., Mampouya P.C. & Galamo G.R. Optimisation des conditions de marcottage du safoutier (*Dacryodes edulis* «G. Don» H.J.Lam). Note de recherche, Cahiers d'Agriculture, 2001, 10: 335-338.

Mollet M., Tiki-Manga T., Kengué J., Tchoundjeu Z., The ten top species in Cameroon: a survey of famers' views on trees, Agroforestry to day, 1995, july-December 14 – 16.

Naudet M., 1977, Etudes sur les huiles Chauffées, III. Constitution chimiques des produits d'altération thermooxydative, Rev. Fr. corps gras , 10 : 489 – 492.

Nwifo M.,F., Emberi ,L.C.& Mwimu N.Y., Post harvest rot deseases of the african pear (*Dacryodes edulis*) ; in south Eastern Nigeria .Trop.Sci. 1989, (29) 4:247.

Okafor J.C., Varietal delimitation in *Dacryodes edulis* (G Don) HJ LAM (Burseraceae). Int.Tree Crop J. 1983, 2: 255-265.

Okolie P.,N. & Bonken N., O. Implication of cell degrading enzymes in the heart induced softening of African pear (*Dacryodes edulis*) .J. Sci. Food Agric. 1992, 59: 59- 63.

Omoti U.& Okiy A.D. , Characteristics and composition of pulp oil and cake of african pear *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J.LAM., J. Sci. Food Agric. 1987, 38, 67-72.

Ottaviani P., Graille J., Biasini S, Perfetti P., Naudet M., Produits d'altération thermooxydative des huiles chauffées. I. Fractionnement analytique des esters méthyliques totaux, Analusis, 7(3) : 127 – 132.

Ottaviani P., Graille J., Perfetti P., Naudet M., Produits d'altération thermooxydative des huiles chauffées. II. Composés apolaires ou faiblement polaires, Chemistry and Physics of lipids , 24 : 57 - 77.

Philippe J., Essai de reproduction végétative du safou. Bull. Inf. INEAC 1957, VI (5): 319-327.

Silou T., Moussata C.O., Essai de décoloration thermique de l'huile de la pulpe de safou. Rev. Fse.Corps gras, 1991a, 38, (9 – 10) : 315 – 320.

Silou T. , Goma – Maniongui T., P. Bounou P., Ouamba J.M., Etude du séchage de la pulpe de safou ; résultats préliminaires, Tropicultura, 1991b, 9(2) : 61 – 68.

Silou T., Kiakouama S. Bézard J. Semporé G. Note sur la composition en acides gras et en triglycérides de l'huile de safou en relation avec la solidification partielle de cette huile. Fruits, 1993, 46(3) : 271 – 276.

Silou T. et Bitoungui J.P. et Mavah G., Mesure du ramollissement naturel de la pulpe de safou par pénétrométrie. Fruit, 1995, 50 : 375-378.

Silou T., Le safoutier (*Dacryodes edulis*), un arbre mal connu. Fruits, 1996, 51 : 47 – 60.

Silou T., Avouompo E, Perspectives de production d'huile de safou, Bulletin Africain Bioressources, Energie, Développement, Environnement, 1997, 8/ 7 – 13.

Silou Th., Kama-Niamayoua R., Contribution à la caractérisation des safous (*Dacryodes edulis*) d'Afrique centrale V. Note sur l'étude régiospécifique des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou par spectrométrie RMN ¹³C. Résultats préliminaires. 1999a, 6(5) : 349 – 353.

Silou Th., Mampouya D.,Loka Lonyange W.D., Saadou M., , Composition globale et caractéristiques des huiles extraites de 5 espèces de de cucurbitacées du Niger, Rivista Italiana delle della sostenze Grasse, 1999b, 76 : 141 – 144.

Silou T., Rocquelin G., Gallon G. et Molagui T., Contribution à la caractérisation des safous (*Dacryodes edulis*) d'Afrique Centrale. Note II- Composition chimique et caractéristiques nutritionnelles des safous du district de Boko (Congo-Brazzaville). Variation inter-arbre, Rivista Italiana delle Sostanze Grasse, 2000a, 77 : 85-89.

Silou T., Kama-Niamayoua R., Mampouya D., Kinkela T. & Hernalestein L., Contribution à la caractérisation des safous (*Dacryodes edulis*) d'Afrique centrale : importance de la culture et caractéristiques morphologiques des fruits de safoutiers dans le district de Boko au Congo-Brazzaville. Bulletin africain Bioressources ,Energie, Développement, Environnement, 2000b, 12 : 21-29.

Silou T, Massamba D,Goma Maniongui J, Maloumbi Mg, Biyoko Sr, Post harvest losses by natural softening of safou pulp (*Dacryodes edulis*) in Congo-Brazzaville, Journal of Food Engineering 2006a, 79(2): 392 - 400.

Silou T., Bopoundza C., Massamba D. , Caractérisation morphologique et physico chimique des fruits issus du verger safoutier (*Dacryodes edulis*) de Brazzaville, Séminaire International sur le safoutier et autres oléagineux non conventionnels, 2006b, Franceville, 20 – 24 Novembre.

Silou T., Biyoko SR, Massamba D., Mampouya D., Kinkéla T., Caractérisation morphologique et physicochimique des safous (*Dacryodes edulis*) récoltés sur 150 arbres de la région du Kouilou au Congo-Brazzaville, Séminaire International sur le safoutier et autres oléagineux non conventionnels, 2006c, Franceville, 20 – 24 Novembre.

Silou T., Ondo Azi S.A., Ella Missang C., Caractérisation morphologique et physicochimique des safous (*Dacryodes edulis*) récoltés sur 215 arbres de la région de Franceville, Gabon, Séminaire International sur le safoutier et autres oléagineux non conventionnels, 2006d, Franceville, 20 – 24 Novembre.

Silou T., Tshiombé, Caractérisation morphologique et physicochimique des fruits issus du verger safoutier (*Dacryodes edulis*) de Kinshasa, Séminaire International sur le safoutier et autres oléagineux non conventionnels, 2006e, Franceville, 20 – 24 Novembre.

Soulier B. Contribution à l'étude des huiles de la pulpe et de la graine de safou, Mémoire de DEA Université de Perpignan, 1987, 48p.

Tchendji C., Severin M., Wathelet J.P. Deroanne C., Composition de la graisse de *Dacryodes edulis*, Rev. Fr corps gras, 1987, 28 : 123 -125.

Tchotsoua M., Mapongmetsen P.M., 1997, Le safoutier (*Dacryodes edulis*), zones écologiques et commercialisation des fruits au Cameroun. In Kapseu C., Kayem G.J. Editeurs, 2^{ème} séminaire international sur la valorisation du safoutier, Université de Ngaoundéré, Presse Universitaires de Yaoundé, pp 261 – 272.

Tchoundjeu, Z., Kengue J. and Leakey, R.R.B. Domestication of *Dacryodes edulis*: state-of-the art, Forests, Trees and Livelihoods, 2002, 12: 3-14.

Waruhiu, A.N., Kengue, J., Atangana, A.R., Tchoundjeu, Z. and Leakey, R.R.B. Domestication of *Dacryodes edulis*: 2. Phenotypic variation of fruit traits in 200 trees from four populations in the humid lowlands of Cameroon. Food, Agriculture & Environment, 2004, 2: 340-346.

ANNEXES

1. Articles scientifiques

2. Fiche d'enquête

3. Guide de l'enquêteur

1. Articles scientifiques

Silou Th., Kama-Niamayoua R., Mampouya D., Kinkela Th., Hernalesteen L., 1999. Contribution à la caractérisation des safous (*Dacyodes edulis*) d'Afrique centrale I. Importance de la culture et caractéristiques morphologiques des fruits dans le district de Boko, Congo-Brazzaville, Bulletin Africain Bioressources, Energie, Développement, Environnement, 12 : 21-29.

Silou T., Kama-Niamayoua R.. Contribution à la caractérisation des safous (*Dacyodes edulis*) d'Afrique centrale V. Note sur l'étude régiospécifique des triacylglycérols de l'huile d la pulpe de safou par spectrométrie RMN 13C. Résultats préliminaires. Oléagineux, Corps gras, Lipides, 1999, 6, (5) : 349 –353.

Kinkéla T., Kama-Niamayoua R., David Mampouya D.,Silou T., 2006, Variations in morphological characteristics, lipid content and chemical composition of safou (*Dacryodes edulis* (G. Don) H.J.LAM.,) according to fruit distribution. A case study, African journal of Biotechnology, 5 (12) : 1233 – 1238.

CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION DES SAFOUTIERS (*Dacryodes edulis*) D'AFRIQUE CENTRALE :

IMPORTANCE DE LA CULTURE ET CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES FRUITS DES SAFOUTIERS DANS LE DISTRICT DE BOKO AU CONGO-BRAZZAVILLE

SILOU, Th., KAMA-NIAMAYOYA, R., MAMPOUYA, D., KINKELA, Th., HERNALESTEEN, L.

Equipe Pluridisciplinaire de Recherche en Alimentation et en Nutrition (EPRAN Congo).

BP 389 Brazzaville - CONGO

E-mail : aire10@calva.com

RESUME

Une enquête terrain entre 1993 et 1997 dans le district de Boko (Congo-Brazzaville) en vue d'évaluer l'importance de la culture du safoutier et de caractériser les fruits a conduit à évaluer à 180 000 le nombre de safoutiers, produisant des 163 tonnes de fruits frais (en moyenne par an) et 4220 tonnes de fruits secs (en moyenne par an). Elle a permis également de reconnaître le safoutier dans les produits vendus sur les marchés locaux dans le District de Boko ainsi que de reconnaître les variétés de safoutiers.

Par ailleurs, les observations effectuées sur 900 fruits (provenant de 68 arbres) ont permis de caractériser les safoutiers selon leur taille (petite, moyenne et grande) et leur couleur (verte, jaune et rouge). Les fruits ont été classés en trois catégories (I, II, III) en fonction de leur taille et de leur couleur. Les fruits de la catégorie I ont été définis comme les fruits de petite taille (10-15 cm) et de couleur verte. Les fruits de la catégorie II ont été définis comme les fruits de taille moyenne (15-20 cm) et de couleur jaune. Les fruits de la catégorie III ont été définis comme les fruits de grande taille (20-25 cm) et de couleur rouge. Les fruits de la catégorie I ont une teneur en sucre plus élevée que ceux de la catégorie II et III. Les fruits de la catégorie II ont une teneur en sucre plus élevée que ceux de la catégorie III. Les fruits de la catégorie III ont une teneur en sucre plus élevée que ceux de la catégorie I. Les fruits de la catégorie I ont une teneur en sucre plus élevée que ceux de la catégorie II et III. Les fruits de la catégorie II ont une teneur en sucre plus élevée que ceux de la catégorie III. Les fruits de la catégorie III ont une teneur en sucre plus élevée que ceux de la catégorie I.

En permettant une meilleure caractérisation des safoutiers, ce travail contribue à la définition des variétés chez les safoutiers.

MOTS CLES: Safoutier, *Dacryodes edulis*, morphologie, analyse chimique, lipides, acides gras, Congo-Brazzaville.

SUMMARY

A survey carried out between 1993 and 1997 in the district of Boko (Congo-Brazzaville) has evaluated the importance of the culture of the safoutier tree and characterized fruits led to estimate to 180 000 the number of safoutiers, producing 163 tons of fresh fruits (on average per year) and 4220 tons of dry fruits (on average per year). It also allowed to recognize the safoutier tree in the products sold on the local markets in the District of Boko as well as to recognize the varieties of safoutiers.

The data of the literature and the ground observations (District of Boko, Congo-Brazzaville) concerning 900 fruits (from 68 trees) determined the characteristics of the safoutier according to their size (small, medium and large) and their colour (green, yellow and red). The fruits were classified in three categories (I, II, III) according to their size and their colour. The fruits of category I were defined as the small fruits (10-15 cm) and green colour. The fruits of category II were defined as the medium size fruits (15-20 cm) and yellow colour. The fruits of category III were defined as the large fruits (20-25 cm) and red colour. The fruits of category I have a higher sugar content than those of category II and III. The fruits of category II have a higher sugar content than those of category III. The fruits of category III have a higher sugar content than those of category I.

By allowing a better characterization of the safoutier, this work contributes to the definition of the varieties of the safoutier trees.

KEY WORDS: Safoutier, *Dacryodes edulis*, morphology, chemical analysis, lipids, fatty acids, Congo-Brazzaville.

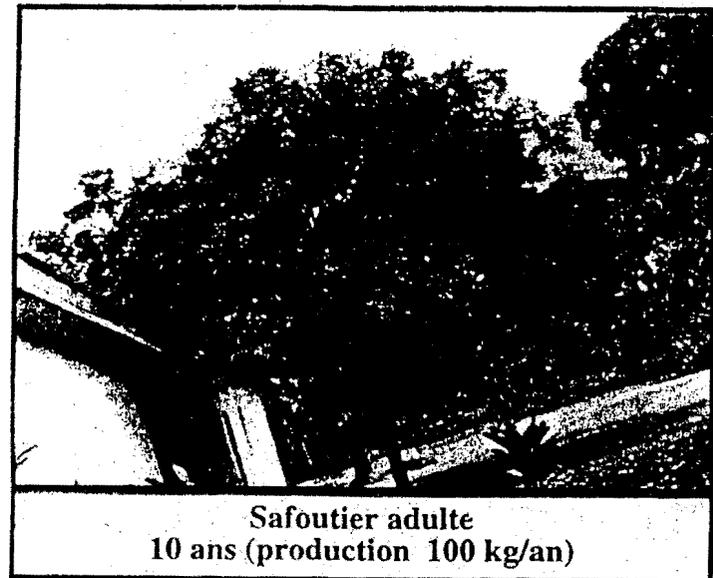
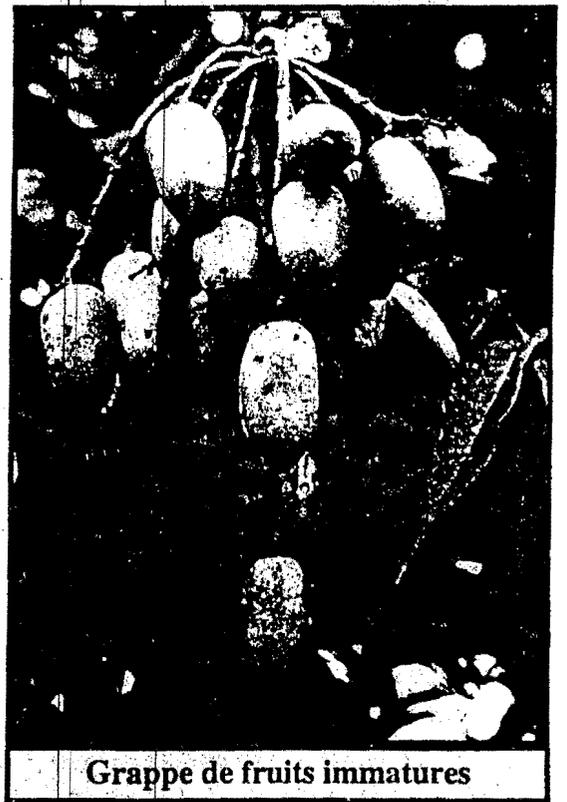
- INTRODUCTION

Le safoutier (*Dacryodes edulis* H.J. LAM), originaire du golfe de Guinée, joue un rôle important dans l'économie et la vie des populations des pays d'Afrique centrale. Pourtant, il n'existe aucune étude visant à quantifier cette importance (superficies cultivées, productions). Nous écrivons dans ce travail, une méthodologie d'évaluation du rendement et de la production des safoutiers dans le District de Boko au Congo-Brazzaville. Cette méthodologie pourrait éventuellement être généralisée pour être utilisée dans la sous-région.

Le safoutier, *Dacryodes edulis* H.J. LAM, appartient à la famille des BURSERACEES. C'est un arbre à tronc droit, les feuilles sont composées imparipennées aux folioles oblongues, lancéolées, acuminées : les fleurs sont trimères avec trois sépales formant le calice et trois pétales formant la corolle ; le fruit est une drupe oblongue, violette à maturité, de dimensions variables suivant les années (figure 1).

Le safoutier se reproduit essentiellement par semis, ce qui conduit à une grande diversité de forme et peut-être de composition d'un arbre à un autre et pourquoi pas d'un fruit à un autre sur un même arbre. Depuis plus de cinq ans nous

Figure 1 : Le safoutier

Safoutier adulte
10 ans (production 100 kg/an)

Grappe de fruits immatures

avons entrepris dans le district de Boko, au Congo-Brazzaville, un travail pour quantifier ce phénomène en vue d'une meilleure caractérisation de cette ressource.

L'étude s'est faite de proche en proche. L'étude de la distribution des fruits en fonction de l'orientation géographique sur un même arbre a été suivie de l'examen des caractéristiques des fruits de différents arbres d'un même village pour s'étendre en fin de compte aux fruits des arbres d'une zone écologique plus large (ici le district de Boko 2 900 km²). L'étude de ces variations intra et inter arbre qui vise à éclairer la notion de calibre et de catégorie des fruits soit sur un arbre, soit dans une zone écologique, constitue, en perspective, une contribution à la délimitation variétale chez le safoutier.

II - MATERIEL ET METHODES

1 - Milieu d'étude

La présente étude concerne l'ancien district de Boko. C'est un hexagone irrégulier de 2 900 km² situé à l'extrême sud de la région du Pool, limité : au Nord, par les districts de Mindouli et Kinkala, au Sud Est par le fleuve Congo et au Sud Ouest par le Congo-Kinshasa. Depuis le 18 Septembre 1995, il a été scindé en 3 nouveaux districts : BOKO, LOUINGUI, LOUMO, constituant sur le plan géographique une même zone écologique (figure 2).

2 - Enquête sur la culture et la production du safoutier

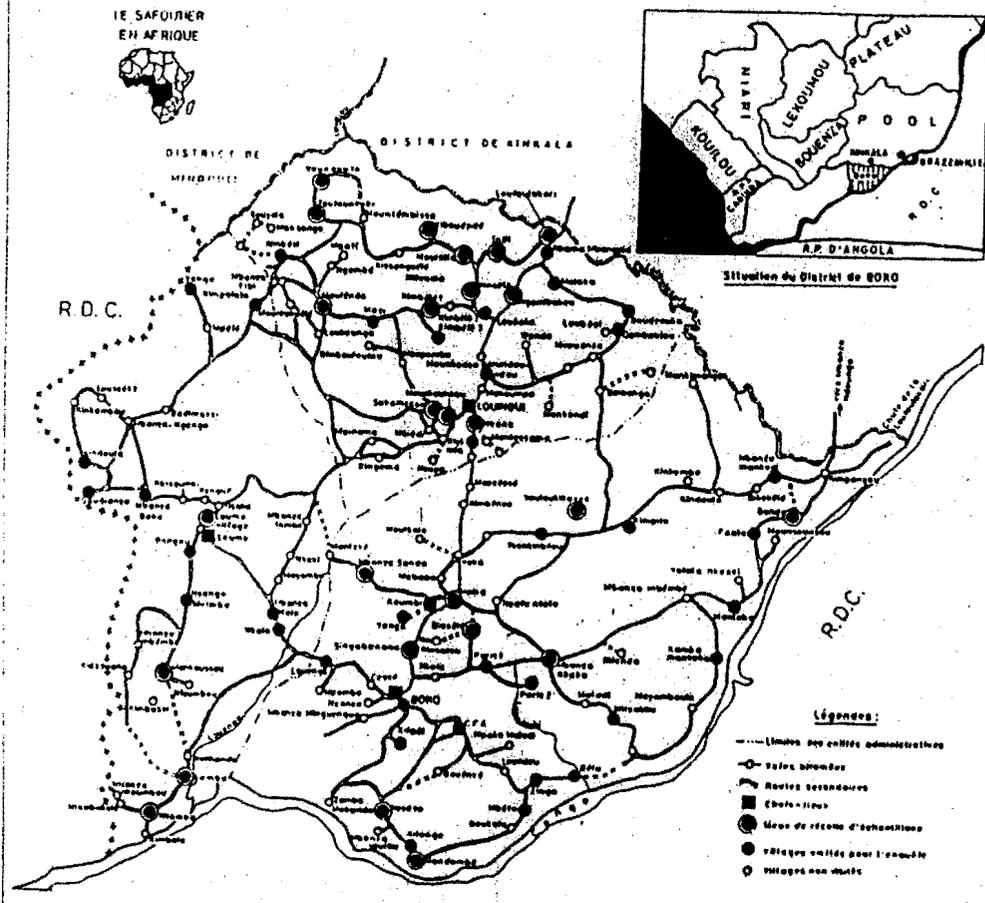
Nous avons utilisé l'échantillonnage à plusieurs degrés (ici, deux) tel que décrit par METTRICK (1) à cause de la facilité de la construction de la base de sondage et de la réduction des coûts induits.

sous entité ; un échantillon de 63 villages a pu ainsi être constitué.

Le deuxième degré est le nombre de ménages. La population cible dans cette enquête est l'ensemble des planteurs de safoutiers du district. La propriété de la terre étant familiale,

nous avons retenu le ménage (tel que défini dans les documents du recensement général de la population de 1984) comme unité statistique pour l'enquête. Par ailleurs, le nombre de ménages variant dans une fourchette plus faible que celui de la population, le biais éventuellement introduit par l'utilisation des chiffres non actualisés est de moindre importance. Les corrections via le taux annuel d'augmentation de la population ne nous ont pas paru nécessaires, car nous visons ici une évaluation grossière de la taille du verger et de la production de safou, en vue d'affiner la méthode que nous envisageons utiliser pour l'évaluation de la production nationale de safou. En fin de compte, dans chaque village retenu pour l'enquête, un échantillon d'au moins 6% de ménages a été constitué de manière raisonnée. En parcourant les artères des villages, nous avons sélectionné, à partir de la taille de leur verger, les ménages à interroger de façon à rendre compte de la diversité des exploitations. Un échantillon de 188 ménages a pu ainsi être constitué (tableau 1). Le

Figure 2 : District de Boko



Le premier degré est représenté par l'ensemble des villages du district. Pour avoir une couverture homogène du district, nous avons considéré les 3 sous entités : Boko-centre, Louingui et Loumo. Nous avons tiré au sort 30% de villages dans chaque

questionnaire de l'enquête comprenait d'une part le contexte de la filière safou (situation générale, écologie, agronomie) et d'autre part la filière proprement dite (culture, production, utilisation).

Tableau 1 : Constitution de l'échantillon de ménages interrogés

*pourcentage par rapport au nombre de ménages dans les villages visités

** nombre total de ménages excluant les chefs-lieux des différentes entités

	Nombre total de villages	Nombre total de ménages	Nombre de villages visités (nombre de ménages dans les villages visités)	Echantillon de ménages interrogés (%)
Boko-centre	90	3593 3003**	27 (1260)	80 (6,3%)*
Louingui	75	2066 1920**	23 (855)	55 (6,4%)
Loumo	39	1351 1263**	13 (572)	51 (8,9%)

3 - Matériel végétal

3.1 - Etude des variations intra-arbre

ix arbres choisis au hasard dans le district et localisés à Ioulenda (1 arbre), Kiazi (1 arbre), Kimbila (2 arbres) et Ioko (2 arbres) ont été étudiés en tenant compte de l'orientation géographique des fruits (Nord, Sud, Est, Ouest). Dix fruits ont été prélevés pour chaque orientation à différentes hauteurs du sol pour tenir compte d'une influence éventuelle de ce facteur (2). Ainsi, 40 fruits par arbre ont été soumis à une étude morphologique et physico-chimique.

3.2 - Etude des variations inter-arbre dans un même village

Deux villages du District de Boko ont été étudiés : il s'agit de LOUFOULAKARI (15 arbres) et de NGAMIBAKOU (9 arbres). Dans chacun de ces arbres, 10 fruits ont été récoltés au hasard, sur la base de la calibration des fruits sur un même arbre établie auparavant. L'étude a donc porté sur 150 fruits de LOUFOULAKARI et 90 fruits de NGAMIBAKOU.

3.3 - Etude des variations inter-arbre pour l'ensemble du District

Les villages concernés par la récolte des échantillons ont été retenus de façon à réaliser une couverture géographique complète et homogène du district (figure 2). Dans chaque village, des arbres ont été retenus au hasard et le nombre d'arbres étudiés varie selon l'importance des plantations de safoutiers avec un maximum de 5 arbres par village. L'ensemble de l'étude a donc concerné 68 arbres, soit 980 fruits, avec un nombre de fruits prélevés par arbre variant de 10 à 40 fruits selon la nature de l'étude réalisée.

4 - Méthodes d'étude

4.1 - Grandeurs morphologiques

Dans les pays où il est cultivé, le safoutier se reproduit essentiellement par semis. Il en découle une grande diversité se traduisant par des fruits aux caractéristiques morphologiques très variées. Nous avons déterminé pour chaque fruit les caractéristiques telles que définies antérieurement (3) : la longueur du fruit (Long), la largeur du fruit (Larg), l'épaisseur

de la pulpe (Ep.), la masse totale du fruit (Mt.), la masse de la pulpe (Mp.) et la masse volumique du fruit.

4.2 - Caractéristiques physiques du fruit

(i) Masse totale du fruit et masse de la pulpe

A l'aide d'une balance, le fruit entier est pesé au dg près, on obtient la masse totale (Mt). Après le retrait de la graine, la pulpe fraîche est pesée ce qui permet d'obtenir la masse de la pulpe, Mp.

(ii) Masse volumique du fruit

Avec de l'eau distillée, on remplit au _ une éprouvette graduée de un litre et on note le volume v_0 , puis on immerge un fruit entier et on note v_1 . Si le fruit a une masse m , sa masse volumique est donnée par :

$$\text{Masse volumique} = m/(v_1 - v_0)$$

4.3 - Teneur en eau et teneur en huile du fruit

Le fruit est ouvert longitudinalement à l'aide d'un couteau de table, on retire la graine. Soit m_1 la masse de la pulpe et m_2 la masse de la pulpe séchée à l'étuve à 150°C jusqu'à masse constante, la teneur en eau est donnée par :

$$\% \text{ eau} = (m_1 - m_2) / 100$$

La détermination de la teneur en huile a été faite soit par la méthode au soxhlet, soit par la méthode réfractométrique et on passe de l'une à l'autre par l'expression :

$\% \text{ huile (soxhlet)} = 1,514 (\% \text{ huile réf.}) - 3,13$, avec un coefficient de corrélation de 0,7 (4).

4.4 - Traitement statistique des données

Les traitements statistiques ont été effectués sur Excel 7.0, sous Windows 98.

III - RESULTATS EXPERIMENTAUX ET COMMENTAIRES

1 - Evaluation du verger et de la production

L'enquête a conduit aux résultats reportés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Evaluation du nombre et de la production des safoutiers dans le district de Boko

* 1/3 prise en compte de la meilleure production des pieds femelles

	BOKO centre	LOUINGUI	LOUMO	TOTAL
Nombre de ménages (n_1)	3003	1920	1263	6186
Nombre d'arbres par ménage (n_2)	35	20	29	-
Production moyenne par arbre (mauvaise saison) p_1 (kg)	15	22	21	-
Production moyenne par arbre (bonne saison) p_2 (kg)	56	92	90	-
Nombre total, d'arbres $N = n_1 \times n_2$	105105	38400	36627	180132
Production totale (mauvaise saison) $P_1 = p_1 \times N \times 1/3$ (tonnes)*	525,5	281,6	256,4	1063,5
Production totale (bonne saison) $P_2 = p_2 \times N \times 1/3$ (tonnes)	1962,0	1177,6	1086,6	4226,2

Il ressort de cette enquête qu'en moyenne un ménage possède :

- 35 arbres dans BOKO Centre ;
- 20 arbres dans LOUINGUI ;
- 29 arbres dans LOUMO.

La culture du safoutier est plus développée dans BOKO Centre qu'à LOUMO et à LOUINGUI. Ceci n'est pas étonnant quand on sait que BOKO a été le siège d'un projet de développement d'arboriculture fruitière depuis 1984. L'intérêt et la technique de cette culture se sont ensuite diffusés, dans l'ordre, à LOUMO et LOUINGUI. L'indicateur arbre/ménage rend bien compte de cette situation.

Le safoutier est en production maximale une année sur deux : p_1 et p_2 traduisent ce fait en représentant respectivement la production en année défavorable et en année favorable.

L'enquête indique que la production p_1 (année défavorable), qui peut être nulle, est en moyenne de 15 kg/arbre à BOKO Centre, 22 kg/arbre à LOUINGUI pour atteindre 21 kg/arbre à LOUMO. La cause de ce rendement pourrait être recherchée dans l'état des vergers, notamment leur âge.

Le verger de BOKO Centre est le plus vieux du District ; on assiste à une baisse de production moyenne par arbre. La production p_2 va dans le même sens : elle est de 56 kg/arbre à BOKO, de 92 kg/arbre à LOUINGUI et de 90 kg/arbre à LOUMO. Si ces indicateurs par arbre sont aisément vérifiables sur le terrain et mieux, s'inscrivent dans les fourchettes rencontrées dans la littérature notamment pour la production (3), l'extrapolation au niveau de l'ensemble du district doit se faire avec beaucoup de prudence. C'est ainsi que :

- d'une part, nous avons écarté les 3 chefs-lieux de nouveaux districts qui, à cause de la présence des fonctionnaires et des commerçants en surnombre, risquent de biaiser fortement les résultats ;
- d'autre part, nous allons introduire un facteur correctif tenant compte des arbres productifs. En effet, il est maintenant admis l'existence de 3 types de pieds chez le safoutier : les mâles, les femelles et les hermaphrodites (5). Les pieds femelles étant les plus productifs, seul le tiers du verger serait significativement productif, dans l'hypothèse d'une répartition aléatoire de la nature des pieds.

La lecture du tableau 2 indique 105 105 arbres pour BOKO-centre, 38 400 arbres pour LOUINGUI et 36 627 pour LOUMO. En considérant le tiers de ces arbres, les productions varient de la manière suivante :

- 525,5 à 1962,0 t pour BOKO Centre, avec une moyenne de 1 243 t ;
- 281,6 à 1177,6 t pour LOUINGUI, avec une moyenne de 730 t ;
- 256,4 à 1086,6 t pour LOUMO, avec une moyenne de 672 t.

Soit un total de 1063,5 à 4226,2 t pour l'ensemble du District, avec une moyenne de 2645 t.

2 - Caractérisation des fruits

Dans l'itinéraire menant à une caractérisation aussi exhaustive que possible du safou dans son aire naturelle de végétation, l'étude doit commencer, pensons-nous, par le maillon le plus simple qui est l'arbre. Les fruits d'un même arbre tendent-ils vers un même calibre ? une même composition ?

Pour tenter de répondre à cette question, nous avons retenu l'évaluation de l'effet de l'orientation géographique sur la morphologie et la composition des fruits (teneurs en eau et huile), déjà réalisée dans la littérature pour les agrumes (6) et qui pourrait constituer un début de réponse à ces questions.

2.1 - Etude de la variation intra-arbre des fruits

Les résultats obtenus pour les 6 arbres étudiés sont regroupés dans le tableau 3. Si, en moyenne, les indicateurs du calibre du fruit (Long., Larg., Ep.) varient très peu avec l'orientation quel que soit l'arbre étudié, la masse du fruit entier (M_f) est supérieure à la moyenne de l'arbre à l'Ouest alors qu'elle est systématiquement inférieure au Sud, sauf pour KIMBILA 2 où la tendance s'inverse. La variation est plus aléatoire pour l'Est et le Nord.

Les résultats sont encore plus nets si l'on considère la masse de la pulpe (M_p). De façon grossière, on peut déjà constater que les fruits les mieux nantis en pulpe ont tendance à se trouver à l'Ouest, sur l'axe Est-Ouest, et les fruits les moins nantis au Sud, sur l'axe Nord-Sud, laissant déjà apparaître l'idée d'un axe Est-Ouest favorisé par rapport au Nord-Sud. On pourrait multiplier les observations et les remarques en examinant les grandeurs les unes après les autres. Mais ne perdons pas de vue que la question essentielle à laquelle doit répondre cette étude est celle de savoir si les fruits, sur un même arbre, sont discriminés par leur orientation géographique. L'analyse statistique élémentaire (écarts-types, coefficient de variation) indique, pour l'ensemble des caractéristiques morphologiques et chimiques étudiées, des variations de très faibles amplitudes.

Ces résultats sont en faveur d'une calibration naturelle des fruits sur un même arbre aussi bien sur le plan morphologique que chimique, tout au moins à travers les teneurs en eau et en huile. Ceci étant acquis, qu'en est-il pour des fruits d'arbres différents ? La réponse à cette question peut être recherchée en considérant d'abord les arbres localisés dans un même village et ensuite ceux d'une zone écologique plus large.

* valeurs non déterminées

	LONGUEUR (cm)	LARGEUR (cm)	EPAISSEUR (cm)	MASSE TOTALE (g)	MASSE PULPE (g)	MASSE VOLUMIQUE (g/cm ³)	TENEUR EN EAU (%)	TENEUR EN HUILE (%)
MOULENDA								
Nord	7.6	4.2	0.8	62.5	42.0	0.700	49.5	
Sud	7.5	4.1	0.7	62.2	46.3	0.800	57.6	
Est	7.6	4.3	0.8	69.2	48.1	0.800	56.1	*
Ouest	7.8	4.1	0.8	68.0	48.0	0.700	47.4	
Moyenne arbre	7.6	4.2	0.8	65.4	46.1	0.750	52.6	
KIAZI								
Nord	6.4	3.2	0.6	47.5	34.4	0.900	60.0	
Sud	6.3	3.6	0.6	44.5	32.5	1.030	67.6	
Est	6.5	3.8	0.6	49.8	34.9	0.900	55.6	*
Ouest	6.5	3.8	0.7	54.8	39.7	1.010	56.9	
Moyenne arbre	6.5	3.6	0.6	49.1	35.4	0.960	59.9	
KIMBILA 1								
Nord	6.1	2.9	0.4	34.5	19.5	0.970	70.7	34.9
Sud	6.0	3.0	0.4	37.0	20.5	1.010	73.7	42.0
Est	6.2	3.1	0.5	38.0	23.0	0.950	58.2	41.1
Ouest	6.4	3.1	0.5	42.0	26.0	0.970	66.1	45.2
Moyenne arbre	6.1	3.0	0.4	37.0	22.2	0.970	67.1	40.8
KIMBILA 2								
Nord	5.1	3.5	0.5	37.5	20.5	0.940	52.7	29.6
Sud	5.1	3.4	0.4	35.5	19.0	0.950	57.2	31.7
Est	5.1	3.4	0.5	33.5	18.0	0.910	54.8	33.1
Ouest	5.1	3.4	0.4	34.0	18.0	1.030	52.7	37.4
Moyenne arbre	5.1	3.4	0.4	35.1	18.8	0.950	54.3	33.0
BOKO 1								
Nord	6.2	3.0	0.4	27.8	19.9	0.910	75.2	60.6
Sud	6.3	3.1	0.4	30.9	21.7	0.890	74.3	58.5
Est	6.0	3.0	0.4	27.4	19.1	0.890	77.5	65.2
Ouest	6.1	3.0	0.4	30.1	19.5	0.930	70.5	61.8
Moyenne arbre	6.1	3.0	0.4	29.0	20.0	0.900	74.3	61.6
BOKO 2								
Nord	6.6	3.6	0.6	49.0	36.0	0.900	53.8	32.8
Sud	6.4	3.6	0.6	46.5	34.0	0.920	55.4	37.4
Est	6.4	3.6	0.6	48.0	33.5	0.920	52.1	38.8
Ouest	6.4	3.8	0.6	48.5	35.0	0.900	56.1	38.7
Moyenne arbre	6.4	3.6	0.6	48.0	34.6	0.910	54.3	36.8

2.2 - Variation inter-arbre au sein d'un même village

Dans ce cas de figure, on peut considérer que les individus (arbres) sont liés entre eux, ne serait-ce que par le fait d'être

pollinisés par la même population d'insectes. Les tableaux 4 et 5 représentent les caractéristiques morphologiques et les teneurs en eau et en huile des arbres de LOUFOULAKARI et de NGAMIBAKOU.

Tableau 4 : Calculs statistiques sur les caractéristiques morphologiques et la composition des fruits de 15 arbres de LOUFOULAKARI (150 fruits)

	Longueur	Largeur	Epaisseur	Mt.	Mp.	Masse volumique	% eau	% huile
Moyenne	5.9	3.6	0.5	44.4	34.8	0.908	63.8	47.1
Minimum	4.4	3.1	0.4	26.7	17.5	0.800	51.5	34.1
Maximum	7.7	4.1	0.7	77.5	67.0	1.040	74.9	58.5
Ecart-type (SD)	0.9	0.3	0.1	12.5	10.3	0.074	6.7	6.8
Coefficient de variation	15.2	9.0	14.8	28.1	32.5	8.1	10.5	14.3

Tableau 5 : Caractéristiques morphologiques et composition des fruits de 9 arbres de NGAMIBAKOU (90 fruits)

	Longueur	Largeur	Epaisseur	Mt.	Mp.	Masse volumique	% eau	% huile
Moyenne	6.7	3.6	0.6	49.8	35.2	0.879	57.4	50.5
Minimum	5.1	3.3	0.4	33.5	23.0	0.800	45.6	31.8
Maximum	8.2	4.1	0.8	75.5	58.0	1.010	67.3	64.2
Ecart-type (SD)	1.1	0.3	0.1	12.4	10.7	0.07	6.8	11.6
Coefficient de variation	15.6	6.9	20.3	25.0	30.3	7.9	11.8	23.0

S'agissant du village de LOUFOULAKARI, on retrouve là encore des écarts-types faibles et des coefficients de variation pour l'essentiel inférieurs à 15%, sauf pour les masses (Mt, Mp) où ils sont deux fois plus élevés.

Le calibre (longueur, largeur), les teneurs en eau et en huile semblent mieux caractériser les fruits dans un village, plus que leur masse qui varie dans une fourchette 2 fois plus grande.

Les résultats de NGAMIBAKOU confirment la faible variation des grandeurs telles que la longueur, la largeur et la teneur en eau. Ici, la masse totale et la teneur en huile ont des coefficients de variation plus élevés. Comme sur l'arbre, les fruits ont une

forte tendance à se ressembler pour les arbres d'un même village ; les fourchettes de variations sont un peu plus larges que précédemment.

2.3 - Variation inter-arbre au sein d'une zone écologique

Etendons maintenant l'étude à une superficie plus vaste (District de Boko 2 900 km²) pour essayer de cerner les données du problème sur une zone écologique plus large. Soixante huit (68) arbres ont fait l'objet d'une étude statistique descriptive (tableau 6).

Tableau 6 : Calculs statistiques sur les données morphologiques et les teneurs en eau et en huile des 68 sautiers du District de Boko

* calculs effectués sur les fruits de 65 arbres

	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	Mt. (g)	% eau *	% huile *
Moyenne	6.3	3.6	0.6	42.6	64.3	40.7
Minimum	4.1	2.7	0.4	19.0	47.0	25.8
Maximum	8.7	4.8	0.9	74.5	77.1	74.9
Ecart-type (SD)	0.9	0.4	0.1	13.0	6.9	10.5
Coefficient de variation	14.4	11.3	22.3	30	10.7	25.9

Comme précédemment, les résultats obtenus sont en faveur d'une grande homogénéité des fruits dans la zone étudiée si l'on considère toujours les écarts-types et les coefficients de variation.

IV - DISCUSSION ET CONCLUSION

1 - Production

La taille de l'échantillon, la notion des arbres productifs et l'absence des statistiques officielles rendent délicate l'évaluation de la taille du verger des safoutiers du district. Les chiffres obtenus sont néanmoins tout à fait acceptables quand on sait par exemple que pour la production moyenne par arbre, qui varie entre 15 et 92 kg, nous avons obtenu par mesure directe (3) sur des arbres jeunes, des valeurs de 100 kg par arbre alors qu'OMOTI et OKIY (7) ont obtenu au Nigeria des valeurs de l'ordre de 220 kg par arbre. Si erreur il peut y avoir, elle conduira à sous-estimer et non à sur-estimer la production.

Cette méthode va être affinée sur un échantillon plus représentatif. En tant que première tentative de quantification de la production de safou dans la sous région, elle est appelée à se développer quand on voit le dynamisme de ce secteur en Afrique Centrale.

2 - Caractérisation des fruits

L'objectif poursuivi dans ce travail est la caractérisation des safous du district de Boko. Nous venons d'établir l'existence d'une homogénéité de calibre (morphologie) et de catégorie (composition) des fruits dans le district.

Il convient maintenant de situer les safou étudiés dans la gamme des safou existants telle qu'on peut la saisir par la littérature et aussi par des missions de terrain organisées à travers le Congo-Brazzaville.

2.1 - Calibre

Certains auteurs (7) utilisent, pour la morphologie du safou, la longueur et la circonférence ou le diamètre. Pour des raisons pratiques, nous avons considéré un parallélépipède englobant le fruit. La section du fruit étant quasiment cylindrique, la section d'un parallélépipède est un carré dont le côté est égal à la «largeur» du fruit. La hauteur du parallélépipède correspond à la «longueur» du fruit. Nous avons donc choisi la longueur et la largeur ainsi définies pour décrire la morphologie du safou.

Une telle description nous paraît pertinente dans l'éventualité d'une mise en place de machines pour l'ouverture mécanisée des fruits, dans le cadre de la mise au point d'un procédé

artisanal ou industriel de production d'huile à partir de la pulpe de safou.

Une grandeur a été considérée dans la description de la morphologie du safou, l'épaisseur de la pulpe. Elle peut s'avérer intéressante dans l'étape de séchage au cas où le procédé nécessiterait le retrait de l'endocarpe.

Des grandeurs physiques qui découlent de la morphologie peuvent également être prises en compte dans ce travail. C'est le cas de la masse et du volume sous forme de masse totale du fruit (M_f), masse de la pulpe (M_p), masse volumique.

Toutes ces données combinées conduisent à une définition plus fine du calibre.

2.2 - Catégorie

Nous regroupons sous ce vocable tout ce qui a trait à la composition du fruit, et en particulier à la teneur en huile, parce que nous avons inscrit ce travail dans le cadre de la valorisation du safou en tant qu'oléagineux.

Le premier groupe de grandeurs à considérer sont celles relatives à la composition globale du fruit. Ce sont les teneurs en eaux, lipides, protéines, cendres et éventuellement en sucres.

Le second groupe de grandeurs concerne la qualité des huiles extraites du fruit (pulpe, graine). Ce sont :

- les caractéristiques physico-chimiques : masse volumique, viscosité, indice de réfraction, couleur (U.V) ;
- les indices chimiques : indices d'acide, de saponification, d'iode et de peroxyde.

Un dernier groupe, lié à des études plus fines, renvoie à la composition de l'huile : teneur en insaponifiables, composition en acides gras, structure des triacylglycérols.

Il est évident que seul un petit nombre de tous ces critères possibles seront utilisés dans les classifications de types commerciales ou technologiques. Nous avons retenu, dans cette étude, la teneur en eau et la teneur en huile.

2.3 - Calibre et catégorie des safous du District de Boko

La littérature et les observations de terrain permettent de retenir, pour les différentes grandeurs, les bornes de variations suivantes :

- 4 < Longueur (cm) < 10
- 2 < Largeur (cm) < 6
- 0,5 < Epaisseur (cm) < 1,0

Nous proposons de faire 3 classes de fruits pour rendre compte des appellations adoptées par les acteurs de la filière : petits, moyens et gros safou que nous baptisons calibres I, II et III (tableau 7). Par rapport à cette classification, les safous

du District appartiennent à la catégorie II avec, comme caractéristiques :

- 91,2% d'arbres ont leurs fruits qui ont une longueur comprise entre 4 et 8 cm ;
- 100% ont une largeur comprise entre 3 et 6 cm ;

- 91,2% une épaisseur comprise entre 0,4 et 0,6 cm ;
- 73,1% une masse comprise entre 30 et 70 g.

La différence à ces valeurs est constituée des petits fruits (catégorie I).

Tableau 7 : Classification des safou selon leur calibre et catégorie

DESIGNATION	CALIBRE			CATEGORIE		
	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	Masse Tot. (g)	% huile	% eau
I	< 4.0	< 3.0	< 0.4	< 30	< 30	< 40
II	4-8	3-6	0.4-0.8	30-70	30-60	40-80
III	> 8	> 6	> 0.8	> 70	> 60	> 80

En ce qui concerne la composition, la littérature et l'expérience acquise sur le sujet indiquent les bornes de variation suivantes :

- 30 < teneur en eau (%) < 95
- 10 < teneur en huile (%) < 75

Ici aussi, 3 classes peuvent être proposées (tableau 7). Les fruits des arbres étudiés dans le District de Boko appartiennent à la catégorie II avec :

- 100% d'arbres ayant des fruits dont la teneur en eau est comprise entre 40 et 90% ;
- 82,1% d'arbres ayant des fruits dont la teneur en huile est comprise entre 30 et 60%.

En conclusion, nous pouvons retenir que les fruits des arbres du district de Boko sont d'un calibre II et appartiennent à la

catégorie II. Ce sont des fruits de calibre moyen et ayant une bonne teneur en huile ; ils nous paraissent bien adaptés à l'oléotechnie.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la prime de Recherche accordée à l'un d'entre nous (Th.S.) par le Fonds Francophone de la Recherche (FFR) de l'Association des Universités Entièrement ou Partiellement de Langue Française (AUPELF) et grâce à un soutien financier du Réseau Africain Bioressources et Energie pour le Développement et l'Environnement (Coopération Française). Nous présentons nos sincères remerciements à l'AUPELF et au RABEDE pour leur appui scientifique et financier.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) METTRICKS H. (1994). Recherche agricole orientée vers le développement ICRA/CTA Wageningen Pays-Bas. 360 p.
- (2) HERNANDESTEEN L. (1998). Caractérisation des safous du district de Boko au Congo-Brazzaville. Variation intra et inter arbre des grandeurs morphologiques et des caractéristiques physico-chimiques. Mémoire de fin d'études d'ingénieur IDR. Université Marien Ngouabi, Brazzaville. 11 p.
- (3) SILOU Th. (1996). Le safoutier (*Dacryodes edulis*) un arbre mal connu. Fruits, 51 (E), 47-60.
- (4) SILOU Th. (1991). Détermination de la teneur en huile de la pulpe de safou *Dacryodes edulis* par réfractométrie. Fruits, 46 (D), 93-100.
- (5) KENGUE J. (1996). Le safoutier (*Dacryodes edulis*) (G. Don) H.J. Lam) Le Flamboyant, 33, 4-7.
- (6) MARS M., ABDERRAZAK R., MARRAKCHI M. (1994). Etude de la variation intra-arbre de la qualité des fruits d'agrumes récoltés sur un même arbre. Effets de la date de récolte, de l'orientation des fruits et de leur position dans la frondaison. Fruits, 45 (4), 269-278.
- (7) OMOTI U., OKIY P. A. (1987). Characterisation and composition of the pulpe oil and cake the African pear *Dacryodes edulis*. J. Sci. Food Agric., 38, 67-72.

Contribution à la caractérisation des safous d'Afrique centrale (*Dacryodes edulis*)*

Thomas SILOU
R. KAMA NIAMAYOUA

Equipe pluridisciplinaire de recherche
en alimentation et nutrition (EPRAN)
Centre IRD, BP 1286, Pointe Noire, Congo.
<aire10@calva.com>
Fax : (242) 94 31 84

Abstract : Previous studies about pulp safou oil triacylglycerols (TAGs), carried out reversed phase High Performance Liquid Chromatography (HPLC) show that major TAGs are PPO, POO, POL, PPL and PLL, O and L, unsaturated fatty acids are preferably located in sn-2 position in TAGs. Usual methods including chemical and enzymatic transformations of the oil before HPCL analysis are very tiresome.

We have performed ^{13}C NMR spectrometry analysis for the first time to study TAGs structures of safou oil and specialy fatty acids located in internal position of these TAGs.

The results of this study which are similar with previous data in the literature validate this new method.

Key-words : lipids, triacylglycerols (TAGs), NMR spectrometry, Congo-Brazzaville.

Introduction

Le safou, fruit de *Dacryodes edulis*, est très consommé en Afrique Centrale. Au Congo-Brazzaville et au Cameroun, le safoutier occupe la première place des arbres fruitiers dans certaines régions de ces pays.

Les premières études sur la composition du safou datent de 1964 avec les travaux de Laroussihle *et al.* [1].

Depuis cette période et après un démarrage assez lent, les recherches se sont accélérées en particulier au cours des années 90. On peut noter la tenue des trois réunions scientifiques internationales dans la sous-région [2-4].

La composition globale du fruit a été très peu étudiée comparée aux travaux relatifs aux lipides extraits de la pulpe ou de la graine [5].

Les études de la fraction glycéridique constituent la presque totalité des travaux, la fraction insaponifiable n'ayant été qu'à peine effleurée [5-7].

Sur la fraction glycéridique, la préférence des investigations revient à l'étude de la composition en acides gras (AG) en fonction de différents facteurs : lieu de récolte, « variété », état de maturité, technologie de traitement, etc. [5]. Il faudrait également signaler quelques travaux sur l'étude des triacylgcérols en fonction des facteurs précédents [8, 9]. Les recherches de régiospécificité de triacylgcérols (TAG) de l'huile de la pulpe de safou et notamment la détermination de l'acide gras en position sn-2 sont quasi inexistantes.

On pourrait citer les travaux de Tchendji *et al.* [10] sur des safous du Cameroun et ceux de Kinkela et Bezard [11] sur les échantillons du Congo-Brazzaville.

Les méthodes mises en œuvre dans ces études sont complexes, longues et destructives, ce qui pourrait constituer des éléments dissuasifs pour des chercheurs travaillant à la limite des conditions requises à l'exercice normale des activités de recherche.

La mise au point d'une nouvelle méthode d'études régiospécifique des TAG par RMN pourrait faire sauter ce verrou, à condition de pouvoir accéder par le biais de la collaboration entre les

* V - Note sur l'étude régiospécifique des triacylgcérols de l'huile de la pulpe de safou (*Dacryodes edulis*) par spectrométrie RMN du ^{13}C . Résultats préliminaires.

laboratoires au matériel adéquat de spectrométrie RMN qui reste, à cause de son coût et de sa fragilité, relativement inaccessible [12].

Dans cette note nous évaluons l'applicabilité de cette méthode à l'étude de l'huile de la pulpe de safou et la qualité des résultats obtenus en nous référant aux données déjà publiées et obtenues par les méthodes classiques.

Matériel et méthodes

Extraction de l'huile

Les fruits étudiés proviennent d'un arbre localisé à Boko au Congo-Brazzaville ; ils sont ouverts longitudinalement avec un couteau de cuisine pour séparer les pulpes des graines.

Après broyage des pulpes séchées, l'extraction s'est faite au soxhlet, à l'hexane, pendant 9 heures. On filtre sur papier filtre pour éliminer les particules en suspension, on évapore le solvant sous pression réduite. L'huile brute obtenue est conservée sous azote, avant analyse.

Analyse des esters méthyliques d'acides gras par chromatographie en phase gazeuse

Les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont obtenus par transestérification baso-catalysée : 50 mg d'huile brute sont dissous dans 1 ml de méthyltertiobutyléther. On ajoute 0,5 ml d'une solution méthanolique de méthylate de sodium 0,2 N et on agite pendant 1 minute. Après avoir laissé reposer 2 minutes, on ajoute 0,1 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) 1 N pour arrêter la réaction. On agite à nouveau quelques secondes. Les composés minéraux sont dissous dans la phase aqueuse et, après décantation, la phase organique contenant les esters méthyliques est prélevée et séchée durant 20 min sur tamis moléculaires, on récupère le produit (3 fois, 1 ml de solvant) dans un pilulier rodé et taré et on évapore le solvant sous azote.

Les EMAG sont solubilisés dans l'hexane anhydre de qualité analytique à raison de 0,5 mg/ml et 2,5 ml de cette solution sont injectés. Les conditions d'analyse sont les suivantes :

- colonne capillaire BPX 70 (longueur 25 m; diamètre interne 0,32 mm et épaisseur du film 0,25 mm) ;
- programmation température de 50 °C à 190 °C à raison de 40 °C/min de 50 à 80 °C puis de 80 à 190 °C à raison de 7,5 °C/min ;
- température injecteur 250 °C et détecteur 275 °C ;
- gaz vecteur : hélium à 1 bar.

Purification des triacylglycérols

Les triacylglycérols (TAG) purifiés sont obtenus par chromatographie de l'huile brute sur colonne de silice : 15 g de silice sont introduits dans l'éther de pétrole anhydre contenu dans la colonne en verre de 20 mm de diamètre interne ; 711 mg d'huile dissoute dans un minimum de chloroforme sont déposés en tête de colonne ; on y ajoute du benzène anhydre et l'élution est réalisée par trois fois 25 ml de benzène. Les triacylglycérols purifiés sont obtenus après évaporation du solvant sous pression réduite.

Spectrométrie RMN du ^{13}C

L'huile a été étudiée en solution deutériochloroforme, le tétraméthylsilane étant utilisé comme référence.

De manière à relaxer tous les atomes de carbone, l'huile a été mélangée à un agent de relaxation 0,025 g de $[Cr(acac)_3]$ ($C_{15}H_{21}CrO_6$). Le spectre

de RMN est obtenue à 35 °C avec une accumulation de 650 scans. Les spectres de RMN ^{13}C haute résolution des zones éthylénique et carbonyle ont été réalisés avec une largeur de spectre de 127,7 à 130,4 ppm.

Résultats et discussion

Le tableau 1 donne les résultats obtenus en chromatographie en phase gazeuse (CPG) et en spectrométrie RMN du carbone 13.

Il représente les teneurs en acides gras des AG totaux déterminés sur l'huile brute, les teneurs en acides gras des AG de TAG déterminés par spectrométrie RMN sur les TAG purifiés et les teneurs des différents acides gras sur les positions sn1-3 et sn-2 déterminés par spectrométrie RMN.

Tableau 1. Composition en acides et leur répartition dans les TAG de l'huile de la pulpe de safou.

	Proportions molaires (%)		
	Saturés C16:0	Oléique C18:1	Linoléique C18:2
CPG	40,9	27,2	24,5
RMN	45,0	32,1	22,9
(1,3/2)	100/0	45/55	30/70

Composition de l'huile brute déterminée par CPG

La composition en % molaire en acides gras de l'huile étudiée pour les trois premiers acides gras majoritaires de l'huile de safou est :

- acide palmitique (P ou C16:0) = 40,9 ;
- acide oléique (O ou C18:1) = 27,2 ;
- acide linoléique (L ou C18:2) = 24,2.

Nous retrouvons pour cet échantillon le profil caractéristique de l'huile de la pulpe de safou tel qu'il apparaît dans la littérature à savoir [5] : % C16:0 > % C18:1 > % C18:2.

Ce sont bien ces acides gras qui constituent la presque totalité des TAG de l'huile de la pulpe de safou.

En effet, sur une quinzaine des TAGs identifiés dans la littérature pour cette huile, cinq majoritaires sortent nettement du lot et représente près de 90 % des TAG totaux. Il s'agit de PPO, POO, PPL, POL, PLL (tableau 2).

Tableau 2. Triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou (% moles dans les TAG totaux).

TAG	PPO	POO	PPL	POL	PLL	Total
Tchendji <i>et al.</i> [10]	27,1	15,9	24,0	14,1	5,7	86,8
Kinkela <i>et al.</i> [11]	29,3	23,0	16,9	13,9	8,4	91,5
Bezard <i>et al.</i> [9]	24,2	21,6	16,8	15,9	9,3	87,8
	21,2	7,2	37,0	12,3	12,5	90,2
Silou <i>et al.</i> [8]	20,8	24,3	17,0	14,9	7,0	84,0
Soulier [6]	26,0	16,2	24,4	12,6	12,2	91,4
Kapseu [14]	26,0	16,2	24,4	12,6	12,2	91,4
Moyenne	24,9	17,8	22,9	13,8	9,6	
Ecart type	2,9	5,4	6,7	1,2	2,5	

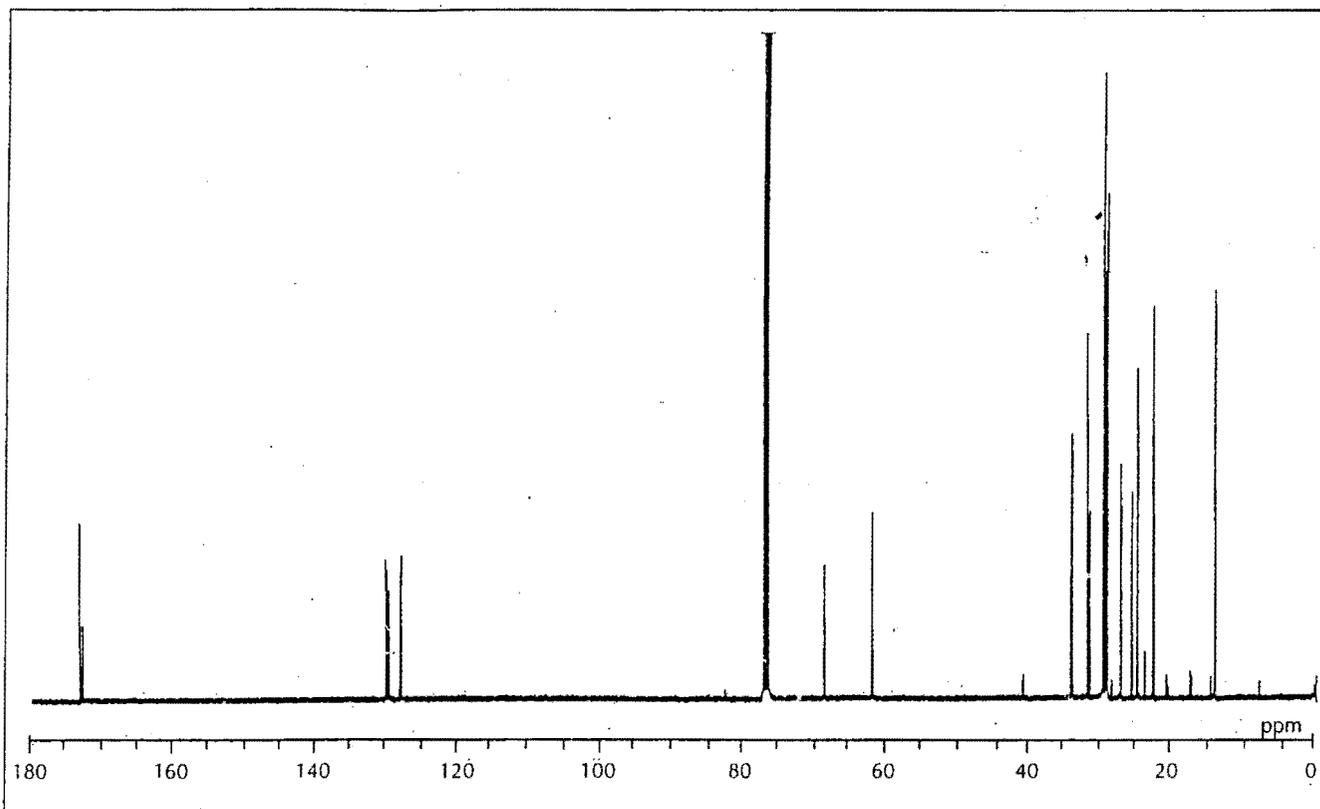


Figure 1. Spectre total de RMN ^{13}C de l'huile de la pulpe de safou.

Position des AG sur les TAG déterminée par spectrométrie RMN

Cette position a été déterminée par spectrométrie RMN du carbone 13. La prise d'un spectre entier nécessite une largeur de spectre d'environ 200 ppm pour couvrir l'ensemble signaux qui généralement se répartissent de la manière suivante (figure 1) aux :

- zone de 15 à 35 ppm, groupes CH_2 et CH_3 ;
- zone de 60 à 70 ppm, deux pics correspondant deux positions sn1-3 et sn2 ;
- zone 75 à 80 ppm, solvant (deutériochloroforme) ;
- zone 125 à 135 ppm, carbones éthyléniques ;
- zone 170 à 175 ppm, carbonyles.

Les deux dernières zones sont les plus intéressantes pour l'analyse des lipides ; elles sont malheureusement mal résolues si l'on reste sur la largeur totale du spectre.

C'est ainsi qu'en limitant la largeur du spectre à l'étude de deux zones éthylénique et carbonyle on accède à une meilleure résolution permettant une interprétation plus aisée.

Dans ces conditions, les déplacements chimiques des carbones du carbonyle et des carbones éthyléniques observés pour les acides gras qui intéressent cette étude sont groupés dans le tableau 3 (figures 2 et 3).

Les teneurs en AG obtenus par RMN sont inférieures à celles obtenues par CPG ; il y a dans l'huile brute, en plus des AG des TAG, des AG libres et des mono ou di-acylglycérols.

Le profil des AG dans l'huile est inchangé et l'écart entre les valeurs de deux séries varie de 2 à 5 %.

Les trois AG majoritaires conduisent bien aux principaux TAG signalés plus haut.

Le rapport (AG en position sn1-3)/(AG en position sn-2) pour un acide gras donné indique que :

- la totalité des C16:0 se trouvent en position sn 1-3 ;
- 55 % des C18:1 occupent la position sn-2 ;
- 70 % des C18:2 occupent la position sn-2 ;

Si nous ramenons ces résultats aux teneurs respectives des acides par rapport aux AG totaux, on obtient C18:1=17,2 % et C18:2 = 16,0 %.

La teneur de ces acides constituent bien 33 % d'AG totaux, ce qui est conforme au pourcentage statistique des AG en position sn-2.

En fin de compte, on a 53,4 % des C18:1 et 44,6 % de C18:2 en position sn-2, donc :

C18:1 (53,4 %) > C18:2 (44,6 %) > C16:0 (0 %).

On retrouve bien les résultats déjà publiés dans la littérature

Tableau 3. Déplacements chimiques des carbones (carbonyles et éthyléniques) des acides gras étudiés.

Acides gras	Groupe carbonyle	Carbones éthyléniques
Oléique	173,23 (1,3)	O9 : 129,74 (1,3) - 129,72 (2)
	172,81 (2)	O10 : 130,04 (1,3) - 130,06 (2)
Linoléique	173,20 (1,3)	L9 : 130,03 (1,3) - 130,00 (2)
		L10 : 128,13 (1,3) - 128,15 (2)
	172,79 (2)	L12 : 127,96 (1,3) - 127,94 (2)
		L13 : 130,24 (1,3) - 130,25 (2)
Acides gras saturés	173,24 (1,3)	

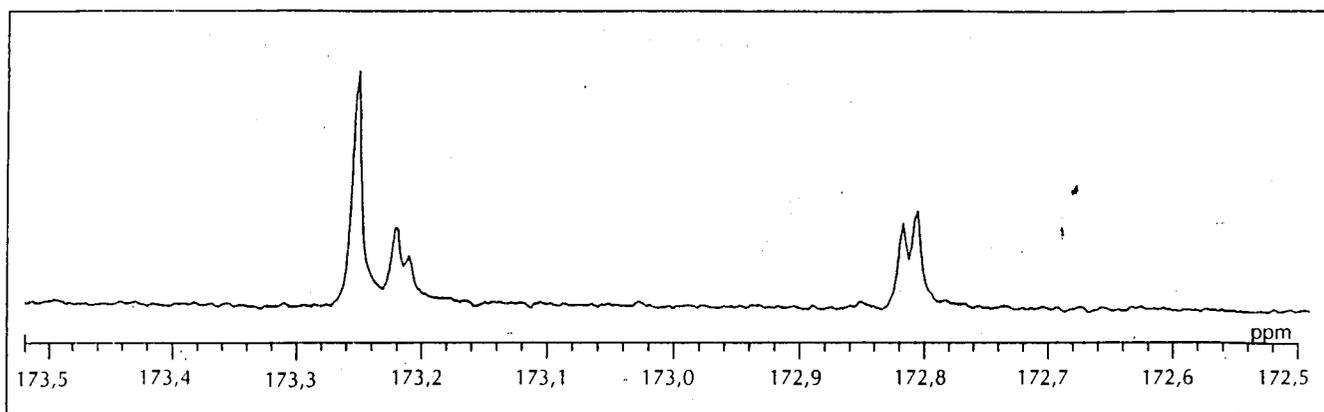


Figure 2. Zone carbonyle du spectre de RMN ^{13}C de l'huile de la pulpe de safou.

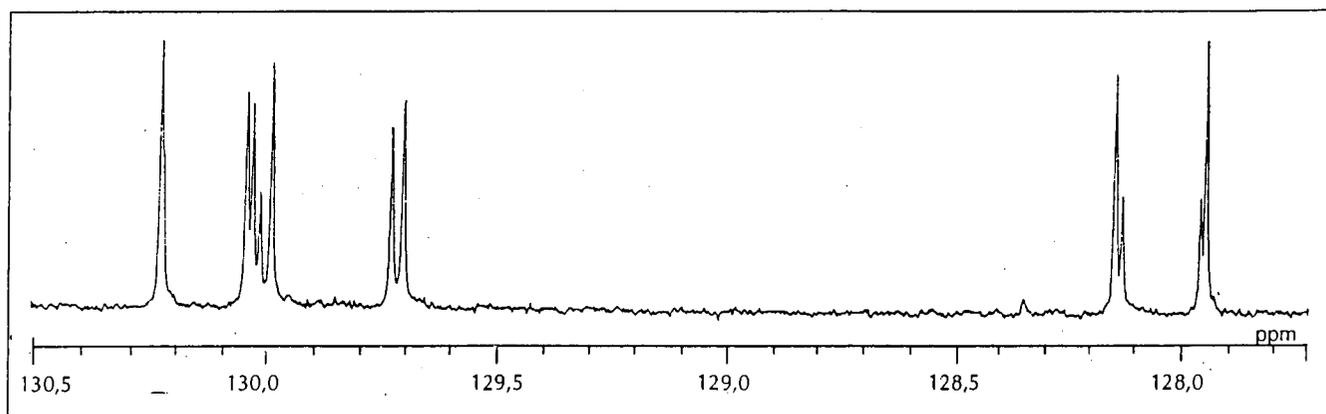


Figure 3. Zone éthylénique du spectre de RMN ^{13}C de l'huile de la pulpe de safou.

En effet à partir des huiles extraites de fruits récoltés au Cameroun, Tchendji *et al.* [10] ont noté que les principaux acides gras fixés en position sn-2 étaient selon un ordre décroissant C18:1 (55,1 %), C18:2 (38,1 %) et C16:0 (5,6 %).

Sur des échantillons du Congo, Kinkela et Bezard [11] ont confirmé cet ordre : C18:1 (56,5 %) > C18:2 (33,8 %) > C16:0 (5,8 %).

Mieux ils ont constaté que dans les TAG où il y avait deux AG insaturés, l'acide gras le plus insaturé se fixait préférentiellement en position sn-2, confirmant ainsi le constat général de Litchfield [13] selon lesquels, pour les huiles végétales, la position interne de triacylglycérols est occupée préférentiellement par les acides gras insaturés, ce d'autant plus que le degré d'insaturation est élevé.

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que 70 % des C18:2, 55 % des C18:1 et 0 % des C16:0 occupent la position sn-2 des TAG. Ces résultats confirment l'intérêt alimentaire de l'huile de la pulpe de safou déjà évoqué [11].

On sait que les acides gras sont assimilés par l'organisme sous forme des sn-2 acylglycérols.

La présence majoritaire et dans certains cas exclusive des C18:1 et C18:2 atteste de la qualité exceptionnelle de cette huile, car on sait que, d'une part, le C18:1 permet à l'organisme de couvrir ses besoins énergétiques et de lutter contre les maladies cardiovasculaires et, d'autre part, le C18:2, acide gras essentiel, permet la couverture des besoins plastiques de l'organisme.

L'absence du C16:0 en position centrale est également bénéfique sur le

plan nutritionnel, sa présence dans l'organisme exposant l'individu au risque de cholestérolémie et d'athérogénie.

Ces résultats déjà obtenus par les méthodes classiques sont confirmés par spectrométrie RMN qui est une méthode propre, rapide (3 à 4h), non destructive et peu consommatrice de produit.

Il convient néanmoins de signaler, en plus du coût du matériel, les limites techniques de cette méthode qui sont essentiellement le seuil de détection des AG en position sn-2 (2 %) et la non-discrimination des AG saturés ; on observe par exemple un seul pic pour les acides palmitique (C16:0) et stéarique (C18:0) [12].

Nous sommes en train d'étendre l'application de cette méthode à une trentaine d'échantillons pour définir les conditions de généralisation des résultats.

Remerciements

Les auteurs remercient le Pr. M. Farines de l'université de Perpignan pour l'aide qu'elle leur a apportée dans la réalisation et l'interprétation des spectres RMN du ^{13}C .

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet financé par le Réseau africain bioressources et énergie pour le développement et l'environnement (RABEDE), l'Association des universités partiellement ou entièrement de langue française (AUPELF) et l'Agence pour l'investissement dans la recherche à l'étranger (Aire développement).

RÉFÉRENCES

1. LAROUSSILHE de F, SCHWOB R, WOLF JP (1964). Le safou, source de matière grasse. 1^{er} Congrès International des industries agricoles et alimentaires de zones tropicales et subtropicales, Abidjan 14-19 décembre.
2. ANONYME (1992). Actes du Séminaire sous-régional sur la valorisation du safoutier. Novembre 1992, Brazzaville.
3. ANONYME (1994). Le safoutier. Actes Séminaire régional sur la valorisation du safoutier. In : KENGUE J, NYA NGATCHOU J, eds. Octobre, Douala.
4. ANONYME (1998). Actes du Séminaire international sur la valorisation du safoutier, et autres oléagineux non conventionnels. In : KAPSEU C, KAYEM GJ, eds. Cameroun : Presses Universitaires de Yaoundé.
5. SILOU T (1996). Le safoutier (*Dacryodes edulis*) un arbre mal connu. *Fruit* 51 : 47-60.
6. SOULIER B (1987). Contribution à l'étude des huiles de la pulpe et de la graine de safou. DEA, Université de Toulouse ; 48 p.
7. LOEMBA DEMBI J. Étude des alcools triterpéniques de l'insaponifiable de l'huile de la pulpe de safou. Rapport de stage Perpignan ; 24p.
8. SILOU T, KIAKOUAMA S, BEZARD J, SEMPORE G (1991). Note sur la composition en acides gras et en triglycérides de l'huile de safou en relation avec la solidification partielle de cette huile. *Fruits* 46 : 271-8.
9. BEZARD J, SILOU T, KIAKOUAMA S, SEMPORE G (1991). Variation de la fraction glycéridique de l'huile de la pulpe de safou avec l'état de maturité du fruit. *Rev Fr Corps Gras* 38 : 233-41.
10. TCHENDJI C, SEVERIN M, WATHELET JP, DEROANNE C (1987). Composition de la graisse de *Daryodes edulis*. *Rev Fr Corps Gras* 28 : 123-5.
11. KINKELA T, BEZARD J (1993). Étude de la structure des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou *Daryodes edulis*. *Rev Fr Corps Gras* 40 : 273-382.
12. FARINES M (1998). La résonance magnétique nucléaire : un atout pour l'analyse des lipides. *OCL* 5 : 291-3.
13. LITHCHFIELD C (1972). *Analysis of triglycerides*. New York, London : Academic Press.
14. KAPSEU C (1998). Composition en acide gras et en triglycérides des huiles oléagineux non conventionnels. Actes Séminaire international sur la valorisation du safoutier, et autres oléagineux non conventionnels, 3-5 décembre. In : KAPSEU C, KAYEM GJ, eds. Cameroun : Presses Universitaires de Yaoundé : 165-74.

OCL : AUX AUTEURS

OCL (journal français des oléagineux, corps gras, lipides) est une revue bimestrielle qui s'adresse aux chercheurs et à leurs partenaires de la vie économique, publique et sociale. Son domaine d'investigation associe tous les domaines de la recherche sollicités par les activités de la filière oléagineux-corps gras, à savoir : biologie végétale, agronomie, amélioration des plantes, défense des cultures, lipochimie, lipotechnie, technologie, chimie, analyse, biochimie, nutrition, économie. OCL publie des comptes rendus originaux de travaux de recherche et des articles de synthèse relevant de tous ces champs disciplinaires et des préoccupations qui les infléchissent.

OCL est divisé en trois cahiers : actualité, thématique et fondamental.

Les auteurs sont invités à suivre avec soin les instructions suivantes afin d'accélérer le traitement de leurs articles.

LE CAHIER ACTUALITÉ : "LA FILIÈRE, AUJOURD'HUI, DEMAIN"

- L'objectif de ce cahier est de fixer au jour le jour les éléments de réflexion nécessaires à l'action de chacun (la culture réflexive de la filière).

Les articles, des notes de synthèse, traitent des avancées théoriques, des études en cours, et des résultats pouvant donner lieu à de nouveaux procédés ou sources de nouveaux débouchés.

Les sujets abordés concernent également les problèmes posés aux différentes disciplines par l'actualité des métiers (décisions communautaires, besoins technologiques, pression environnementale, débats nutritionnels, situation spécifique des pays en développement, mouvements des marchés, etc.).

Les comptes rendus critiques des principaux congrès font également partie de ce cahier.

- Chaque article doit être écrit avec un souci didactique prononcé, le sujet clairement replacé dans son contexte et ses implications soulignées.

- La bibliographie peut être ici limitée aux principales références.

- Les articles doivent comprendre entre 3 et 6 feuillets (1 feuillet = 1500 signes), trois illustrations au plus (figures, tableaux ou photos) soit, avec les figures et tableaux, entre une et trois pages de la revue.

LE CAHIER THÈME

- Lié à des problématiques spécifiques, le thème de chaque dossier est choisi par le comité de rédaction pour l'importance et l'aspect "paragé" des enjeux qu'il recouvre.

- Les articles scientifiques à l'intérieur de ce dossier sont de haut niveau sans être écrits dans un

langage spécialisé : l'auteur s'adresse à des lecteurs qui ont besoin de l'information scientifique sans nécessairement partager la même discipline ; la lisibilité des articles sert et traduit la communauté des préoccupations.

- L'importance des articles est fixée d'un commun accord avec la rédaction.

- Les illustrations doivent être choisies ou suggérées à la fois pour leurs aspects pédagogiques et attrayants ; les légendes doivent permettre, par leur succession et dans la mesure du possible d'acquiescer une vue synoptique de l'article.

LE CAHIER ARTICLES FONDAMENTAUX

- Le manuscrit de chaque article peut comprendre jusqu'à 20 pages (tableaux, figures ou photos inclus) soit au total 7 pages imprimées (une page imprimée équivaut à 7000 signes - lettres, symboles ou espaces).

- Les articles sont soumis à un comité de lecture désigné par la rédaction et chargé de se prononcer sur la conformité des articles aux critères de scientificité et sur leur pertinence ; des conclusions seront communiquées aux auteurs.

- Les articles, rédigés en français ou en anglais (auteurs étrangers), doivent être accompagnés d'un résumé substantiel et d'une liste de mots clés en français et en anglais.

- Une introduction doit exposer «l'intérêt général» de l'étude.

- Vingt tirés à part sont envoyés aux auteurs pour chaque publication.

PRÉPARATION DES MANUSCRITS

• Supports matériels

Le manuscrit doit être dactylographié, en double interligne, uniquement au recto, chaque page numérotée et accompagnée par les figures et les tableaux. Les mots destinés à apparaître en italique doivent être soulignés.

Chaque manuscrit doit être adressé dactylographié et accompagné d'une saisie sur disquette éditée de préférence en Word et portant les indications suivantes : titre exact du fichier, nom du système d'exploitation (ex : MS DOS, Apple, Unix). Si le logiciel le permet, les enregistrements seront effectués en format «texte» ou «Ascii». Les tableaux doivent être enregistrés dans un fichier séparé.

• Page de titre

La page de titre doit indiquer : (1) le titre en français, court, spécifique, informatif et comprenant un ou deux mots clés destinés à l'indexation ; (2) le titre courant (maximum 50 caractères) ; (3) le prénom de(s) l'auteur(s) suivi de son nom ; (4)

l'adresse de(s) l'auteur(s) comprenant le service, l'institution, la ville, le code postal et le pays. L'auteur auquel la correspondance sera adressée doit être indiqué, et son adresse doit inclure ses numéros de téléphone et de télécopie.

• Références

Les références bibliographiques (trente au maximum) doivent être numérotées dans l'ordre d'apparition dans le texte, appelées dans le texte par un numéro placé entre crochet. Lorsque le nombre des auteurs est inférieur à 6 tous les noms sont indiqués. Lorsqu'il y en a 7 ou plus, indiquez les noms des trois premiers suivis de *et al.*

Les références comprendront dans l'ordre suivant : les noms suivis des initiales des prénoms des auteurs, l'année, le titre de l'article, le titre du journal abrégé selon les normes internationales indiquées dans la liste mondiale des périodiques scientifiques, le volume, les 1ère et dernière pages, ainsi que le nom et la ville de l'éditeur dans le cas des livres. Les références doivent ainsi être présentées de la manière suivante :

1. CRAIGEN WJ, CASKEY CT (1987). Translational frameshifting : where will it stop ? *Cell*, 50 : 1-2.

2. NEILANDS JB (1974). Iron and its role in microbial physiology. In : *Microbial iron metabolism*, JB Neilands, ed. New York : Academic Press, 3-34.

3. MILLER JH (1972). *Experiments in molecular genetics*. Cold Spring Harbor, New York : Cold Spring Harbor Laboratory Press.

• Figures

Un jeu de photographies, ou de figures obtenues avec une imprimante de bonne qualité, ou de documents originaux, doit être fourni pour la reproduction des figures. Les photographies doivent si possible être des documents originaux. Le nombre de figures ne doit pas excéder la dizaine.

• Conventions et abréviations

Les abréviations doivent être définies entre parenthèses lors de leur première citation dans le texte. Les unités, les symboles et la nomenclature doivent respecter les conventions internationales. Les unités, de mesure standard et les symboles d'éléments chimiques seront utilisés sans être définis dans le manuscrit

CORRECTION DES AUTEURS

Les articles préparés avant impression seront envoyés aux auteurs et devront être relus avec soin et renvoyés à l'éditeur sous 48 heures par courrier ou par télécopie.

Full Length Research Paper

Variations in morphological characteristics, lipid content and chemical composition of safou (*Dacryodes edulis* (G. Don) H.J.LAM.) according to fruit distribution. A case study

Thérèse Kinkéla, Rosalie Kama-Niamayoua, David Mampouya and Thomas Silou*

Equipe pluridisciplinaire de Recherche en Alimentation et Nutrition, Pôle d'Excellence, Régional en Alimentation et Nutrition, Faculté des sciences, B.P. 389, Brazzaville Congo.

Accepted 10 May, 2006

A ten year old safou tree studied here bears 2820 fruits gathered on 557 bunches with 1 to 31 fruits on bunch. The fruit distribution was examined according to the geographical orientation (North, South, East, West) and the distance to the ground (Levels I, II, III), from the bottom towards the top of the tree). A sample of ten fruits per orientation and per level (120 fruits) was submitted to a detailed study (morphology, moisture, oil contents, fatty acid and triacylglycerol composition) according to the preceding factors. It was observed that East-West axis charged out 60% of total fruit number and these fruits were more homogeneous than North-South axis, and level III, (top of the tree) carried more than half of the total fruit number. Oil content of pulp increased from level I to level III (18-50%) whereas it varied weakly according to orientation. The fatty acid and triacylglycerol compositions were influenced neither by the orientation, nor by the distance to the ground.

Key words: Please provide key words when replying PROOF LETTER

INTRODUCTION

The safou tree, *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. LAM, belongs to the Burseraceae family. It is a beautiful tree which can reach 8-12 m height, sometimes 20-25 m, when it grows up in dense forest. The safou tree was classified according to Kengue (2002) in the Rauh architectural model. It is characterized by orthotropic type branches. The flowers lead to fruits gathered in bunches.

The safou, local name of *D. edulis* fruit, is a 4-8 cm long by 3-6 cm wide drupe; only its pulp (0.3 - 1.2 cm thickness) is edible and it is consumed after softening

with heat. This pulp presents very good nutritional qualities: 50-70% of lipid content, 15-30% of protein content and 2-5% of ash content on dry weight basis. Pulp oil contains linoleic acid (C18:2, n-6) from 18-27% and oleic acid (C18:1, n-9) from 15-30% (Silou, 1996).

To our knowledge, no correlation is established between the morphology, the nutritional composition of the fruits and their localization on tree. It is known that, according to some works on citrus (Fellahy et al., 1989), the fruit quality varies significantly with the geographical orientation and the position on the canopy. This work aims to provide more knowledge in fruit localization of the safou tree and morphological and chemical consequences of this localization.

Do fruits on the same tree have similar morphology and

*Corresponding author. E-mail: thsilou@yahoo.fr.

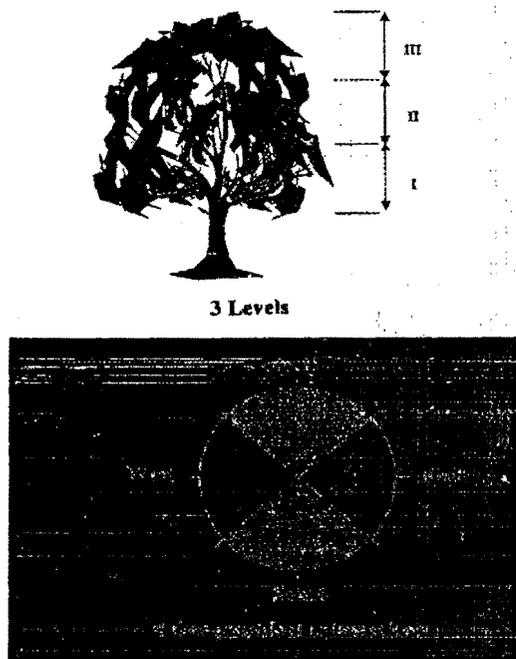


Figure 1. Delimitation of levels and geographical orientations for a tree.

chemical composition or not? Does a natural calibration of these fruits exist? That is the main question of this study. To answer this, we consider the quantitative and qualitative aspects:

- The fruit production at different canopy levels above the ground (levels I, II, III) and geographical orientations: North (N), South (S), East (E), West (W)
- The fruit size and oil composition of these fruits in the different canopy levels and geographical orientations.

The output of this work could provide important information on the management of safou crop for industrial or domestic uses (Silou, 1996; Kanmegne et al., 1996).

MATERIALS AND METHODS

Vegetable material

The studied tree is localized in Loufoulakari (District of Loungui, Pool Region, the Congo-Brazzaville). This approximately 10 years old tree with a fruit production of 100 kg/year on average was divided into three levels from the ground to the top and four geographical orientations (Figure 1).

- Fruits of each level and each orientation were gathered and counted.
- 10 fruits per orientation and per level amounting to a 120 fruit sample for the 3 levels and the 4 geographical orientations

were randomly chosen. They were used to determine the morphological characteristics, the moisture and oil contents.

- 10 fruits per orientation (3 fruits for level I, 3 fruits for level II, 4 fruits for level III), giving a total of 40 fruit sample for the 4 orientations, were used for fatty acid (FA) and the triacylglycerol (TAG) analysis.

Morphological and physical characteristics

Number of bunches: The flowers of the safou tree can be male, female or bisexual. They gather in panicle whose complexity varies with the sex and the age of the safou tree. These panicles lead to fruit bunches.

Morphological characteristics: The studied morphological characteristics are the length and the width of the fruit, the thickness of pulp, as previously defined (Silou, 1996).

Mass of the entire fruit and the mass of pulp: Using a balance, the entire fruit was weighed to obtain the total mass (M_t). After withdrawal of the seed, the pulp was weighed to obtain pulp mass (M_p). Here pulp means exo-, meso- and endocarp.

Specific gravity of the fruit: Specific gravity was measured as previously described (Silou, 1996).

Chemical composition of the fruit

Moisture content: The fruit was opened lengthwise using a knife and the seed was removed. The moisture content is given as: $[(M_1 - M_2) / M_1] \times 100$. M_1 is the mass of fresh pulp and M_2 the mass of the dried pulp (drying in oven at 105°C until constant mass),

Oil content: The pulp was dried, crushed and weighed (mass M_1) and then introduced into a Soxhlet extractor. After a 5 h extraction with petroleum ether, the extract was dried with sodium sulphate. The solvent was evaporated in a rotary vacuum evaporator and the solvent traces were eliminated by drying oil in an oven at 103°C for 6 h. M_2 is the mass of extracted oil. The oil content is given as: $(M_2 / M_1) \times 100$.

Fatty acid (FA) analysis by gas chromatography (CG): After the trans esterification of fatty acids by sodium methylate 0.5 N in methanol at ambient temperature during 2 min and under agitation, fatty acid methyl esters (FAME) were analyzed by gas chromatography (Becker-Packard, Rungis, France, model 417), provided with wide bore column (30 m length and 0.4 mm in inner diameter) coated with carbowax 20 M (Applied Science labs, State College, Pa, the USA). The analyses were made at a constant temperature 195°C with a nitrogen flow of 3 ml/min under a pressure of 0.5 bar. The injector and detector (FID) temperatures were respectively: 230 and 220°C (Kinkéla and Bézard, 1993).

Triacylglycerol (TAG) analysis: Triacylglycerols were isolated from the total lipids by column chromatography (45 g silicic acid, 100 mesh and pentane : diethyl ether, 80:20, v:v as solvent) and their purity tested by thin layer chromatography (Kieselgel 60G, thickness 250 μm) with hexane : diethyl ether : methanol : acetic acid (90:20:3:2, v/v/v/v) as solvent system.

The purified TAG were analyzed by reverse-phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) with a Waters 510 chromatograph (Waters, Milford, MA, USA) provided by a stainless steel column (250 mm x 4.6 mm; 4 μm; Hibar Lichrospher 100 CH-

Table 1. Distribution of the fruits by bunch, according to geographical orientation safou tree.

Number of fruits	Number of bunches				
	N	S	E	W	Total
1	31	24	22	30	107
2	20	20	30	26	96
3	12	10	22	17	61
4	9	16	19	16	60
5	5	7	11	12	35
6	7	7	4	10	28
7	6	4	11	12	33
8	5	3	7	5	20
9	7	3	5	5	20
10	5	2	4	4	15
11	11	6	2	3	16
12	2	1	2	4	9
13	4	1	3	4	12
14	2	-	2	3	7
15	-	-	4	2	6
16	-	-	1	5	6
17	-	1	3	-	4
18	-	-	1	3	4
19	1	-	1	-	2
20	-	1	-	3	4
21	2	-	-	1	3
22	1	-	-	1	2
23	-	-	-	2	2
24	-	-	1	-	1
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	1	-	-	1	2
28	-	1	-	-	1
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	1	-	-	-	1
Total	126	103	158	170	557

18, Merck), an automatic injector system (Waters 717) and a refractometric detector (Waters 996 Photodiode Array Detector). Analyses were carried out at ambient temperature (19-21°C), using acetone-acetonitrile (70:30, v:v) as solvent system with 1 ml/min of rate flow. Data processing was carried out using Azur v2.0 software, Datalys, Saint Martin d' Hères, France (Kinkéla and Bézard, 1993).

RESULTS AND DISCUSSION

Number of bunches on the tree and fruit morphology

Table 1 shows the distribution of bunches on the tree, according to the increasing ratio of fruit per bunch. It appears that:

- The number of fruits in a bunch varies from 1-31 with 5 fruits per bunch in average for the tree.
- This ratio for North and level II was 1 unit higher than of this average value.
- And ratios for South, East, West orientations and levels I, III have the average value.

Table 2 shows the bunch and fruit distributions according to the level (levels I, II, III) and the geographical orientations (N, S, E, W). Generally, the average ratio "number of fruits per bunch" is independent of the level to the ground and geographic orientation. It is also interesting to note that:

- 70% of bunches have from 1-6 fruits/bunch on a range between 1 and 31 fruits.
- The East-West axis has 60% of fruits, while the top of the tree (level III) carries more than half of the total fruits of the tree.
- The ratio of the immature fruits was on average 7%, except the south orientation, where it was nearly 1.5 times larger (10%).

Table 3 presents the morphological characteristics, moisture and oil content according to the level to the ground and the fruit localization on the tree. In reference to previously classification (Silou et al., 2002), studied safous belong to size II. The low values of the standard deviations of the morphological characteristics show a good fruit homogeneity on studied tree.

Chemical composition of the fruits

The oil content (Table 3) varies from 18 (level I) to 50% (level III); the fruits of the top of the tree were more oily than those which are closest to the ground. It follows that, for oil extraction with a good output, it would be necessary to gather much more safous fruits localized in levels III and II; the safous in level I could be used as current food for domestic consumption. The 4 orientations have similar oil content. Table 4 and Figure 2 show the fatty acids composition of safou pulp oil according to geographic orientation. The FA profile remains always the same; C16:0>C18:1 n-9>C18:2 n-6>C18:3 n-3.

The saturated, mono-unsaturated, poly-unsaturated fatty acid contents range between 50 and 54%, 24 and 30%, and 20 and 25%, respectively. Safou pulp oil contains a limited number of FA but whose percentage has interesting nutritional value. Palmitic acid is the main FA as in palm oil. Linoleic acid, present in noticeable accounts is nutritionally worth while. Consequently (% polysaturated FA) / (% saturated FA) with C18:2/C18:3 ratios respectively ranging between 0.4 and 0.5, 11 and 15, also deserve attention. These results agree with

Table 2. Distribution of the fruits of a tree by level to the ground and geographical orientation.

	Number of bunches (%)	Number of ripe fruits (%)	Number of immature fruits (%)	Mean fruits/bunch
Levels				
I	139 (24.9%)	689 (24.3%)	67 (8.8%)	5
II	151 (27.1%)	902 (3.0%)	81 (8.2%)	6
III	267 (47.3%)	1232 (43.7%)	71 (5.4%)	5
Total (Levels)	557 (100%)	2820 (100%)	219 (100%)	5
Orientations				
North	126 (22.6%)	697 (24.7%)	50 (6.7%)	6
South	103 (18.5%)	438 (15.5%)	50 (10.2%)	5
East	158 (28.4%)	772 (27.4%)	57 (6.9%)	5
West	170 (30.5%)	913 (32.4%)	62 (6.4%)	5
Total (Orientations)	557 (100%)	2820 (100%)	219 (100%)	5

Table 3. Distribution of the fruit characteristics on the same tree.

	Level	Length *	Width *	Thickness*	Mt *	Mp *	Specific gravity	Molsture* Content	%Oil **
North	I	5,9 (0,3)	3,5 (0,1)	0,6 (0,06)	44 (4,4)	31 (3,9)	0,9 (0,07)	79,8 (1,3)	19,1
	II	5,9 (0,3)	3,6 (0,1)	0,6 (0,03)	45 (5,7)	30 (0,1)	1,0 (0,09)	78,2 (3,2)	36,3
	III	6 (0,1)	3,5 (0,05)	0,6 (0,05)	44,5 (2,6)	30 (0)	0,9 (0,06)	73,5 (3,1)	51,2
South	I	5,7 (0,1)	3,4 (0,1)	0,6 (0,04)	35,5 (4,9)	23 (4,4)	0,9 (0,08)	70,4 (6,8)	19,7
	II	5,7 (0,1)	3,5 (0,1)	0,6 (0)	38,5 (3,3)	28,5 (3,3)	0,9 (0,05)	79,8 (2,4)	33,4
	III	5,7 (0,2)	3,4 (0,1)	0,6 (0,05)	37 (5,3)	24 (3,9)	1,0 (0,06)	66,3 (5,5)	50,9
East	I	6,1 (0,1)	3,6 (0,1)	0,6 (0,04)	42,5 (4,8)	29 (2,6)	0,9 (0,05)	73,7 (6,7)	18,2
	II	5,9 (0,3)	3,9 (0,2)	0,6 (0,05)	44,5 (6,4)	32,5 (4,2)	1,0 (0,03)	75,9 (3,4)	46,3
	III	5,7 (0,2)	3,4 (0,1)	0,6 (0,07)	39,25 (4,09)	29 (2,6)	1,0 (0,07)	77,4 (3,6)	45,7
West	I	5,7 (0,2)	3,4 (0,1)	0,6 (0,04)	40 (3,5)	29 (2,6)	0,9 (0,04)	77,5 (1,8)	18,7
	II	5,9 (0,1)	3,4 (0,08)	0,6 (0,04)	45,5 (4,9)	32,2 (2,4)	1,02 (0,04)	75,1 (4,01)	38,8
	III	5,7 (0,3)	3,4 (0,1)	0,6 (0,04)	41 (5,1)	29 (3,1)	1,01 (0,05)	72,5 (3,1)	48,5

* mean of 10 measurements (standard deviation); ** Mean of 3 measurements.
Mt = Mass of fruit; Mp = Mass of pulp.

those previously published (Omoti et al., 1987; Tchendji

et al., 1987; Bézard et al., 1991; Kapseu et al., 1996;

Table 4. FA composition (% m/m) of safou pulp oils according to the geographical orientations on a same tree.

	North	South	East	West	Mean (standard deviation)
C14:0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1 (0.05)
C16:0	50.7	49.1	47.2	48.2	48.8 (1.48)
C16:1 n-7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3 (0.02)
C17:0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1 (0.01)
C18:0	2.8	2.3	2.6	2.5	2.6 (0.2)
C18:1 n-9	23.9	25.5	29.3	23.7	25.5 (2.7)
C18:2 n-6	20.0	20.7	19.1	22.6	20.6 (15)
C18:3 n-3	1.8	1.5	1.3	2.1	1.7 (0.4)
C20:0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2 (0.02)
C20:1 n-9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Saturated FA	54.0	51.9	50.1	51.2	51.8
Mono-insaturated FA	24.2	25.8	29.6	24.1	25.9
Poly-insaturated FA	21.8	22.3	20.4	24.7	22.3
(% polyinsat.)/(%saturated)	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
(% C18:2) / (% C18:3)	11.1	13.8	14.7	10.8	12.6

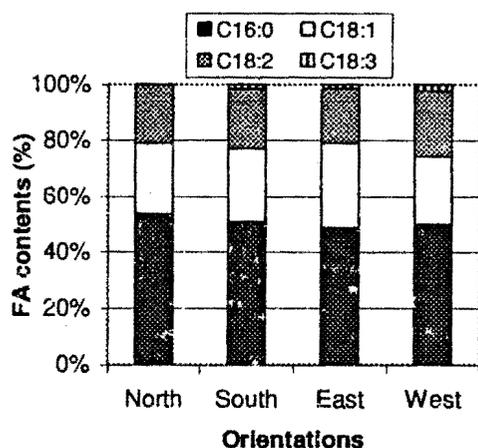


Figure 2. Histograms of FA contents (%) of safou pulp oils according to the orientation.

Silou, 1996; Silou et al., 2002; Mbofung et al., 2002). These 3 main FAs lead to 5 major TAGs (Table 5) and following TAG profiles according to orientation are observed:

- North: PPO > PPL > POO > POL > PLL;
- West: PPO > PPL > POO > POL > PLL;
- South: PPO > POO > PPL > POL > FLL.
- East: PPO > POO > PPL > POL > PLL

where P, O, L are palmitic, oleic, linoleic acids. POO content increases when one passes from West and North

orientations to South and East ones. POO became the second more important TAG for East and South orientations. Generally the 4 profiles were very similar. The "radar plot" graphic allows best visualization of this similarity. Figure 3 shows similar representative forms of studied oils. Each component content on the corresponding axis defines the representative point of the component. All representative points connected by straight segments define a geometrical figure which is characteristic of the considered oil. Safou pulp oil composition was the same for all fruits of this tree. Geographical orientations had no significant influence on fruit composition in the same tree.

CONCLUSION

On a range from 1-31 fruits, the majority of bunches carry 1-6 fruits (70%). East-West axis bears 60% of total fruits on the tree. The top of the tree (level III), carrying 60% of fruits, gathers the most oily fruits (50% of oil content) irrespective of the geographical orientations. Morphological characteristics and chemical composition of studied fruits were homogeneous. One can conclude that there was a natural calibration of the fruits of the same tree. This conclusion is very important for the development of industrial safou crop.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the "Agence d'Investissement dans la recherche à l'Étranger", French

Table 5. TAG composition (% m/m) of safou pulp oils according the geographical orientations on a same tree.

	North	South	East	West	Mean (standard deviation)
OOO	1.9	1.0	0.6	2.9	1.6 (1.0)
PLL	11.0	8.5	7.4	13.8	10.2 (2.8)
POL	12.6	12.8	13.1	13.9	13.1 (0.6)
PPL	23.3	20.9	18.2	24.2	21.6 (2.7)
POO	15.7	24.3	21.0	14.7	18.9 (4.5)
PPO	28.4	28.1	32.2	25.0	28.4 (2.9)
PPP	3.7	1.7	4.1	3.1	3.2 (1.0)
PSO	3.4	2.7	3.3	2.4	3.0 (0.5)

P = palmitic acid (C16:0) ; O = oleic acid (C18:1) ;
L = linoleic acid (C18:2) ; S = stearic acid (C18:0)

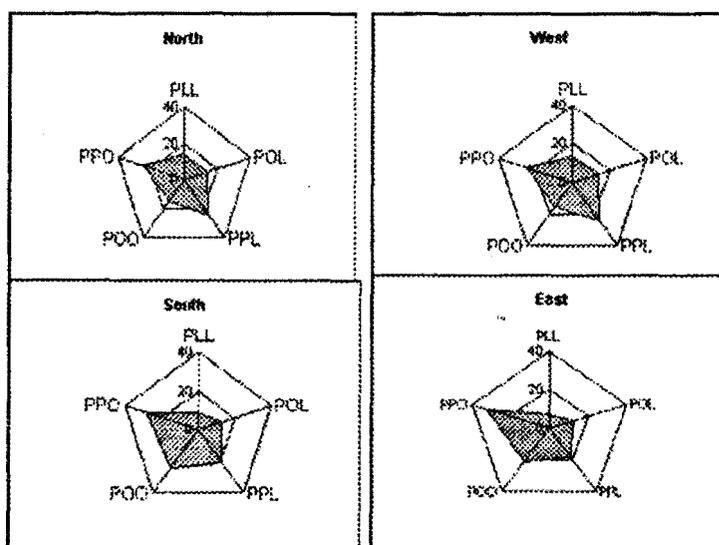


Figure 3. "Radar-plot" representations of TAG profiles of safou pulp oils according to the geographic orientations.

Co-operation, (Aire Development, Convention B-3-COG-004-1).

REFERENCES

- Bézar J, Silou T, Kiakouama S, Sempore G (1991). Variation de la fraction glycéridique de l'huile de la pulpe de safou avec l'état de maturité du fruit, Rev Fr. Corps Gras. (7/8): 233-241.
- Fellahi E, Moon Jr JW, Moussavi Z (1989). Quality and element content of citrus fruit from exposed and internal canopy position, J. Plant Nutr. 12 (8): 939-951.
- Kapseu C and Tchiegang C (1996). Composition de l'huile des fruits de deux cultivars de safou au Cameroun. Fruits. 51 (3):185-191.
- Kengue J., 2002. Safou (*Dacryodes edulis*). Monographie. Centre International des cultures sous utilisées, Southampton. p.150
- Kenmegne Kandem AT, Ali A, Tchiegang C and Kapseu C (1996). Problématique de la production d'huile de safou au Cameroun, Fruits. 52(5): 325 - 330.
- Kinkéla T, Bézar J (1993). Etude de la structure des triacylglycérols de l'huile de la pulpe de safou (*Dacryodes edulis*), Rev. Fr. Corps Gras. 40 (11/12): 273 - 382.
- Mbofung CMF., Silou T, Mouragadja I (2002). Chemical characterization of safou (*Dacryodes edulis*) and evaluation of its potential as an ingredient in nutritious biscuits, Forest, Trees and Livelihood 12: 105 - 117.
- Omoti U, Okiy AD (1987). Characteristics and composition of pulp oil and cake of African pear *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J.LAM., J. Sci. Food Agric. 38: 67-72.
- Silou T, (1996) Le safoutier (*Dacryodes edulis*), un arbre mal connu, Fruits 51: 47 - 60.
- Silou T, Rocquelin G, Mouragadja I, Gallon G, (2002). Chemical composition and nutritional characteristics of safou of Cameroon, the Congo-Brazzaville, the Congo-Kinshasa and Gabon. Riv. Ital. Sostanze Grasse. 79: 177 - 182.
- Tchendji C, Severin M, Wathelet J, Deroanne C (1987). Composition de la graisse de *Dacryodes edulis*, Rev. Fr. Corps Gras. 28 (3): 123 - 125.

2. Fiche d'enquête

ENQUETE SAFOUTIER

VOLET I : VILLAGE

I - INFORMATIONS GENERALES

- Nom du village :
- District :
- Région :
- Noms, adresse du responsable du village:
- Noms, adresse de l'enquêteur:

01	- Nombre de ménages du village	<input type="text"/>
02	- Nombre d'habitants	<input type="text"/>
	- Voies d'accès	
03	*route(s)	<input type="text"/>
04	*rail	<input type="text"/>
05	*air	<input type="text"/>
	- Etat d'entretien de la route	bon mauvais
06	* en saison sèche	<input type="text"/> <input type="text"/>
07	* en saison des pluies	<input type="text"/> <input type="text"/>
08	- Distance entre le village et le Chef-lieu de district (km).	<input type="text"/>
	- Existence de :	OUI NON
09	* cours d'eau	<input type="text"/> <input type="text"/>
10	* point d'eau	<input type="text"/> <input type="text"/>
11	* distribution d'eau	<input type="text"/> <input type="text"/>
12	* distribution d'électricité	<input type="text"/> <input type="text"/>

13 * projet de distribution d'électricité

II - ECOLOGIE

- Le village se situe-t-il OUI NON

14 * en zone forestière ?

15 * en zone de savane ?

- Les sols sont-ils

16 * argileux ?

17 * argilo-sablonneux ?

III - AGRONOMIE

- Quelles sont les principales cultures vivrières ?
(par ordre d'importance décroissante)

18 1

19 2

20 3

21 4

22 5

- Quelles sont les principales cultures industrielles
(par ordre d'importance décroissante)

23 1

24 2

25 3

- Quels sont les oléagineux utilisés ?
(par ordre d'importance décroissante)

26 1

27 2

28 3

29 4

3. Guide de l'enquêteur

LE GUIDE DE L'ENQUÊTEUR

GENERALITES

1. L'enquêteur présentera aux responsables administratif et agricole du village, les objectifs poursuivis par l'étude à laquelle ils seront associés. L'importance de cette étude au niveau des retombées alimentaires et économiques sur le plan national sera développé.

2. L'enquêteur sollicitera auprès des responsables administratif et agricoles locaux, les appuis et autorisations pour rencontrer les chefs de ménage de planteurs et ce, à concurrence d'un minimum de 10% représentant au moins 4 planteurs par village. Dans toutes la mesure des possibilités, les planteurs seront choisis dans les classes d'ages suivantes :

1 entre 18 et 29 ans

1 entre 40 et 49 ans

1 entre 30 et 39 ans

1 entre 50 et 59 ans

Les planteurs exerçant une autre profession à titre principal, par exemple instituteurs, seront à exclure de l'échantillon.

Dans toute la mesure du possible, le choix des planteurs pour chacune des catégories fera après concertation entre les autorités locales et l'enquêteur.

3. L'enquêteur veillera à rencontrer le planteur au moment le plus opportun dans la journée. Il posera les questions avec tact et cordialité.

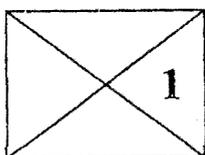
4. A l'issue de la mission dans le village, l'enquêteur fera rapport aux responsables du village et les remerciera en promettant les informer des résultats et suivis des travaux. A cette occasion, il se gardera de faire des promesses et acceptera les remarques et suggestions des personnes rencontrées.

UTILISATION DE LA FICHE ENQUETE INDIVIDUELLE (F.E.I.)

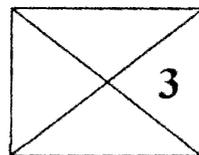
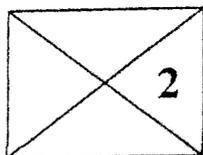
Chaque fois que le personne interrogée répondra négativement à l'une des questions posée, l'enquêteur cochera la case « NON ». Ceci permettra aux vérificateurs qu'il n'y a pas eu d'omission de la part de l'enquêteur.

F.E.I./ 1.- plusieurs réponses positives pourront être données, dans ce cas elles porteront un indice traduisant l'importance relative accordée à cet élément de réponse.

Exemple : si l'auto-consommation du village en safou prévaut, la case « OUI » sera cochée et complétée par indice 1.



Les autres utilisateurs seront, suivant leur importance, traduites par :



F.E.I./ 3.- Le planteur pourra indiquer les diverses interventions et l'enquêteur doit en conséquence prendre en considération chacune de celles-ci sans se soucier de l'importance des interventions (chef de ménage, enfants, épouse etc...).

F.E.I./ 5.- La réponse concernant l'utilisation principale des fruits sera seule retenue.

F.E.I./ 6.- Les propriétés médicinales seront précisées en quelques mots et la case correspondant à la réponse sera cochée.

F.E.I./ 7.- Les cultures fruitières sont exclusivement celles produites par des arbres. Par exemple, la culture d'ananas est exclue.

F.E.I./ 8.- au cas où le propriétaire hésiterait, pour diverses raisons, à préciser le nombre de safoutiers cultivés, une estimation sérieuse se basant par exemple sur la superficie cultivée et la densité des plants sera prise en considération.

F.E.I./ 9.- l'enquêteur précisera :

- a) le nombre d'unité de l'étalon utilisé par le producteur.
- b) la capacité de l'étalon ou à défaut, dans la rubrique remarque particulière, il décrira de manière précise l'étalon concerné (longueur, largeur, hauteur) ; au besoin il diminuera ce dernier.

F.E.I. /10.- l'époque de la récolte :

La lettre α (alpha) désigne le mois du début de la récolte.

La lettre ω (oméga) désigne le mois de la fin de la récolte.

Exemple : si la récolte se situe entre novembre et janvier, l'enquêteur notera sous 10 et sous 01.

F.E.I. /11. : la période de la production des safoutiers est comprise entre X et Y années.

X correspond à l'âge moyen de l'entrée en fructification (depuis la plantation).

Y correspond à l'âge moyen auquel le planteur estime que la production est moins intéressante et ce, pour quelles que raisons que ce soient (difficultés de la cueillette, diminution du nombre de fruits etc..)

F.E.I./ 12. : dans les remarques particulières l'enquêteur mentionnera les observations du producteur.

Exemple : technique particulière de multiplication, arbre précoce ou tardif etc....)

UTILISATION DE LA FICHE ENQUETE VILLAGE. (F.E.V.)

Les objectifs poursuivis par les questions reprises par cette fiche visent à cerner les intérêts des motivations des populations locales pour les production agricoles et plus spécialement celle du safou.

Il s'agit en fait de cerner le cadre socio-économique et biotechnique de la culture du safou.

Les question posées à ce stade n'appellent aucune précision ou remarque particulièrement mais avant de compléter cette fiche, l'enquêteur s'enquerra auprès des responsables compétents en matière agricole pour le district, de l'existence ou non d'un recensement des principales cultures au niveau des villages.

En effet, au cours du sondage sur le terrain, l'équipe dirigeante a pu, de-ci, de-là, prendre connaissance au niveau du district, de recensement intéressant constituant une base de travail fort intéressante.

RESUME



L'objectif principal de cette étude a été l'évaluation de manière globale et pluridisciplinaire des contraintes à surmonter au cours du processus de production de l'huile à travers la mise au point d'une méthode de quantification de la production de safous dans une zone écologique donnée (cas du district de Boko), la caractérisation des fruits sur le plan morphologique, physicochimique et nutritionnel ; et l'évaluation des potentialités technologiques des fruits pour l'extraction de l'huile à partir de la pulpe (extraction, composition, stabilité).

Une méthodologie d'évaluation de la taille et de la production des vergers en milieu rural a été proposée et des échantillons de fruits représentatifs du district de Boko ont été récoltés. La production des safous dans ce district a été évaluée à 2000 tonnes/an ; elle est constituée des fruits, dans leur grande majorité, de type ellipsoïdal, qui forment donc groupe relativement homogène tant sur le plan morphologique que chimique. Il apparaît donc que la culture du safou, orientée par le marché, a réduit la biodiversité, aussi bien sur le plan morphologique que chimique. Il y a eu une standardisation, peut-être involontaire, du calibre et de la composition du fruit ; ce qui pourrait être un atout pour l'amélioration et la sélection du safoutier.

Au terme de ce travail, nous avons pu esquisser le profil du fruit idéal pour l'huilerie : calibre : 6 cm x 3 cm ; masse : 40 - 70 g ; teneur en protéines < 10 % ; teneur en huile > 50 % ; teneur en C16 : 0 < 50 % ; teneur en C18 : 1 ~ 25 % ; teneur en C18 : 2 ~ 25 %

L'analyse régiospécifique des triacylglycérols par spectrométrie de résonance magnétique nucléaire (R.M.N) du carbone 13 corroborent les résultats de la littérature obtenus avec les méthodes classiques et confirment en particulier l'occupation de la position centrale dans différents TAG par C18 : 1 n-9 et C18 : 2 n-6 et à des proportions respectivement de 54 % et de 45 %, établissant ainsi l'intérêt nutritionnel de l'huile de la pulpe de safou.

La simulation du vieillissement naturel par chauffage modéré a permis d'établir que l'augmentation de la température de chauffage pour même durée de chauffage produit le même effet que l'augmentation de la durée de chauffage pour une même température à savoir : stabilité de la teneur en C18 : 1 ; baisse importante de la teneur en C18 : 2 ; disparition de C18 : 3 et augmentation apparente de C16 : 0.

Ainsi, se trouve balisé le chemin pour des études plus ponctuelles et plus approfondies des différents maillons du procédé de production de l'huile à partir de la pulpe de safou au Congo-Brazzaville

Mots clés : Morphologie, composition chimique, altération, huile, safou, *Dacryodes edulis* Chimie, Congo-Brazzaville.