

Université d'Etat d'Haïti

(UEH)

Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire

(FAMV)

Département de Génie Rural

(GNR)

Étude comparative des performances de quatre (4) variétés de bananier cultivées en Haïti dans la production de fibres pour la fabrication de papiers et des produits dérivés.

Mémoire

Présenté par ALPHONSE Francis

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome

Option : Génie Rural

Juin 2004

Étude comparative des performances de quatre (4) variétés de bananier
Cultivées en Haïti dans la production de fibres pour la fabrication de papiers
et des produits dérivés.

REMERCIEMENTS

Une page ne pourrait contenir les remerciements que je souhaiterais exprimer à tous ceux qui m'ont accompagné dans ce travail. Pour être bref, je commencerais par témoigner de ma reconnaissance à :

- ❖ Dieu, le Coordonnateur de l'Univers ; c'est à Lui que je dois ma vie et mon intelligence
- ❖ Ing-Agr. Kednal Alexis, mon conseiller scientifique ; il m'a fourni son encadrement depuis la définition du thème de l'étude jusqu'à la soutenance. Je le remercie également de la confiance qu'il a placée en moi dans l'orientation du travail.
- ❖ Professeur Morishima de l'Université Nagoya (Japon) pour ses exposés magistraux et les réponses pertinentes qu'il a apportées à la plupart de mes questions
- ❖ Ing. Louis Honoré Pierre pour ses encouragements et ses remarques éclairantes. Son appui scientifique aura été bref, mais efficace et très profitable.
- ❖ Madame Annie Pierre pour avoir mis à notre disposition tous les moyens possibles à la réalisation des analyses de laboratoire
- ❖ Agr. Patrice Charles pour son exposé sur le bananier.
- ❖ L'Ambassade du Japon en Haïti pour nous avoir fourni certains moyens logistiques
- ❖ Ing. Lucien Duvivier et Agr. Hans Guillaume pour leurs précieux apports
- ❖ Mes amis, Ing-Agronomes Dessalines Dufresne, Aubourg Marcelin et Alténor Sandro ; leur contribution nous aura été très utile surtout dans les analyses de laboratoire et les opérations à l'atelier de production de fibres de l'Arcahaie
- ❖ Madame Nudelle Pierre de l'Université Quisqueya : elle nous a permis de trouver les documents nécessaires à la réalisation des tests de contrôle de qualité
- ❖ Mes professeurs de FAMV
- ❖ Mes camarades de promotion : Moïse, Seth, Stéphane, Ramsès et Delva
- ❖ Des étudiants Zita, Marie Ritlande de l'Université Episcopale, ainsi que Guesly, Fayette, Guédry, Dominique de FAMV qui ont participé à l'évaluation sensorielle
- ❖ Mes sœurs Immacula et Sandra Alphonse
- ❖ Madame Betty Metellus Alphonse
- ❖ Ma cousine Nerline Alphonse pour m'avoir toujours accompagné sur le terrain
- ❖ Mon amie, Laiscelise Bonheur pour ses précieuses contributions
- ❖ Désir Lener et Michael Raymond
- ❖ Mes frères et sœurs Saints des Derniers Jours
- ❖ Enfin, je ne saurais terminer cette liste sans remercier ma mère Ojotine Aubourg qui m'a toujours soutenu dans mes choix et encouragé tout au long de mon cursus.

RÉSUMÉ

La consommation mondiale de papier n'a cessé d'augmenter malgré le développement des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC). En effet, estimée à près de 130 millions de tonnes en 1970 (WAYMAN, 1970), elle est passée à 267,5 millions de tonnes en 1994 (www.yahoo.fr, Hachette Multimédia, 2001), soit une augmentation de plus de 100% en moins de 25 ans.

La recherche de nouvelles matières premières pour la fabrication de papier et des produits dérivés devient un sujet de grande préoccupation internationale face au recul des forêts dans le monde. C'est ainsi que le recyclage des papiers usagés et l'utilisation des matières premières non fibreuses ont été proposés. Dans cette catégorie se situe le projet de papier-banane.

Haïti figure parmi les pays manifestant l'intérêt pour ce projet en raison de sa place dans la production mondiale de bananes (30^e producteur avec une production de plus de 290,000 tonnes en 1998), de son degré d'analphabétisme (55% en 1997), de la précarité de son économie (PIB/habitant < US \$ 400), de sa fuite de devises relative à la consommation de papiers et des produits dérivés (plus de 5 millions de dollars américains au cours de la période 1978-1979).

La présente étude établit les aptitudes de quatre (4) variétés de bananier (musquée, figue France, irfa-909, irfa-910) cultivées en Haïti à fournir des fibres de qualité acceptable et en quantités suffisantes pour la fabrication de papier-banane et des produits dérivés. On a constaté que le rendement en fibres de bananier (2-3%) est faible par rapport à celui trouvé au Japon (10%), que la technologie d'extraction utilisée en Haïti se révèle très peu efficace et que le poids spécifique des espèces forestières (plus de 300 kg/m³) dépasse de loin celui des fibres de bananier (11 à 15,8 kg/m³). On a remarqué, en outre, que la variété musquée donne le meilleur rendement en fibre (3%), tandis que le rendement le plus élevé possible à l'hectare (2641 Kg) est obtenu avec la variété exotique Irfa-909, laquelle variété fournit un volume de déchets par pied plus élevé. Les fibres de bananier contiennent moins de cellulose (24 à 35%) que le bois (40 à 52%). Les variétés Irfa-909 et Musquée dont les teneurs en lignine sont les plus élevées (respectivement 39,76 et 36,82) opposent une plus forte résistance à l'étirement. Néanmoins, le meilleur niveau de blancheur a été observé pour la variété figue France, celle qui est moins riche en lignine et le mieux pourvue en cellulose après la Musquée.

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES	Error! Bookmark not defined.
REMERCIEMENTS.....	1
RÉSUMÉ	4
TABLE DES MATIÈRES	5
LISTE DES TABLEAUX.....	8
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES SIGLES, ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	10
LISTE DES ANNEXES	11
<u>CHAPITRE I : INTRODUCTION</u>	1
<u>I.1- PROBLÉMATIQUE</u>	1
<u>I-2- OBJECTIFS DE L'ÉTUDE</u>	3
<u>I-2-1- OBJECTIF GÉNÉRAL</u>	3
<u>I-2-2- OBJECTIFS SPÉCIFIQUES</u>	3
<u>I-3- HYPOTHÈSES DE TRAVAIL</u>	4
<u>I-4- INTÉRÊTS DE L'ÉTUDE</u>	4
<u>I-5- LIMITES DE L'ÉTUDE</u>	4
<u>CHAPITRE II: REVUE DE LITTÉRATURE</u>	5
<u>II-1- GÉNÉRALITÉS SUR LE BANANIER</u>	5
<u>II-1-1- HISTOIRE</u>	5
<u>II-1-2- CLASSIFICATION BOTANIQUE</u>	5
<u>II-1-3- DESCRIPTION DU BANANIER</u>	6
<u>II-1-4- CARACTERISTIQUES DES CULTIVARS LES PLUS RÉPANDUS</u>	7
<u>II-1-4-1 CHEZ LES BANANES DESSERT</u>	7
<u>II-1-5- ÉCOLOGIE DU BANANIER</u>	9
<u>II-1-5-1- LATITUDE</u>	9
<u>II-1-5-2- ALTITUDE</u>	9

<u>II-1-6- LA CULTURE DE BANANE EN HAITI</u>	9
<u>II-2- A PROPOS DES BANANES ET DU PAPIER-BANANE</u>	21
<u>II-3- COMPOSITION DE LA MATIERE FIBREUSE</u>	11
<u>II-3-1- CELLULOSE</u>	11
<u>II-3-2- LES HÉMICELLULOSES</u>	22
<u>III-3-3-LA LIGNINE</u>	22
<u>II-3-4-LES MATIÈRES EXTRACTIBLES</u>	23
<u>II-3-4-2-LES SUBTANCES</u>	23
<u>III-3-4-3-LES TANINS</u>	23
<u>II-4 CRITERES D’APTITUDE DES RESSOURCES FIBREUSES</u>	23
<u>II-4-1-DISPONIBILITE DES FIBRES DE BANANIER EN HAITI</u>	23
<u>II-4-2-APTITUDE TECHNIQUE</u>	23
<u>II-4-3- RENTABILITÉ</u>	24
<u>II-5- LES OBJECTIFS DU PROJET DE PAPIER-BANANE (PPB)</u>	24
<u>CHAPITRE III : MÉTHODOLOGIE</u>	27
<u>III-1- MATERIELS UTILISÉS</u>	27
<u>III-1-1- MATÉRIELS PHYSIQUES</u>	27
<u>III-1-2- MATÉRIELS BIOLOGIQUES</u>	27
<u>III-1-3- RÉACTIFS CHIMIQUES</u>	27
<u>III-2- MÉTHODE</u>	27
<u>III-2-1- COLLECTE DES PSEUDO-TRONCS DE BANANIER</u>	29
<u>III-2-2- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES PSEUDO-TRONCS</u>	29
<u>III-2-2-2-LE DIAMETRE (D)</u>	29
<u>III-2-2-3-LA HAUTEUR (H)</u>	29
<u>III-2-2-4-LE VOLUME</u>	30
<u>III-2-3- PREPARA TION DES FIBRES DE BANANIER POUR LE DEFIBRAGE</u>	19
<u>III-2-4- DISPOSITIF EXPERIMENTAL</u>	19
<u>III-2-5-EXTRACTION DE FIBRES</u>	19
<u>III-2-6-RENDEMENT EN FIBRES</u>	31
<u>III-2-7-RENDEMENTS POSSIBLES A L’HECTARE</u>	31
<u>III-2-8-POIDS SPÉCIFIQUE DES FIBRES</u>	31

<u>III-2-9- ANALYSES CHIMIQUES DES FIBRES</u>	32
<u>III-2-9-1-PREPARATION DES ECHANTILLONS</u>	32
<u>III-2-9-2-HUMIDITE</u>	32
<u>III-2-9-3-MATIÈRES EXTRACTIBLES</u>	32
<u>III-2-9-4 CELLULOSE</u>	33
<u>III-2-9-5-LIGNINE</u>	33
<u>III-2-10-CONTRÔLE DE QUALITÉ</u>	33
<u>III-2-10-1-SÉLECTION ET FORMATION DES ÉVALUATEURS</u>	33
<u>III-2-10-2-COULEUR (BLANCHEUR) DES FIBRES</u>	34
a) <u>ÉVALUATION</u>	34
b) <u>TRAITEMENT DES RESULTATS</u>	35
<u>III-2-10-3- RESISTANCE À L'ÉTIREMENT</u>	36
a) <u>EVALUATION</u>	36
<u>DISPOSITION DES FIBRES DE BANANIER VARIÉT'ES SUR LA TABLE</u> <u>D'ÉVALUATION</u>	36
a) <u>TRAITEMENT DES RÉSULTATS</u>	37
<u>Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS</u>	31
<u>IV-1-CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES PSEUDO-TRONCS DE BANANIER</u>	31
<u>IV-2- RENDEMENTS EN FIBRES</u>	31
<u>IV-3- RENDEMENTS POSSIBLES À L'HECTARE</u>	43
<u>IV-4-POIDS SPECIFIQUE</u>	44
<u>IV-5- COMPOSITION CHIMIQUE DES FIBRES DE BANANIER</u>	45
<u>IV-6- CONTRÔLE DE QUALITE DES FIBRES</u>	46
<u>IV-6-1- LA COULEUR (blancheur)</u>	46
<u>IV-6-2-LA RESISTANCE A L'ETIREMENT</u>	48
<u>CHAPITRE V- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</u>	42
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	45
<u>ANNEXES</u>	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Les principales zones de production de bananes en Haïti.....	10
Tableau 2	: Production de papiers dans les 10 principaux pays producteurs.....	14
Tableau 3	: Caractéristiques physiques des pseudo-troncs de bananier.....	31
Tableau 4	: Rendements en fibres des 4 variétés de bananier.....	32
Tableau 5	: Production de fibre à l'hectare.....	33
Tableau 6	: poids spécifiques des fibres des 4 variétés de bananier.....	34
Tableau 7	: Poids spécifiques de quelques espèces forestières.....	34
Tableau 8	: Caractéristiques chimiques des fibres : teneurs des principaux constituants Exprimes en pourcentages massiques.....	36
Tableau 9	: Teneur des principaux constituants de la matière fibreuse des racines de vétiver Et des graines de flamboyant.....	36
Tableau 10	: Classement des fibres des 4 variétés de bananier selon leur niveau de blancheur.....	37
Tableau 11	: Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des 4 variétés de bananier.....	39
Tableau 12	: Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des 4 variétés de bananier : interaction Evaluateurs- Traitements.....	41
Tableau 13	: Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des fibres : interaction Répétitions-Evaluateurs.....	41

LISTE DES FIGURES

Fig I : schéma des principales opérations.....	17
Fig II : Croquis du dispositif expérimental.....	19

LISTE DES SIGLES, ABREVIATIONS ET SYMBOLES

IT	: Informations Technology
Comm.Per	: Communication Personnelle
PIB	: Produit Intérieur Brut
USA	: United States of America
FAO	: Food and Agriculture Organization
UNESCO	: United Nations for Education, Science and Culture Organization
Kg	: Kilogramme
m	: Mètre
m ³	: Mètre cube
m ²	: Mètre carré
KOZEPEP	: Koze Peyizan pou Zafè Elektoral
FAMV	: Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire
GRET	: Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
Cm	: Centimètre
Σ	: Somme
%	: Pourcentage
mm	: Millimètre
mg	: Milligramme
ONG	: Organisation Non Gouvernementale

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Détermination de la variation de blancheur d'une variété à l'autre : calcul de la différence entre la somme des rangs pris 2 à 2.
- Annexe 2 : Résistance à l'étirement : calcul des paramètres nécessaires à l'analyse de la variance.
- Annexe 3 : Analyse de la variance de la résistance des fibres: interaction Evaluateurs Traitements : calcul des paramètres.
- Annexe 4 : Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des fibres : calcul des paramètres.
- Annexe 5 : Résultats de la mesure des diamètres des pseudo-troncs de bananier
- Annexe 6 : Présentation sommaire des matériels végétaux.
- Annexe 7 : Table statistique I : distribution de X^2 (Pearson)
- Annexe 8 : Table statistique II : distribution de F (Senedecor) $P \leq 0,05$
- Annexe 9 : Table statistique III : distribution de F, $P \leq 0,01$
- Annexe 10 : Fiche d'évaluation du niveau de blancheur des fibres.
- Annexe 11 : Fiche d'évaluation de la résistance à l'étirement des fibres.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

I.1- PROBLÉMATIQUE

Le papier, dénommé souvent le baromètre de la civilisation, continue jusqu'à nos jours de servir de levier au développement de l'éducation, et de la culture. Contrairement aux prévisions faisant croire que la consommation de papier aurait diminuée à cause de l'expansion récente de la Technologie de l'Information (TI), elle a continué à augmenter de manière constante (MORISHIMA, comm. Per.). En 1969, la production mondiale a été évaluée à 122,5 millions de tonnes représentant une valeur approximative de 25 milliards de dollars US ; les besoins totaux ont atteint pour l'année 1970, près de 130 millions de tonnes et, selon les projections faites à la même année, les besoins auraient doublé entre 1975 et 1985 (WAYMAN, 1973). En 1994, la production a atteint 268,5 millions de tonnes pour une consommation de 267,5 millions de tonnes (Hachette multimédia, 2001).

En Haïti la consommation de papiers et produits dérivés suit la tendance mondiale. En dépit de sa balance commerciale déficitaire, ce pays consacre une part importante de son faible PIB à l'importation de papiers et de cartons. Le pays importe des USA, du Canada, du Brésil, de l'Allemagne, de la Suède, etc. du bois fin œuvré et du contreplaqué, mais surtout du papier journal, du papier bond et des cartonnages. Ces importations se situaient au-dessous de la barre d'un million de dollars US l'an jusque vers 1973-1975, pour s'accroître brusquement et dépasser la barre des 5 millions au cours de la période de 1978-1979 (BECKER, 1988).

Cependant, l'industrie papetière souffre depuis des années du grave problème de la rareté de bois, principale matière première utilisée pour la fabrication de papier. Dans ces conditions, trouver d'autres sources de matières premières devient un sujet de préoccupation internationale, particulièrement dans le contexte de la protection globale de l'environnement.

Certains chercheurs proposent le recyclage des papiers usagés (JAPAN WASTE PAPER ASSOCIATION L.T.D., 1962). Toutefois, cette technique est confrontée d'une part, à la baisse de qualité des papiers recyclés qui ne peuvent être utilisés qu'à des fins limitées telles l'emballage et le cartonnage et, d'autre part, au fait que dans les pays développés il n'est possible d'organiser la collecte de ces déchets que dans les villes qui ne renferment pas la majorité de la population (BECKER, 1988).

D'autres recherches suggèrent l'extraction des fibres des sous-produits agricoles tels que la bagasse de canne-à-sucre (PODDER, 1962), les chaumes de riz, de maïs (FAO, 1967) pour la

fabrication de papier. Les travaux de Morishima s'inscrivent dans cette tentative de recherche de matières premières alternatives au bois. En effet, ce Professeur de l'Université Nagoya démontre la possibilité d'utiliser les feuilles de bananier comme nouvelle source de matière première pour la fabrication de papier et des produits dérivés.

Ce projet, baptisé « Banana Paper Project »(BPP), consiste, grâce à une nouvelle technologie, à fabriquer du papier à partir des fibres extraites des stipes de bananier après la récolte. ..

Ces déchets agricoles abondent en Haïti et sont rarement utilisés. En 1997, la production de banane en Haïti a été évaluée à 290,000 tonnes (FAO, 1998 citée par MORISHIMA). La production de déchets correspondant avoisinerait les 580,000 tonnes (en admettant que le poids d'un pseudo-tronc de bananier est au moins 2 fois plus grand que celui du régime qu'il porte), ce qui correspondrait à 58,000 tonnes de fibres, le rendement de la transformation des déchets de bananier en fibres étant de 10% (MORISHIMA, comm. Per.). Ces 58,000 tonnes de fibres accusent une valeur de 58 millions de dollars américains, à raison de US \$ 1000 par tonne.

De plus, le marché des fibres est une entreprise ayant la capacité d'absorber une partie importante de la main-d'œuvre locale vacante, ce qui permettrait de réduire sensiblement le chômage dans ce pays où le PIB/habitant est plus de 5 fois inférieur à celui de la République Dominicaine, soit respectivement US \$ 310 et US \$ 1600 (Banque Mondiale, 1996 citée par MORISHIMA). D'autre part, on constate qu'au fur et à mesure le degré d'alphabétisme augmente dans les pays du Tiers-Monde, la consommation de papier et produits dérivés ne cesse de croître dans une mesure plus ou moins grande (HURTER, 1973). On peut s'attendre en Haïti à une augmentation de la demande en papiers dans les années à venir puisque 55% de la population sont analphabètes (UNESCO, 1995 citée par MORISHIMA).

Cependant, la technologie du papier-banane, à l'heure actuelle, n'est autre que la technologie de la fibre ; autrement dit, le développement de l'industrie papetière à partir des stipes de bananier repose maintenant, du point de vue technique, sur la possibilité d'obtenir le volume de fibres nécessaire aux normes définies. Certes, les fibres en provenance d'Haïti sont, de l'avis de certains consommateurs japonais, de meilleure qualité par rapport à celles produites dans d'autres pays tels que Philippines (MORISHIMA, comm. Per.). Toutefois, l'expérience montre que les variétés de bananier cultivées en Haïti produisent des fibres présentant souvent des qualités très différentes. La variété « Poban », par exemple, en dépit du fait que ses fibres

sont apparemment bien pourvues en cellulose, constituant chimique essentiellement recherché dans l'industrie, est généralement déconseillée dans la fabrication de papier en raison de son faible rendement en fibres dû au manque de résistance de ces derniers. D'autres variétés de fibres opposent, par contre, une résistance à l'étirement plus ou moins forte, mais semblent contenir de faibles doses de celluloses. Enfin, certaines variétés dites envahissantes, de grande taille et ayant une vitesse de croissance et reproduction relativement élevée, pourraient assurer, ceteris paribus, une meilleure disponibilité en fibres ; elles méritent, néanmoins d'être soumises à une étude systématique en vue d'évaluer et d'expliquer d'autres caractéristiques aussi importantes telles que leurs rendement en fibres, ainsi que la composition chimique, la résistance à l'étirement et le niveau de blancheur de leurs fibres.

D'autre part, la filière papier-banane offre trois possibilités d'échanges commerciaux à travers le monde : le commerce de la fibre, le commerce de la pulpe séchée et, finalement celui du papier et des produits dérivés. Plus on progresse dans la filière, plus les exigences des consommateurs sont grandes. Compte tenu de cette contrainte et du fait que la commercialisation de la fibre constitue déjà une source potentielle de devises, le pays aurait intérêt à améliorer sa technologie de production de fibres avant de se lancer, à grande échelle, dans la fabrication de papiers et des produits dérivés afin de rester compétitif sur le marché mondial du papier-banane.

I-2- OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

I-2-1- OBJECTIF GÉNÉRAL

Comparer les performances de quatre (4) variétés de bananier cultivées en Haïti dans la production de fibres.

I-2-2- OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Evaluer certaines caractéristiques physiques des pseudo-troncs de bananier
- Déterminer les rendements en fibres des quatre variétés de bananier
- Estimer le rendement potentiel à l'hectare en fibres des différentes variétés de bananier
- Evaluer le poids spécifique des fibres
- Déterminer la composition chimique des fibres de bananier
- Evaluer la couleur (blancheur) et la résistance à l'étirement des fibres sous étude.

I-3- HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

- Les rendements et qualités de fibres obtenus pour la fabrication de papier-banane et des produits dérivés dépendent de la variété de bananier utilisée.
- Les variations observées dans les rendements et qualités des fibres des différentes variétés de bananier sont dues à des caractéristiques physiques des pseudo-troncs de bananier, ainsi qu'à certaines caractéristiques physiques et chimiques des fibres.

I-4- INTÉRÊTS DE L'ÉTUDE

Cette étude confirme les possibilités de valorisation des tiges de bananier, sous-produits agricoles pratiquement inutilisés dans le pays, sauf dans de rares cas où l'on s'en sert pour la confection d'objets artisanaux ou pour l'alimentation des bovins.

Le présent travail peut contribuer au développement du projet de papier-banane en Haïti par l'établissement d'une base de données systématiques sur les potentialités de certaines variétés de bananier locales dans la production de fibres pour la fabrication de papier et des produits dérivés.

Ce projet va permettre non seulement de supporter le développement de matières premières favorables à l'écologie, mais encore de promouvoir les industries dans les pays en voie de développement comme Haïti, renforçant ainsi leur indépendance économique.

I-5- LIMITES DE L'ÉTUDE

Les faibles ressources financières allouées à ce travail de recherche contraignent à limiter l'étude à quatre variétés de bananier.

Faute de moyens techniques et financiers nécessaires, certaines analyses telles que le dosage des pentosanes, de même que certains tests de contrôle de qualité ont été volontairement écartés.

Le benzène, dont l'emploi est généralement déconseillé en raison de ses effets néfastes sur l'environnement, a été utilisé à la place du toluène, non disponible sur le marché national au moment de l'étude.

CHAPITRE II: REVUE DE LITTÉRATURE

II-1- GÉNÉRALITÉS SUR LE BANANIER

II-1-1- HISTOIRE

La banane est l'un des fruits les plus anciennement cultivés par l'homme. Le Ramayana est un poème épique sanscrit rédigé il y a des siècles est la première source connue la mentionnant. En 327 avant Jésus-Christ, la banane fut remarquée dans la basse vallée de l'Indus en Inde. Tout comme dans le sud de la Chine la culture de la banane est attestée de longue date. C'est également la raison pour laquelle, certains auteurs ont voulu rattacher l'origine de la banane à l'un ou l'autre de ces deux pays. Les missions de prospections effectuées en Asie au milieu du siècle dernier ont dévoilé la richesse insoupçonnée des ressources génétiques de Musa et montre que la banane a plus probablement son origine en Asie du Sud-Est. De là, elle aurait migré à travers le monde dans toutes les zones tropicales (CHARLES, comm. Per.).

La banane a été introduite en Haïti avec la colonisation, en particulier à l'époque de l'importation des noirs d'Afrique. L'épanouissement total s'est fait avec l'occupation américaine par la compagnie Standard Food qui a introduit la variété Gros Michel (JEUNE, 1999).

II-1-2- CLASSIFICATION BOTANIQUE

La banane fait partie des plantes de la famille des musacées qui, elle, relève de l'ordre des zingibérales. Les musacées sont strictement des plantes tropicales. Ce sont des grandes herbes avec la gaine des feuilles imbriquées les unes dans les autres pour former un pseudo-tronc.

Dans la famille des musacées, on retrouve deux genres:

- a) Le genre Musa
- b) Le genre Ensete

Dans le genre Ensete, on retrouve des plantes très rigoureuses ressemblant beaucoup aux bananiers considérant le feuillage mais se différenciant de ces derniers par le fait que la corne ne se ramifie pas (pas d'émission de rejets). Elles sont surtout utilisées comme plantes ornementales.

Dans le genre *Musa*, on retrouve quatre sections: la section des *Eumusa* est composée de neuf ou dix espèces parmi lesquelles on retrouve le *Musa acuminata* et le *Musa balbisiana* à l'origine des cultivars de bananiers comestibles cultivés à travers le monde. Les *Eumusa* cultivés peuvent être diploïdes, triploïdes ou tétraploïdes. Les cultivars triploïdes sont stériles et parthenocarpiques ils ne produisent pas de semis et le développement des fruits se fait sans fécondation antérieure (IPGRI, 1996).

Les *Musa* cultivés pour leurs fruits sont classés en deux grands groupes :

- Les bananes-dessert
- Les bananes à cuire

Les bananes dessert sont celles dont les fruits se consomment généralement frais et murs (figues-bananes)

Les bananes à cuire sont de préférence celles dont les fruits même à maturité complète ne se consomment que cuits (frits ou bouillis)

Certaines différences interviennent également dans la forme des fruits.

Banane à cuire

- Plantains
- Bluggoe

II-1-3- DESCRIPTION DU BANANIER

Le bananier est une plante herbacée vivace de grande dimension composée :

- D'une tige souterraine appelée bulbe, souche ou rhizome portant tout autour des œilletons qui, s'ils se développent, donneront des rejets. A partir du bulbe se développent également et ce jusqu'à la floraison des racines qui sont généralement localisées dans la couche superficielle du sol mais qui peuvent pénétrer certaines fois jusqu'à 1 à 1,5 m de profondeur.
- D'une partie ancienne, le pseudo-tronc qui n'est autre que la feuille du bananier et est composé de trois parties :
 - . la gaine

- . le pétiole
- . la nervure centrale qui porte le limbe

La gaine est la partie de la feuille qui part de la base du pied, et le rythme d'émission des feuilles, leur taille dépend des conditions de croissance du bananier.

Après que le bananier ait produit un certain nombre de feuilles, le bourgeon terminal du bulbe se développe, monte dans le pseudo-tronc et donne l'inflorescence qui, en se développant, donnera le régime. Il se compose de fleurs femelles, des fleurs hermaphrodites et des fleurs mâles. Seules les fleurs femelles se développeront en fruits. Dans la vie du bananier, il y a donc une phase végétative et une phase florale.

Dans la phase végétative, la plante produit des feuilles. Dans la phase florale, la plante produit des pièces florales (bractée, fleurs femelles et mâles qui ne sont en fait que des feuilles modifiées ou transformées).

Soulignons que la phase florale a débuté bien avant la sortie de l'inflorescence. Durant la montée de l'inflorescence la plante continue à émettre des feuilles préformées. La dernière feuille émise avant l'apparition de l'inflorescence est appelée feuille de transition ou feuille bractéale.

Au niveau du fruit, ce qui différencie les bananes à cuire à fruits doux est la vitesse d'évolution de l'amidon en sucre. Chez les bananes à cuire, l'amidon se transforme lentement en sucre alors que chez les bananiers à fruits doux, cette évolution est très rapide. Chez les bananes à fruits doux, le fruit est consommé quand la transformation est à un stade avancé alors que c'est l'inverse pour les bananes à cuire (IPGRI, 1996).

II-1-4- CARACTERISTIQUES DES CULTIVARS LES PLUS RÉPANDUS

II-1-4-1 CHEZ LES BANANES DESSERT

- Gros Michel

G-AAA Ce cultivar fut pendant longtemps le plus important au point de vue commercial. Sa sensibilité au mal de Panama a fait son déclin.

G-AAA Cavendish, ce cultivar est aujourd'hui celui qui est le plus exporté à travers le monde. Il est résistant au mal de Panama. En Haïti, les Cavendish sont surtout consommés cuits (banane à cuire).

Il y a trois (3) grands clones à l'intérieur de cette variété :

- Lacatan : 12 -18 pieds
- La Robusta Grande naine : 10 -16 pieds
- La Naine : 4-7 pieds

G-AAB Manzana, ou figue pomme ou encore figue raque, fruit au goût acide avec une saveur de pomme quand il est bien mur. Les fruits peuvent présenter une circonférence de 6 à 12 pouces.

G-AA Ti Malice, fruit très sucré et ayant beaucoup de saveur et très apprécié en Haïti, très peu commercialisé du fait même que sa plantation ne se fait pas sur une grande échelle. Le pseudo-tronc dépendant des conditions de culture peut atteindre de 6 à 12 pieds et même plus en certains endroits.

- Les petits

On retiendra que dans le sous-groupe des plantains les trois types ont dégénéré dans le temps pour donner les « french », les « faux cornes », les « vrais cornes » et le « bâtard ».

En Haïti, les variétés cultivées n'ayant jusqu'à ce jour pas été cataloguées, il est difficile sinon impossible de les rattacher à l'une ou l'autre des appellations connues. La différenciation entre les french, les fausses cornes et le bâtard se fait surtout à partir de la coloration du pseudo-tronc. Parmi les french, on retrouve :

- les musquées à bois noir
- les musquées à bois blanc
- les musquées à bois rose
- les musquées à bout arrondi ou miske bout won

Parmi les fausses cornes, on retrouve :

- cochon à bois blanc
- cochon à bois noir
- Bâtard – non-local-matéyenne

II-1-5- ÉCOLOGIE DU BANANIER

II-1-5-1- LATITUDE

Cette culture est essentiellement pratiquée sous les tropiques, entre 30⁰N et 30⁰S de latitude autour de l'équateur

II-1-5-2- ALTITUDE

Elle peut être cultivée jusqu'à 1000 à 1200 mètres d'altitude dépendant de la latitude et de la variété.

Dans la Caraïbe, elle est essentiellement pratiquée entre 600 et 700 mètres.

II-1-6- LA CULTURE DE BANANE EN HAÏTI

La banane est cultivée en Haïti depuis l'époque coloniale. En effet, elle est citée par Moreau de Saint-Rémy parmi les cultures que les esclaves pratiquaient dans les « places à vivre » pour leur subsistance (JEUNE, 1999). Il fallait attendre cependant jusqu'en 1910 pour voir le président Antoine Simon signer un contrat avec Mc Donald en vue de développer la culture de la banane en Haïti. Par la suite, plusieurs contrats ont été signés dont celui de 1935 avec la « Standard Fruit Company ». Celle-ci a réellement développé la culture en Haïti en procédant comme suit : « elle signe un contrat de culture avec les planteurs selon lequel elle assurait tous les frais : préparation de sol, les entretiens, la fertilisation, puis les planteurs s'occupaient du reste » (LATORTUE, 1997 cité par JEUNE). L'industrie bananière s'est ainsi rapidement développée et en 1947, Haïti exportait plus de sept millions de régimes de banane. Le départ de Standard Fruit Company à la suite des maladies dont le mal de Panama qui attaquaient les bananiers et la signature de contrats avec d'autres firmes moins performantes comme HABANEX par exemple ont occasionné la faillite de cette industrie. Cette faillite fut complète à partir de

l'année 1956. C'est à cette époque que les planteurs de l'Arcahaie ont converti les plantations de « Gros-Michel » en des plantations de plantains. Depuis lors, la banane plantain ne cesse d'être l'activité agricole de base des agriculteurs de la plaine de l'Arcahaie (LESCOT, 1998).

Tableau 1 : Les principales zones de production de banane en Haïti

Ouest	Nord	Sud-Est	Nord-Ouest	Sud	Grande' Anse
1-Arcahaie	1-Grande	1-Marigot	1-Vallée des	1-Plaine des	1-Abricot
2-Léogâne	Rivière	2-Cayes	Trois	Cayes	
3-Plaine du	2-St	Jacmel	Rivières	2-St Louis	
Cul-de-sac	Raphael		2-Jn Rabel	du Sud	
	3-Plaine du				
	Nord				

Source : MELIN, 1990

II-2- A PROPOS DES BANANES ET DU PAPIER-BANANE

Le bananier est cultivé dans environ 123 pays à travers le monde. La production mondiale de bananes dépassait déjà 58 millions de tonnes en 2001 (FAO, 1997 citée par MORISHIMA)

Bien que variant avec la température et la pluviométrie, le bananier produit ses fruits dans une période de 6 à 15 mois.

Après la récolte des fruits, les feuilles sont jetées. Cependant, on a découvert récemment que ces déchets agricoles pouvaient être transformés en matières premières utiles à la fabrication du papier, tant de point de vue de volume que du point de vue de qualité, en conséquence favorable à l'écologie. Le facteur principal à considérer dans la préparation des fibres de bananier est la haute teneur en liquide des feuilles qui augmente le coût de transport de la zone de production de la banane vers le site de production du papier.

II-3- COMPOSITION DE LA MATIERE FIBREUSE

Si la composition chimique élémentaire est pratiquement la même pour toutes les essences de bois et toutes les variétés de bagasse, les usages du bois et, potentiellement, ceux de la bagasse et des chaumes dépendront de la composition chimique du point de vue des teneurs en cellulose, lignine, hémicellulose, résines, tanins, etc. c'est-à-dire les principaux constituants (ANDREAS, 1983).

II-3-1- CELLULOSE

La cellulose est le constituant le plus important du monde végétal, en particulier du bois qui contient de 40 à 52%. C'est un polymère du glucose comportant en général plus de 1000 monomères. La molécule élémentaire est de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$. Les molécules sont condensées en micelles, associées en micro fibrilles. Elles concourent à la résistance de la paroi cellulaire végétale. C'est la cellulose qui est essentiellement recherchée dans les industries du papier et des textiles.

Les molécules de glucose sont liées entre elles par des liaisons β -1,4. L'organisme humain ne dispose pas d'enzymes pouvant briser ces liaisons. La cellulose n'est donc pas digestible par l'homme. (TIMBERLAKE, 1979).

II-3-2- LES HÉMICELLULOSES

Les hémicelluloses sont également des molécules complexes à courtes chaînes à base de monomères en C_6 : Hexoses (mannanes, galactanes,...) ou en C_5 : Pentoses (xylanes, arabanes, ...) voisines de la cellulose et se déposant dans les espaces laissés libres par la cellulose. Le bois contient de 10 à 30% d'hémicelluloses suivant les essences. Dans la bagasse de canne à sucre, les hémicelluloses se trouvent essentiellement sous forme de pentosanes. Par hydrolyse acide, ces pentosanes conduisent au furfural $C_5H_4O_2$, un des produits de base de l'industrie chimique.

III-3-3-LA LIGNINE

La lignine est un mélange de polymères phénoliques très complexes concourant essentiellement à la résistance mécanique et à la capacité de la matière fibreuse ; elle colmate les espaces entre micro-fibrilles ; le bois en contient de 20 à 30%.

II-3-4-LES MATIÈRES EXTRACTIBLES.

La matière fibreuse contient encore mais en faible quantité :

3-4-1-LES MATIÈRES PECTIQUES voisines des hémicelluloses.

II-3-4-2-LES SUBTANCES venant protéger les tiges des attaques mécaniques et physico-chimiques : cires, cutines, subérine de la famille des lipides

III-3-4-3-LES TANINS, de poids moléculaire varié, surtout dans les écorces, des **RESINES** en quantité très variable et enfin des **SUBSTANCES PROTÉIQUES**

II-4 CRITERES D'APTITUDE DES RESSOURCES FIBREUSES.

Parmi les critères d'aptitude figurent des facteurs quantitatifs et qualitatifs qui se subdivisent en trois catégories : disponibilité du volume nécessaire, aptitude technique et rentabilité acceptable (RYDHOLM S.A 1965)

II-4-1-DISPONIBILITE DES FIBRES DE BANANIER EN HAITI

L'organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) estime la production de bananes en Haïti à 290,000 tonnes pour l'année 1998, ce qui fait de ce pays le trentième producteur de bananes dans le monde. Et selon le professeur Morishima, une tonne de déchets de bananier produit approximativement 100kg de fibres, ce qui équivaut à la possibilité de fabrication d'environ 16,000 feuilles de papier à lettres de dimensions 8^{1/2}x11.

II-4-2-APTITUDE TECHNIQUE

Le papier et le carton sont soumis à de nombreux tests en vue de leur utilisation finale, l'un des plus importants ayant trait à la résistance du produit, notamment à la déchirure, à l'éclatement, à la traction et au pliage (WAYMAN, 1973). Les caractéristiques de résistance des papiers et des cartons dépendent, à des degrés divers, de la longueur, du diamètre, et aussi de l'épaisseur des parois des fibres contenues dans la pâte. La longueur de la fibre est une caractéristique importante puisque la résistance du papier en dépend, et en général les conifères ou gymnospermes(résineux), qui comprennent des espèces comme les pins, les sapins et les épicéas, ont des fibres plus longues que les feuillus ou angiospermes.

En général, les plantes annuelles les plus communément employées pour la fabrication de pâte à papier ont des fibres courtes. La bagasse et la paille entrent dans cette classification. Certaines plantes annuelles ont toutefois des fibres longues (FAO, 1994).

Les papiers d'emballage et de cartons de qualité supérieure, comme les sacs en papier multicouches, les emballages et les cartons de couverture pour la fabrication de caisses en carton ondulé, doivent avoir une grande résistance à cause des manipulations auxquelles ils sont soumis. Ces produits contiennent d'ordinaire une forte proportion de pâte à fibres plus longues.

Pour les papiers culturels, la résistance n'est pas le principal critère, encore qu'il doive être suffisamment solide pour résister au traitement, à l'impression et à l'utilisation finale. Des considérations esthétiques comme la couleur (blancheur), la surface lisse et la régularité de la formation de la feuille influent sur l'évaluation des utilisateurs finals.

Les fibres contenues dans les feuilles de bananier sont longues et résistantes, et peuvent bien soutenir la comparaison avec celles de l'abaca utilisé dans la fabrication de papier-monnaie au Japon (MORISHIMA, comm. Per.)

II-4-3- RENTABILITÉ

Les approvisionnements en matières fibreuses à prix raisonnable dépendent du rendement à l'hectare, des caractéristiques physiques des espèces disponibles, de la proximité de l'entreprise, de la superficie totale accessible pour la récolte. Le prix de revient des matières premières dépend beaucoup de la densité du bois (c'est-à-dire du poids sec des fibres par unité de volume de bois vert), des dimensions des arbres, du volume de l'écorce, et d'autres caractéristiques physiques (WAYMAN, 1973).

II-5- LES OBJECTIFS DU PROJET DE PAPIER-BANANE (PPB)

Les pays producteurs de bananes sont pour la plupart des pays en voie de développement situés dans les régions tropicales. Le projet est destiné à aider ces pays à devenir économiquement autosuffisants. La première phase consiste à obtenir de la fibre qui s'extrait des déchets non utilisés du bananier. La deuxième phase est la fabrication du papier. Ces deux

produits peuvent être exportés vers les principaux pays producteurs de papier où la consommation annuelle est en constante augmentation.

Tableau 2 : Production de papier dans les 10 principaux pays producteurs en 1996 et 1997

No	Pays	Production (1,000 tonnes)	
		1996	1997
1	U.S.A	82,161	86,447
2	Japon	30,012	31,015
3	Chine	26,430	27,440
4	Canada	18,419	18,868
5	Allemagne	14,733	15,953
6	Finlande	10,442	12,149
7	Suède	9,018	9,779
8	France	8,531	9,143
9	Corée	8,954	8,364
10	Italie	6,954	7,632

Source : FAO, citée par MORISHIMA

Dans la phase d'extraction de la fibre des déchets de bananier, le travail manuel ainsi que les moulins à eau sont utilisés. Le but est de protéger l'environnement, de limiter l'investissement, et de produire de la fibre de banane à meilleur marché et de qualité supérieure.

En l'absence d'équipement spécial pour la fabrication de papier, les personnes ayant un niveau académique équivalent à six ans d'études scolaire élémentaire auront la possibilité de fabriquer du papier d'épaisseur standardisée. Sans subir de traitement additionnel, ce papier peut être utilisé à l'école comme cahier de notes à bon marché et avec un traitement additionnel, pourrait être transformé en papier de bureau et en papier à lettres de haute qualité qui peut être vendu à des magasins locaux de cadeaux ou peut être exporté en bénéficiant d'une certaine valeur ajoutée.

Dans le projet proposé ici où l'intérêt vital du pays a été démontré, il est recommandé de considérer l'établissement d'installations de production permanentes qui, à long

terme, contribueraient à augmenter le niveau d'exportation du pays, à créer de nouveaux emplois, augmenter le PIB et réduire le taux d'analphabétisme, pour ne citer que ceux-là.

CHAPITRE III : MÉTHODOLOGIE

III-1- MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels utilisés dans le cadre de cette expérience sont groupés en 3 catégories : physiques, biologiques et chimiques.

III-1-1- MATÉRIELS PHYSIQUES

Machette, couteau, décortiqueuse, planche, balance, sachet plastique, ciseaux, plaque chauffante, étuve, tube, bécher.

III-1-2- MATÉRIELS BIOLOGIQUES

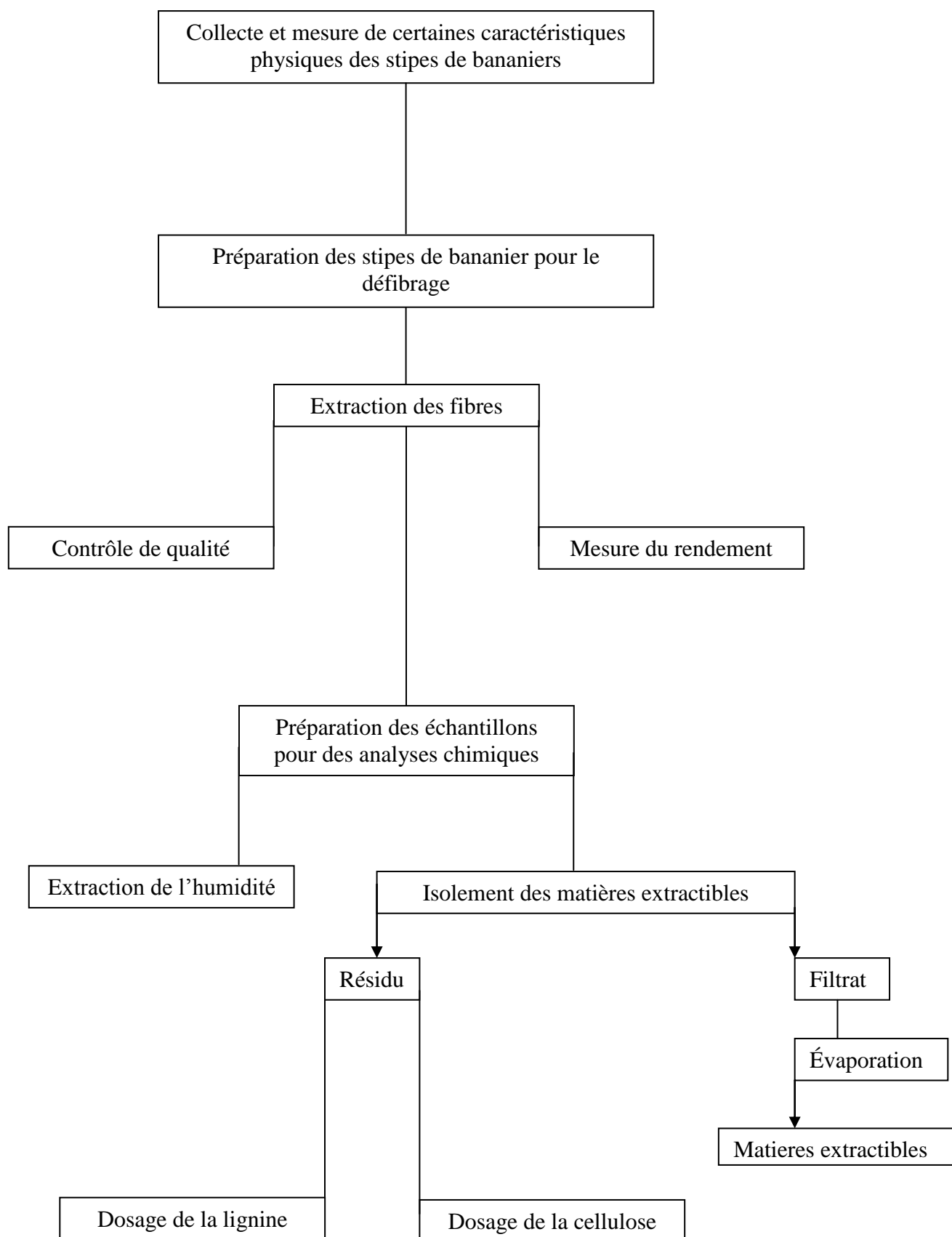
Pseudo-tronc de bananier

III-1-3- RÉACTIFS CHIMIQUES

Acide nitrique, acide sulfurique, alcool éthylique, benzène

III-2- MÉTHODE

L'étude est réalisée essentiellement à l'atelier de préparation de fibres de KOZEPED à Cabaret, au laboratoire de chimie de la FAMV et à l'atelier pilote de fabrication de papier à Damien. Le schéma suivant présente les différentes opérations effectuées.

Figure I: Schéma des principales opérations

III-2-1- COLLECTE DES PSEUDO-TRONCS DE BANANIER

Les variétés de bananier locales (musquée et figue France) ont été récoltées dans des parcelles paysannes, tandis que les variétés exotiques (Irfa-909 et Irfa-910) proviennent de la ferme agricole de l'Arcahaie. Le pseudo-tronc de bananier dont le régime a été préalablement cueilli (le bananier ne produit qu'une fois) est coupé à la base ; les feuilles, non utilisées dans le cadre de cette expérience, sont enlevées et rejetées.

III-2-2- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES PSEUDO-TRONCS

On sélectionne au hasard un échantillon de 10 pseudo-troncs. Le poids d'un pseudo-tronc est obtenu en pesant la tige centrale et les gaines de feuilles successives le constituant. Ainsi, le poids moyen d'un pseudo-tronc d'une variété se calcule de la manière suivante

$$\text{Poids moyen variété} = \frac{\sum \text{poids pseudo-troncs}}{10}.$$

Chaque pseudo-tronc est muni d'une étiquette indiquant son poids en vue d'exploitations ultérieures.

III-2-2-2-LE DIAMETRE (D)

On mesure à l'aide d'un ruban métrique les diamètres à la base et au sommet pour un échantillon de 10 pseudo-troncs choisis au hasard et pour chacun, on détermine le diamètre moyen par la formule :

$$\text{Diamètre moyen pseudo-tronc} = \frac{(\text{diamètre base} + \text{diamètre sommet})}{2}$$

Le diamètre moyen de l'échantillon s'obtient alors par la formule :

$$\text{Diamètre moyen échantillon} = \frac{\sum \text{diamètre moyen individu}}{10}$$

III-2-2-3-LA HAUTEUR (H)

Un échantillon de 10 pseudo-troncs est choisi au hasard et, pour chacun on détermine, avec un ruban métrique, la hauteur utile, c'est-à-dire la hauteur de la partie du pseudo-tronc qui sera effectivement utilisée pour l'extraction de fibres. La hauteur utile moyenne est donnée comme suit :

$$\text{Hauteur moyenne} = \frac{\sum \text{hauteur pseudo-tronc}}{10}.$$

III-2-2-4-LE VOLUME

A partir des deux dernières dimensions, on détermine, pour chaque variété la surface, puis le volume du pseudo-tronc de bananier de forme cylindrique suivant les formules :

$$\text{Surface (s)} = 0,785D^2$$

$$\text{Volume (v)} = 0,785HD^2$$

III-2-3- PREPARA TION DES FIBRES DE BANANIER POUR LE DEFIBRAGE

Les gaines de feuilles successives constituant le pseudo-tronc sont déroulées jusqu'à la tige centrale : les fibres les plus intéressantes dans les gaines sont concentrées à la surface extérieure de celles-ci (GRET, 1980). Les gaines ainsi déroulées sont réparties au hasard en 12 lots, à raison de 3 lots par variété.

III-2-4- DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Un dispositif expérimental factoriel 4*3 a été adopté. En effet, l'extraction des fibres des feuilles de bananier a été réalisée 3 répétitions pour chacune des 4 variétés.

Figure II : CROQUIS DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Répétition	Extraction des fibres			
	Variété			
	Musquée	Figue courte	Irfa-909	Irfa-910
1				
2				
3				

III-2-5-EXTRACTION DE FIBRES

On alimente la machine à décortiquer avec les gaines une à une : elles sont happées par un tambour portant des lames tournant à plusieurs tours par minute. Ainsi la peau et certaines parties tendres de la feuille de bananier sont enlevées. Ce tissu foliaire partiellement désintégré est ensuite placé sur la surface lisse d'une planche, et alors en le pelant à l'aide de la lame d'un couteau on récupère la meilleure partie de la fibre.

Le même procédé ci-dessus décrit est suivi pour le défibrage de chaque lot de feuilles de bananiers.

III-2-6-RENDEMENT EN FIBRES

Les fibres ainsi obtenues sont séchées au soleil, puis pesées. Le rendement en fibres est mesuré par le rapport du poids de fibres séchées au soleil au poids des déchets utilisés selon la formule :

$$\text{Rendement (en \%)} = (\text{poids de fibres sèches} / \text{poids de déchets}) \times 100$$

A la fin de ces opérations, les fibres ont été transportées dans des sachets en polyéthylène de l'atelier au laboratoire de la FAMV pour la suite de l'expérience.

III-2-7-RENDEMENTS POSSIBLES A L'HECTARE

L'estimation du rendement à l'hectare est réalisée en considérant une densité de plantation moyenne de 2400 plants et des pertes de 5% avant maturité. La formule conçue à cet effet est la suivante :

$$\text{RP/ha} = A \times dp \times P_{\text{tronc}} \times r_{\text{dt}}$$

RP/ha=rendement possible à l'hectare (en kg/ha)

dp= densité de plantation (2400 plants/ha)

Ptronc=poids moyen d'un pseudo-tronc (en kg)

Rdt =rendement moyen en fibres (en %)

A est un coefficient qui tient compte des pertes avant récolte ; pour des pertes de 0,05, on a $A = 0,95$

III-2-8-POIDS SPÉCIFIQUE DES FIBRES

Pour évaluer le poids spécifique des fibres (c'est-à-dire le poids sec des fibres par unité de volume de déchets vert), la formule suivante a été mise au point :

$$\text{Ps} = r_{\text{dt}} \times P_{\text{tronc}} / V_{\text{tronc}}$$

Ps=poids spécifique (en kg/m³)

Rdt=rendement moyen en fibres(en %)

Ptronc=poids moyen d'un pseudo-tronc (en kg)

Vtronc=volume moyen d'un pseudo-tronc (en m³)

III-2-9- ANALYSES CHIMIQUES DES FIBRES

Des analyses de laboratoire ont été réalisées en vue d'évaluer, pour chaque variété de fibre, la composition chimique, c'est-à-dire ses teneurs en humidité, matières extractibles, cellulose, lignine et autre. Les méthodes utilisées à cette fin sont tirées de l'ouvrage de GODON publié en 1984.

III-2-9-1-PRÉPARATION DES ECHANTILLONS.

Les fibres sont réduites en des fragments de dix à quinze centimètres, broyées et recueillies dans des béchers pour les analyses de laboratoire.

III-2-9-2-HUMIDITÉ

La teneur en humidité est évaluée en faisant sécher à l'étuve, à 110⁰C jusqu'à poids constant, un échantillon de 10 grammes de fibre. La teneur en humidité (en %) est obtenue par la formule :

$$\% \text{ humidité} = [(masse \text{ humide} - masse \text{ séchée}) / masse \text{ humide}] \times 100$$

III-2-9-3-MATIÈRES EXTRACTIBLES

Les matières extractibles (résines, tanins, protéines ...) sont isolées par un mélange de 1/1 d'éthanol-benzène. Un échantillon de 30 grammes de chaque variété est mis dans une cartouche placée à l'intérieur d'un soxhlet adapté à un ballon de 500 millilitres rempli au ³/₄ du mélange.

L'ensemble est porté à ébullition sous reflux pendant 7 heures. Le filtrat recueilli dans le ballon est évaporé sous plaque chauffante, puis séché à jusqu'à poids constant. Le pourcentage en matières extractibles est estimé suivant la formule :

$$\% \text{ matières extractibles} = \{ masse \text{ extrait} / [masse \text{ de départ} (1 - \% \text{ humidité})] \} \times 100$$

III-2-9-4 CELLULOSE

La teneur en cellulose est évaluée par la méthode de kurschner et Hoffer. Un échantillon de 2 grammes de résidu de fibre traité à l'alcool-benzène est introduit dans un erlenmeyer à col rodé, contenant un mélange de 80 ml d'alcool éthylique et de 20 ml d'acide nitrique adapté à un réfrigérant ascendant. L'ensemble est porté à une douce ébullition pendant une heure. On laisse décanter et on filtre sur creuset (10-15) taré en entraînant le moins de fibres possibles. Dans les mêmes conditions, la même prise d'essai est attaquée une 2^e puis une 3^e fois. Le résidu de couleur blanche obtenu est lavé à l'alcool dilué, puis à l'eau distillé jusqu'à neutralité. Ce résidu correspond à la cellulose brute et contient le plus souvent des restes de pentosanes. Faute de temps et de matériels adéquats pour le dosage de ces derniers, une correction arbitraire de 12% a été effectuée.

Cellulose corrigée=masse cellulose x (1-0,12)/masse départ (1-siccite+extrait A –B).

III-2-9-5-LIGNINE

La lignine est obtenue par la méthode de Klason. On trempe un échantillon de 2 grammes de résidu pendant environ 16 heures dans 30 millilitres d'acide sulfurique à 67%. Cet échantillon est transvasé dans un erlenmeyer de 2 litres sur lequel s'adapte un réfrigérant, contenant 400 millilitres d'eau distillé. On fait bouillir à reflux pendant 4 heures. Le résidu, constitué essentiellement de lignine, est filtré sur creuset (10-15) préalablement taré, lavé à l'eau chaude, puis séché à l'étuve jusqu'à poids constant. Le pourcentage de lignine de chaque variété est donné par la formule :

% lignine=masse lignine/masse de départ (1-siccite+extrait A-B) x100

III-2-10-CONTRÔLE DE QUALITÉ

Pour évaluer la couleur (blancheur) et la résistance des fibres à l'étirement, on s'est servi d'êtres humains comme instruments de mesure.

III-2-10-1-SÉLECTION ET FORMATION DES ÉVALUATEURS

Dans le souci de l'objectivité, de la précision, et de la fiabilité des résultats, la plupart des membres du jury ont été choisis parmi des étudiants en train de réaliser leur mémoire de fin d'études sur la fabrication de papier à partir des stipes de bananier.

Une séance de formation a été organisée à l'intention des évaluateurs.

Cette formation visait essentiellement la normalisation, l'acquisition d'un vocabulaire descriptif et la compréhension de la méthode à utiliser.

Néanmoins, on se réservait à ne fournir aux évaluateurs que les renseignements nécessaires en vue de parvenir d'éventuels jugements de valeur.

III-2-10-2-COULEUR (BLANCHEUR) DES FIBRES

a) ÉVALUATION

L'évaluation a été confiée à un jury de 10 membres isolés dans des cabines individuelles. Les échantillons présentés le plus uniformément possible ont été identifiés par des codes aléatoires à trois chiffres. Chaque évaluateur reçoit quatre lots de fibres, chacun d'une variété, et examine attentivement les fibres pour en apprécier le niveau de blancheur. Au terme de son examen, il classe l'échantillon le plus blanc au premier rang, le moins blanc au quatrième rang, le reste à l'avenant suivant l'ordre indiqué (annexe 10) :

Rang : le plus blanc 1) -----
 2) -----
 3) -----
 Le moins blanc 4) -----

Les codes ont été ainsi répartis :

<i>Variété</i>	<i>codes</i>
Musquée	471
Figue France	212
Irfa-909	336
Irfa-910	649

Les noms des variétés n'ont pas été révélés aux évaluateurs pour la même raison citée plus haut.

b) TRAITEMENT DES RÉSULTATS

Les résultats (données classées) sont analysés à l'aide de l'essai de Friedman.

On commence par calculer le coefficient T par la formule :

$$T = \{12 / \{(\text{nbre d'év.} \times \text{nbre de trait.}) \times (\text{nbre de trait.} + 1)\} \times (\sum \text{carrés} \sum \text{des rangs de chq. trait.}) - 3(\text{nbre d'év.}) (\text{nbre de trait.} + 1)$$

nbre = nombre

év = évaluateur

trait. = traitement

\sum = somme

chq. = chaque

Le seuil de rentabilité a été fixé à 5%, c'est-à-dire on admet que le risque de voir une différence de blancheur entre les échantillons alors qu'il n'y en a pas est de 1 sur 20. La comparaison de la valeur calculée de T à celle fournie dans les tables statistiques permet de tirer les conclusions convenables.

Le coefficient T renseigne sur l'existence ou non d'une différence notable du niveau de blancheur d'un échantillon à l'autre, mais ne permet pas de les comparer deux à deux ; pour ce faire, on a calculé un autre paramètre : la moindre différence notable (M.D.S.) :

$$\text{M.D.S.} = 3,63 \sqrt{[\text{nbre d'év.} \times \text{nbre de trait.}) \times (\text{nbre de trait.} + 1)] / 12}$$

Si la différence entre la somme des rangs d'échantillons pris deux à deux dépasse la valeur trouvée pour M.D.S., les deux échantillons sont notablement différents.

III-2-10-3- RÉSISTANCE À L'ÉTIREMENT

a) ÉVALUATION

Un jury de 10 membres a été formé en vue de procéder à l'évaluation de la résistance à l'étirement des fibres de bananier. Les jurés isolés dans des cabines individuelles préalablement préparées à cet effet, reçoivent chacun une fiche d'évaluation et 4 lots de fibres, à raison d'un lot par variété. Ces lots de fibres, présentés le plus uniformément que possible, sont identifiés par des étiquettes (faites sur ordinateur) portant des codes aléatoires à 3 chiffres choisis à partir d'une table de répartition au hasard :

<i>Variété</i>	<i>Code</i>
Musquée	437
Figue France	681
Irfa-909	249
Irfa-910	572

DISPOSITION DES FIBRES DE BANANIER VARIÉT'ES SUR LA TABLE D'ÉVALUATION

Les 4 codes identifiant les variétés sont transcrits sur des morceaux de papier que l'on enroule et dépose dans une urne. On tire les morceaux de papier un à un après avoir bien remué l'urne. On dispose en 1^{ère} place, en allant de gauche à droite sur la table d'évaluation, la 1^{ère} variété qui est extraite de l'urne, ainsi de suite jusqu'à la dernière. Le juré procède à l'évaluation de la résistance à l'étirement de la façon suivante :

- Prélever une fibre du premier échantillon
- Tirer la fibre prélevée par ses extrémités jusqu'à provoquer sa rupture
- Recommencer pour le même lot

On reprend le procédé avec des fibres prélevées du 2^{ème} lot, ainsi de suite jusqu'au dernier lot.

L'évaluateur peut répéter l'expérience ci-dessus décrite autant de fois que nécessaire de façon à mieux percevoir la différence de résistance à l'étirement d'un échantillon à l'autre. Cette

différence une fois perçue, l'évaluateur indique le pointage qu'il accorde à la résistance à l'étirement de chaque fibre en traçant sur une ligne horizontale de 15 cm de longueur un petit trait vertical au point qu'il pense le mieux correspondre à sa perception de l'amplitude de la résistance à l'étirement.

La ligne horizontale, préalablement tracée au bas de la fiche d'évaluation, contient à chaque extrémité un point de repéré décrit par les expressions « légèrement résistante à l'étirement » pour l'extrémité gauche et « très résistante à l'étirement » pour l'extrémité droite.

Après avoir recueilli les fiches d'évaluation, le jury est renvoyé. Les mêmes jurés reviennent une 2^{ème} fois, soit 2 jours après, puis une 3^{ème} fois, reprennent l'expérience avec les mêmes échantillons, identifiés à chaque fois par des codes aléatoires à 3 chiffres différents et disposés dans un nouvel ordre sur la table d'évaluation. Le formulaire d'évaluation de ce paramètre est présenté en annexe.

a) TRAITEMENT DES RÉSULTATS

Après l'évaluation, on mesure la distance, à partir de l'extrémité gauche de la ligne horizontale jusqu'au trait vertical marqué par l'évaluateur pour indiquer le pointage qu'il accorde à chaque fibre et on effectue une analyse de la variance des valeurs numériques trouvées en utilisant la méthode dite « échelle non graduée avec répétitions » (LARMOND, 1990).

Les valeurs numériques recueillies lors des 3 séances d'évaluation sont d'abord consignées dans un tableau, puis on effectue les calculs suivants :

FACTEUR DE CORRECTION (Fc)

C'est le carré du total divisé par le nombre de jugements selon la formule :

$$Fc = \text{carré du total} / \text{nombre total de jugements}$$

SOMME DES CARRÉS (des traitements)

C'est la somme des carrés du total de chaque évaluateur (Sc.tr.) divisée par le nombre de jugements portés sur chaque traitement moins le facteur de correction :

$$Sc.tr. = [(\text{somme des carrés du total de chaque traitement}) / \text{nombre de jugements portés sur chaque traitement}] - Fc$$

SOMME DES CARRÉS (des évaluateurs)

C'est la somme des carrés du total de chaque évaluateur (Sc.ev) divisée par le nombre de jugements portés par chaque évaluateur moins le facteur de correction :

$Sc.ev = [(Somme\ des\ carrés\ du\ total\ de\ chaque\ évaluateur)/nombre\ de\ jugements\ portés\ par\ chacun\ des\ évaluateurs] - Fc$

SOMME DES CARRÉS DES (des répétitions)

C'est la somme des carrés du total de chaque répétition divisée par le nombre de jugements portés sur chaque répétition moins le facteur de correction.

SOMME DES CARRÉS (du total)

C'est la somme des carrés de chaque jugement moins le facteur de correction :

$Sc-t = (Somme\ des\ carrés\ de\ chaque\ jugement) - Fc$

SOMME DES CARRÉS (de l'erreur)

C'est la différence entre la somme des carrés du total et la somme des carrés de toutes les sources précisées de variation (évaluateurs, traitements, répétitions)

DEGRÉ DE LIBERTE (des traitements) – dl.tr-

C'est le nombre des traitements moins un

DEGRÉ DE LIBERT'E (des évaluateurs) –dl.ev-

C'est le nombre d'évaluateurs moins un

DEGRÉ DE LIBERT'E (des répétitions)-dl.rép-

C'est le nombre des répétitions moins un

DEGRÉ DE LIBERTÉ (des total)-dl.t.-

C'est le nombre de jugements moins un

DEGRÉ DE LIBERTÉ (de l'erreur)-dl.err-

C'est le degré de liberté du total moins les autres degrés de liberté

CARRÉ MOYEN (CM)

Pour une variable donnée, la somme des carrés de cette variable divisée par le nombre applicable de degrés de liberté.

RAPPORT DES VARIANCES (F)

Pour une variable donnée, c'est le carré moyen de la variable divisé par le carré moyen de l'erreur.

Le rapport des variances calculé est comparé au rapport des variances théorique tiré des tables statistiques II et III (annexes 8et9) moyennant des seuils de probabilité ($p \leq 0,05$ et $p \leq 0,01$).

La différence de résistance à l'étirement d'un échantillon à l'autre est considéré comme notable si F théorique.

VARIATION DE LA RESISTANCE A L'ETIREMENT D'UNE VARIETE A L'AUTRE : ESSAI DE TUKEY

Pour déterminer les traitements (échantillons) différents les uns des autres, on utilise une méthode connue sous le nom de l'essai de Tukey de comparaisons multiples

(SNEDOCOR et COCHRAN ,1989 cité par Elisabeth Larmont)

L'application de cette méthode a conduit au calcul de l'erreur type de la moyenne des traitements (E.T.m.t) et de la moindre différence notable (M.D.S) selon les formules :

$E.T.m.t = \text{carré moyen de l'erreur} / \text{nombre de jugements posés sur chaque échantillon.}$

$M.D.S = E.T.m.t \times \text{valeur de M.D.S tirée de la table correspondante. (Voir annexe).}$

Si la différence entre les moyennes des valeurs numériques de 2 traitements considérés dépasse la valeur calculée pour M.D.S. On conclut que les variétés en question ont des résistances à l'étirement notablement différentes.

INTERACTION EVALUATEURS-TRAITEMENTS

Pour vérifier la présence ou l'absence d'une interaction évaluateurs-traitements, c'est-à-dire déterminer si les évaluateurs sont d'accord quant à l'amplitude de résistance à attribuer aux différentes variétés, on a calculé les paramètres suivants :

SOMME DES CARRÉS (traitements- évaluateurs)

$Sc.(trxev.) = (\text{somme des carrés du total des traitements pour chaque évaluateur divisée par le nombre de répétitions}) - Sc.év. - Sc.tr - Fc$

DEGRES DE LIBERTE (traitements-évaluateurs)

$dl.(tr.xev) = dl.tr \times dl.év.$

SOMME DES CARRÉS (de l'erreur)

$Sc.err. = St. - Sc.tr. - Sc.év - Sc.rép - Sc.(tr. \times év)$

DEGRES DE LIBERTE (de l'erreur)

$dl.err. = dl.t - dl.tr - dl.év - dl.rép - dl.(tr.xév)$

On a calculé un nouveau rapport de variances pour vérifier si les évaluateurs étaient d'accord (voir annexe)

INTERACTION REPETITIONS-EVALUATEURS

Pour vérifier si les évaluateurs utilisent à chaque fois la même partie de l'échelle pour évaluer la résistance à l'étirement d'une variété donnée, on a été amené à procéder à une étude de l'interaction répétitions-évaluateurs. Pour y arriver, on a effectué les totaux des répétitions et ces résultats sont portés dans un tableau à partir duquel on calcule le paramètre nécessaire à la détermination du rapport de variances (F).

On vérifie alors avec le nouveau carré moyen de l'erreur, les carrés moyens des répétitions, des traitements, des évaluateurs et de l'interaction répétitions-évaluateurs.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV-1-CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES PSEUDO-TRONCS DE BANANIER.

Des différences sensibles ont été observées au niveau du poids et de la hauteur des pseudo-troncs, le diamètre étant à peu près le même pour les 4 variétés expérimentées. En effet, la hauteur varie de 1,177 à 3,403 mètre et, le poids de 18,90 à 39,40 kilogrammes. Les variétés exotiques, grâce à leur hauteur dépassant de loin celle des autres fournissent des volumes de déchets plus importants par unité de pseudo-tronc. Compte tenu de cette potentialité et du fait de sa vitesse de croissance et de reproduction relativement grande, la variété Irfa-909, accusant l'un des rendements en fibres les plus élevés (2,94%), Selon le tableau 4, offrirait de meilleurs avantages dans le cadre de l'établissement éventuel de bananeraies pour la production de fibres.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques des pseudo-troncs de bananier.

Variété	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Poids (Kg)
Musquée	0,167	1,787	0,022	393,140	20,70
Figue France	0,171	1,177	0,023	270,710	18,90
I-909	0,167	3,403	0,022	748,660	39,40
I-910	0,140	3,112	0,015	466,800	25,10

IV-2- RENDEMENTS EN FIBRES

Les rendements en fibres varient de 2 à 3% ; les plus grandes valeurs sont accusées par les variétés musquées (3%) et Irfa-909 (2,94%)

Tableau 4 : Rendements en fibres des 4 variétés de bananier

Var.	Poids déchets (en Kg)			Poids de fibres (en Kg)			Rendement (Kg/100Kg)			K
	Répétition			Répétition			Répétition			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Musq	50,00	50,00	50,00	1,48	1,52	1,50	2,96	3,04	3,00	3,00
F.F	50,00	50,00	50,00	0,90	1,20	1,20	1,80	2,40	2,40	2,20
I-909	34,00	34,00	34,00	0,80	1,20	1,00	2,35	3,53	2,94	2,94
I-910	50,00	50,00	50,00	1,30	0,90	0,80	2,60	1,80	1,60	2,00

Var. = variété

Musq = musquée

F.F = figue France

I-909 = Irfa 909

I-910 = Irfa 910

K = Rendement moyen (moyenne arithmétique) en Kg fibres/100 Kg déchets

Le rendement moyen de la transformation des déchets de bananier en fibres est de 10% selon les données de la recherche menée par des chercheurs japonais. Par contre, les résultats de la présente étude rapportent un rendement relativement médiocre de 2 à 3%. Cette différence s'explique, en grande partie, par le manque d'efficacité de la technologie utilisée pour convertir ces déchets en fibres. En effet, d'une part la matière fibreuse est affaiblie lors de son passage à la décortiqueuse, l'intégrité des fibres étant attaquée par les lames de la machine, d'autre part une quantité plus ou moins importante de fibres sectionnée par la lame tranchante de l'instrument (couteau ou machette) utilisé pour achever le défibrage gaspillée en passant à travers les matières tendres de la gaine. Ainsi, on enregistre des pertes considérables variant en quantité avec

l'habilité et le niveau de fatigue des opérateurs : moins doucement on passe le couteau ou la machette sur la gaine, plus importante est la quantité de fibres sectionnées et perdues. De plus, ce procédé de fibrage ne permet d'extraire qu'environ 1,5kg de fibre à l'heure, un rendement à peu près 2 fois inférieur à celui obtenu avec une machine à pédale qui peut extraire environ 2,8kg de fibre à l'heure (GRET ,1980). Cette méthode d'extraction se révèle donc très peu efficace. L'aptitude des variétés testées au Japon à être éventuellement plus rentables que les nôtres serait un autre facteur à ne pas écarter. Néanmoins, on peut prévoir, compte tenu des pertes observées, une amélioration des rendements en fibres des variétés testées dans le cadre de cette étude avec de meilleures conditions d'extraction.

Les variétés Irfa-909 et Musquée fournissant les rendements en fibres les plus élevés, contiennent les plus forts pourcentages en lignine, soit respectivement 39,76 et 36,82 (tableau 8). Ceci peut s'expliquer par le fait que cette composante chimique de la fibre la protège contre les forces mécaniques qui tendent à la réduire. Ainsi, les fibres des variétés Figue France et Irfa-910, contenant les plus faibles teneurs en lignine, résistent moins aux pressions des instruments utilisés pour réaliser le défibrage.

IV-3- RENDEMENTS POSSIBLES À L'HECTARE

Tableau 5 : Production de fibres à l'hectare

Variété	Rendement (en Kg/10 ² Kg)	Poids (Kg)	Production/ha (Kg)
Musquée	3,00	20,70	1416
Figue France	2,20	18,90	948
Irfa-909	2,94	39,40	2641
Irfa-910	2,00	25,10	1144

Les résultats de ce tableau montrent les quantités de fibres pouvant être produites à l'hectare par variété moyennant une densité de plantation de 2400 plants et des pertes de 5% avant maturité. La variété exotique Irfa-909 donne un rendement à l'hectare à peu près 2 fois plus élevé que les autres variétés. Cette potentialité est due à la hauteur utile de son pseudo-tronc, environ 2 fois plus grande que celle des variétés locales, par contre, l'Irfa-910, malgré sa grande

hauteur, présente, après la figue France le rendement le moins élevé en raison de la valeur relativement faible du diamètre de son pseudo-tronc.

IV-4-POIDS SPECIFIQUE

Tableau 6 : poids spécifique des fibres des 4 variétés de bananier.

Variétés	Sous- groupe dans la nomenclature internationale	Poids spécifique en (kg/m ³)
Musquée	Plantain « french »	15 ,8
Figue France	Cavendish demi-nains	15,3
Irfa-909	Type « figue pomme »	15,5
Irfa-910	Type « figue pomme »	11,0

Le poids spécifique des fibres de ces variétés de bananier est en moyenne plus de 30 fois inférieure à celui des espèces forestières présentées ci-dessous. Cette différence notable s'explique essentiellement par le fait que le pseudo-Tronc du bananier à une teneur en eau largement supérieure à celle des espèces forestières. Néanmoins, l'inefficacité de la technologie utilisée en Haïti pour l'extraction des fibres de bananier n'est pas à négliger. Cette inefficacité constitue un argument certes faible par rapport au premier (teneur en eau) mais il a toutefois influencé les résultats trouvés pour les poids spécifiques.

Tableau 7 : Poids spécifiques de quelques espèces forestières.

Nom latin	Nom français	Poids spécifique (Kg/m ³)
<i>Pinus banksiana</i> Lamb	Pin gris	390
<i>A. grandis</i> Lindl	Sapin de Vancouver	370
<i>E. saligna</i> Sm	Eucllyptus saligna	510
<i>Fraxinus</i>	Frêne blanc d'Amérique	550
<i>F. sylvatica</i> L	Hêtre commun	580

Source : RYDHOLM, S.A, 1965

IV-5- COMPOSITION CHIMIQUE DES FIBRES DE BANANIER.

Les taux d'humidité n'accusent que de légères différences d'une variété à l'autre (11 à 12,50%). Des écarts non négligeables ont, par contre, été notés pour les teneurs en cellulose et en lignine. En effet, la première composante varie de 24,60% (Irfa-910) à 34,19% (musquée), tandis que la seconde va de 29,14% (figue France) à 39,76% (Irfa-909), soit une différence de 10% pour les 2 composantes.

Tableau 8 : Caractérisation chimique des fibres : teneurs des principaux constituants, exprimés en pourcentage massiques.

Fibres	Humidité	Matières extractibles	Cellulose	Lignine	Autres
Musquée	12,00	3,79	34,19	36,82	13,20
Figue France	11,00	3,50	31,08	29,14	25,28
Irfa-909	11,50	3,76	25,67	39,76	19,31
Irfa-910	12,50	4,60	24,60	33,15	25,15

On constate que les pourcentages de cellulose obtenus dans les feuilles de bananier sous études sont inférieurs à ceux fournis dans la littérature pour le bois, la bagasse et certaines variétés de chaume. Toutefois, ces résultats se rapprochent des teneurs en cellulose et lignine trouvés dans les racines de vétiver et les graines de flamboyant.

Tableau 9 : Teneur des principaux constituants de la matière fibreuse des racines de vétiver et des graines de flamboyant, exprimés en pourcentages massiques.

Précurseurs Utilisés	Humidité	Cellulose	Matière extractible	Hemi-cellulose	Lignine
Racine de vétiver	7.52	22.98	7.64	36.66	23.53
Graines de flamboyant	10.38	27.07	4.95	52.17	3.36

Source : ALTENOR, 2001

IV-6- CONTRÔLE DE QUALITE DES FIBRES

IV-6-1- LA COULEUR (blancheur)

Tableau 10 : Classement des fibres de 4 variétés de bananiers selon leur niveau de blancheur

Evalueateur	Variantes du traitement			
	Musquée	Figue courte	Irfa 909	Irfa 910
	471	212	336	649
1	3	1	2	4
2	3	2	1	4
3	4	1	2	3
4	4	2	1	3
5	4	1	3	2
6	2	1	3	4
7	4	2	1	3
8	3	2	4	1
9	3	2	1	4
10	3	1	2	4
Somme des rangs attribués	33	15	20	32

Ce tableau contient les différentes valeurs attribuées par les évaluateurs aux fibres des 4 variétés de bananier en fonction de leur perception du niveau de blancheur.

TRAITEMENT DES RÉSULTATS : ESSAI DE FRIEDMAN

COEFFICIENT T

$$T = \{12 / [10 \times 4 \times 5] \times (33^2 + 15^2 + 20^2 + 32^2)\}$$

$$T = 14,3$$

La table statistique de la distribution de Pearson indique qu'avec 3 degrés de liberté (nombre de traitements moins un) et un seuil de probabilité de 0,05, χ^2 accuse une valeur de 7,81 (annexe...). Or, le calcul de T donne 14,3, ce qui est supérieur à la valeur critique de 7,81. Nous concluons donc qu'il existe une différence notable du niveau de blancheur d'un échantillon à l'autre avec un seuil de probabilité inférieur ou égal à 0,05. Toutefois, ce résultat ne permet pas d'identifier lesquels des échantillons différents les uns des autres de façon notable. Cette limite justifie le calcul d'un autre paramètre, la moindre différence notable, notée M.D.S., dont la formule a été exprimée dans la méthodologie.

$$\text{M.D.S.} = 3,63\sqrt{10 \times 4 \times 5}$$

$$\text{M.D.S.} = 14,8$$

Pour souligner les différences, on ajoute des indices aux sommes des rangs :

	471	212	336	649
Somme des rangs	33a	15b	20ab	32a
Rang moyen	3,3	1,5	2,0	3,2

Les sommes des rangs qui n'ont pas les mêmes indices diffèrent de façon notable avec une probabilité de 0,05. Ainsi, les variétés musquée (471) et Irfa-910(649) présente des niveaux de blancheur notablement plus faibles que celui de la variété figue France (212). En effet, les différences entre les sommes des rangs des deux premières et celle de la dernière, soit respectivement 18 et 17 dépassent la valeur trouvée pour M.D.S. par le calcul. Cet écart notable entre les niveaux de blancheur peut s'expliquer par la composition chimique des échantillons. L'échantillon de fibres de la variété figue France qui apparaît le plus blanc est moins riche que les autres variétés en lignine, substance reconnue pour sa capacité d'altérer la blancheur des fibres : plus une fibre en contient, plus son niveau de blancheur diminue ; de plus la cellulose, constituant chimique de couleur blanchâtre recherché dans les industries papetières, est plus importante dans la figue France que dans les variétés exotiques.

IV-6-2-LA RÉSISTANCE A L'ÉTIREMENT

Tableau 11 : Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des quatre variétés de fibre de bananier.

Source de variation	D1	Sc	Cm	F
Répétitions	2	2,3	1,1	0,9
Evaluateurs	9	11,9	1,3	1,1
Traitements	3	835,5	278,5	232,1
Erreur	105	130,2	1,2	

Avec 3 degrés de liberté au numérateur et 105 degrés de liberté au dénominateur, le rapport des variances (F) doit dépasser environ 2,7 pour être notable avec une probabilité inférieure ou égale à 0,05 et environ 4,0 pour être notable avec une probabilité $P \leq 0,01$ (annexe 7)

Le Calculé étant égal à 232,1 pour les traitements, il existe donc une différence notable de la résistance à l'étirement d'un échantillon à l'autre.

VARIATION DE LA RESISTANCE A L'ETIREMENT D'UNE VARIETE A L'AUTRE : ESSAI DE TUKEY.

ERREUR TYPE DE LA MOYENNE DES TRAITEMENTS(E.T.m.t)

$$E.T.m.t = \sqrt{1,2/30}$$

$$E.T.m.t = 0,2$$

Selon la table statistique affichée à l'annexe 8, la valeur qui correspond à 4 traitements et 105 degrés de liberté s'élève à environ 2,5 pour $P \leq 0,05$.

La moindre différence notable pour cette probabilité est alors : M.D.S (0.05) = $2,5 \times \sqrt{2} \times 0,2$

$$M.D.S(0,05) = 0,71.$$

Les moyennes des traitements (moy.tr) sont ainsi ordonnées :

Variété	Musquée	Figue France	Irfa-909	Irfa-910
Code	(437)	(681)	(249)	(572)

DIFFERENCES ENTRE LES TRAITEMENTS (pris deux à deux) :

$$(437)-(681)=8,23-1,90=6,33>0,71$$

$$(437)-(249)=8,23-8,07=0,17<0,71$$

$$(437)-(572)=8,23-4,53=3,70>0,71$$

$$(249)-(681)=8,07-1,90=6,17>0,71$$

$$(249)-(572)=8,07-4,53=3,54>0,71$$

$$(572)-(681)=4,53-1,90=2,63>0,71$$

La variété locale figue France de code (681) est celle qui oppose le moins de résistance à l'étirement ; on a constaté qu'elle produit les fibres les plus courtes et contient la plus faible teneur en lignine, soit 29,14 (tableau 8). Par contre, les variétés Irfa-Irfa-909 (249) et musquée (437) dont les teneurs en lignine sont les plus élevées, soit respectivement 39,76 et 36,82 (tableau 8) résistent mieux à l'étirement que les autres variétés. Il paraît donc évident que la résistance des fibres de bananier à l'étirement est essentiellement déterminée par leur longueur et leur teneur en lignine. Ces résultats correspondent bien aux données mentionnées dans la revue de littérature, données selon lesquelles plus les fibres sont longues, plus elles sont résistantes (WAYMAN, 1973) ; d'autre part, une grande teneur en lignine se traduit en général par une grande résistance à l'étirement, ce constituant chimique de la matière fibreuse étant destiné essentiellement à la protection mécanique des tissus végétaux.

De plus, entre ces 2 variétés (Irfa-909 et musquées) il n'existe pas de différence notable de résistance à l'étirement : La différence entre leurs moyennes des traitements (0,17) est inférieure à la moindre différence notable (0,71).

INTERACTION EVALUATEURS-TRAITEMENT.

Tableau 12 : analyse de la variance de la résistance à l'étirement de 4 variétés de fibres bananier : interaction évaluateurs-traitements.

Source de variation	D1	Sc	Cm	F
Répétitions	2	2,3	1,1	1,8
Évaluateurs	9	11,9	1,3	2,1
Traitements	3	835,5	278,5	449,2
Trxév	27	81,8	3,03	4,9
Erreur	78	48,4	0,62	

Le rapport des variances calculé pour les traitements vaut 449,2, alors que celui fourni par la table statistique figurée à l'annexe avec 3 degrés de liberté au numérateur et 78 degrés de liberté au dénominateur avoisine 2,70, donc de loin inférieur à la valeur calculée. L'interaction traitements-évaluateurs n'est donc pas notable. Nous concluons que les évaluateurs étaient d'accord quant à la perception de l'amplitude de la résistance des fibres.

INTERACTION REPETITIONS-EVALUATEURS

Tableau 13 : Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des fibres :

Interaction répétitions-évaluateurs

Source de variation	D1	Sc	Cm	F
répétitions	2	2,3	1,1	0,8
Évaluateurs	9	11,9	1,3	0,9
Traitements	3	835,5	278,5	198,9
Répétitions-évaluateurs	18	9,2	0,5	0,3
Erreur	87	121	1,4	

Le rapport des variances (F) calculé égale 198,9, tandis que la table statistique de l'annexe 8 fournit une valeur voisine de 2,70 pour le rapport théorique avec 3 degrés de liberté

au numérateur et 87 degrés de liberté au dénominateur. L'interaction répétitions-évaluateurs n'est donc pas notable. Cette différence non notable traduit le fait que les évaluateurs utilisent la même partie de l'échelle pour évaluer la résistance à l'étirement d'une variété, d'une répétition à l'autre, ce à quoi on s'attend en général d'un jury.

CHAPITRE V- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans le but de satisfaire la consommation mondiale de papier sans cesse croissante tout en limitant l'utilisation des réserves forestières, les stipes de bananier ont été proposés comme nouvelle source de matière première pour la fabrication de papier et des produits dérivés ; ces déchets agricoles que l'on rencontre en grande partie dans les régions tropicales et généralement inutilisés, constituent un substituant au bois, ressource naturelle renouvelable devenant de plus en plus rare à cause de l'exploitation abusive des forêts.

La présente étude établit les performances de quatre variétés de bananier cultivées en Haïti à fournir des fibres en quantité suffisante et en qualité acceptable pour la fabrication de papier et des produits dérivés.

Pour y arriver, on a évalué les rendements en fibres des 4 variétés, mesuré certaines caractéristiques physiques des pseudo-troncs, notamment leurs poids et volume unitaires, établi certaines propriétés physiques des fibres telles que le poids spécifique, la couleur, la résistance à l'étirement, et on a déterminé la composition chimique des fibres.

L'étude montre que les fibres de bananier sont longues et résistantes, mais accusent du fait de la grande teneur en eau des pseudo-troncs, un poids spécifique relativement faible. On a constaté que la musquée est la variété qui donne le meilleur rendement en fibres. Toutefois, à l'échelle d'une superficie d'un hectare et pour une densité de plantation égale, c'est l'Irfa-909 qui constitue la variété la plus rentable. Les tests de contrôle de qualité ont prouvé également que les variétés musquée et Irfa-909, dont les teneurs en lignine sont les plus élevées, opposent une plus grande résistance à l'étirement, tandis que la variété figue France, moins pourvue en lignine et en matières extractibles, pourtant plus riche en cellulose après la musquée présente le niveau de blancheur le plus élevé.

Les résultats obtenus confirment les hypothèses de travail selon lesquelles d'une part, les rendements et qualités de fibres obtenus pour la fabrication de papier-banane et des produits dérivés dépendent de la variété de bananier utilisée et d'autre part, les variations observées dans les rendements et qualités des fibres des différentes variétés de bananier sont dues à des caractéristiques physiques des pseudo-troncs de bananier, ainsi qu'à certaines caractéristiques physiques et chimiques des fibres

Enfin, compte tenu du volume et de la qualité de fibres pouvant être obtenus à l'hectare, on est en mesure d'affirmer que le projet de papier-banane est un projet techniquement faisable en Haïti et, en perspective de développement de ce projet, il est recommandé de :

- Améliorer la technique d'extraction des fibres par la formation des opérateurs travaillant dans ce secteur et l'acquisition ou la construction sur place d'une décortiqueuse plus performante et plus simple telle que « raspador », une machine à pédale utilisée en Inde pour l'extraction des fibres de bananier ;
- Etablir un compte d'exploitation pour l'extraction des fibres de bananier ;
- Utiliser les variétés « figue France » et « musquée » dans la fabrication de papiers servant à l'écriture et à l'impression, et les variétés « Irfa-909 » et « Irfa-910 » dans la production de papiers et produits dérivés devant répondre à de grands efforts mécaniques ;
- Étendre cette étude à d'autres variétés de bananier cultivées en Haïti ;
- Fabriquer et commercialiser, à partir des fibres de bananier, des objets tels que sandales, tissus, valises et sacs ;
- Profiter de toute opportunité comme les foires pour assurer la promotion des fibres produites en Haïti ;
- Produire et commercialiser des dérivés du papier-banane tels que certificats, cartes de visite, de vœu, de mariage, de baptême ;
- Etudier l'impact des jus résiduels des déchets de bananier sur l'environnement ;
- Obtenir des stages de formation au Japon en vue de former des compétences dans des domaines connexes à la fabrication de papier-banane, domaines tels que la conception et la construction de machines nécessaires à l'extraction et au broyage des fibres, fabrication de tissus et autres produits dérivés ;
- Etablir avec des ONG des contrats de coopération et d'échange pour des produits fabriqués à partir du papier-banane (cartes postales, papier à en-tête, cartes de visite, de vœu) ;
- Organiser des séminaires de formation et de sensibilisation à l'intention des artisans haïtiens pour leur porter à utiliser le papier-banane comme support ;
- Organiser des séminaires adressés aux hommes d'affaires haïtiens à des fins d'investissement industriel.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- ALTENOR, S. (2001), Préparation de charbons actifs à partir de sous-produits agricoles d'origine tropicale, mémoire de fin études universitaires (1^e cycle), FAMV, 52 pages.
- 2- ANDREAS, R (1983) "paper" dans: Bilder Wissenschaft, octobre 1983, p.88-97.
- 3- BECKER, J. (1988), paper technology and the third world éd. GTZ Division 32 Gate, 145 pages.
- 4- FAO (1967), Le bois: évolution et perspectives mondiales. Rome. Campagne mondiale contre la faim, étude de base #16.
- 5- FAO (1994), fibre textile-consommation-enquête.
- 6- GRET, (1980), utilisation des fibres de bananier dans : « fichier encyclopédique du développement » fascicule #20, T 493.
- 7- HURTER, A.M.(1963) ,Waste paper and rags as raw materials for papermaking pulp in the Near East dans :Proceedings of the UNESCO\FAO , Regional symposium on pulp and paper research and technology in the Middle East North Africa, 1962. P.301-353.
- 8- IPGRI, (1996), Descriptores para el banano, CIRAD ,55 pages.
- 9- JAPAN WASTE PAPER ASSOCIATION L.T.D. (1962), the economic progress of the collection and utilization of waste paper in the United Kingdom dans nations Unies/FAO. Proceedings of the conference on pulp and paper development in Asia and the Far East. Vol.2, pages 524-527.
- 10- JEUNE, P (1999), la banane plantain dans le système de production de la plaine de l'Archaie, mémoire de fin d'études universitaires (1^e cycle), FAMV.
- 11- LARMOND, T. (1990), Méthode d'évaluation sensorielle American society for technology and material.
- 12- LESCOT, T. (1995), situation et perspective de la culture du bananier plantain et autres bananes. Rapport de mission CIRAD-FHLOR 19 pages.
- 13- LESCOT, T. (1998), Propositions d'appui à la production bananière, projet Archaie-PREPIPA, CIRAD FHLOR 26 pages.
- 14- MELIN, Ph, DOREL M.(1990), propositions en vue d'améliorer la productivité des bananeraies de l'Archaie. Rapport de mission CIRAD FHLOR 26 pages.
- 15- MORISHIMA, H. (communication personnelle), the banana Paper projet.

- 16- Official Methods of Analyses of the Association of Chemical Analytical Chemist, Washington D.C, 2e éd ; 1094 p.
- 17- PODDER, V (1962), review of pulping methods for bagasse dans Nations Unies/FAO .proceedings of the conference on pulp and paper development in Asia and the Far East. Vol. 2 pages 423-430.
- 18- TIMBERLAKE, K. (1979), Manuel de chimie organique.
- 19- RYDHOLM, S.A (1965) Pulping processes, New-York. Interscience.
- 20- VASSEREAU, A. (1988), Méthodes statistiques en biologie et en agronomie Edition J.B. Baillière, 539 pages.
- 21- WAYMAN, M. (1973), Guide pour la planification des entreprises de pâtes et papiers dans : collection FAO, études sur les forêts et les produits forestières, No 18, FAO 396 pages.
- 22- www.yahoo.fr. (2001), hachette multimédia, données encyclopédiques.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : détermination de la variation de blancheur d'une variété à l'autre : calcul de la différence entre la somme des rangs pris 2 à 2

$$(471)-(212)=33-15=18>14,8$$

$$(471)-(336)=33-20=13<14,8$$

$$(471)-(649)=33-32=1<14,8$$

$$(336)-(212)=20-15=5<14,8$$

$$(649)-(212)=32-15=17>14,8$$

$$(649)-(336)=32-20=12<14,8.$$

Annexe 2 : Résistance à l'étirement : calcul des paramètres nécessaires à l'analyse de la variance

Pointages accordés à la Résistance à l'étirement des fibres

Variantes du traitement (code)													
Eval.	Musquée (437)			Figue courte (681)			Irfa-909 (249)			Irfa-910 (572)			Total
	Répétition			Répétition			Répétition			Répétition			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Total
1	3,0	6,7	7,1	1,4	1,7	1,4	9,0	8,0	7,3	5,2	6,6	2,3	59,7
2	7,9	7,2	8,0	2,0	2,0	2,8	9,7	9,8	7,7	4,8	4,6	4,4	70,9
3	7,4	6,5	7,2	2,2	2,1	1,9	9,6	9,0	8,1	4,6	5,0	4,8	68,4
4	9,9	9,4	7,2	1,8	2,1	2,6	6,6	8,2	7,1	4,0	4,5	5,0	68,4
5	6,4	7,4	8,1	4,1	2,5	2,0	7,8	9,5	8,7	8,9	5,2	4,3	74,9
6	9,3	9,1	8,9	1,7	2,0	1,8	6,9	7,1	7,0	4,5	3,9	4,5	66,5
7	9,4	8,9	7,9	1,4	1,7	2,1	6,5	7,2	6,8	4,2	4,1	3,5	63,7
8	9,8	9,2	9,5	1,3	1,5	1,3	9,2	8,7	7,2	3,9	4,2	3,8	69,6
9	10,8	9,7	9,8	1,8	1,2	2,0	7,7	8,1	7,1	4,2	3,9	4,1	70,4
10	9,7	7,7	8,1	1,4	1,5	1,7	9,1	8,9	8,5	4,1	4,5	4,3	69,5
Total	83,6	81,8	81,8	19,0	18,3	19,6	82,1	84,5	75,5	83,66	48,4	46,5	41,0

TOTAL DE CHAQUE TRAITEMENT

(437)	(681)	(249)	(572)
247,1	56,9	242,1	135,9

TOTAL DE CHAQUE REPETITION

1	2	3
233,1	231,0	217,9

FACTEUR DE CORRECTION

$$F_c = (682,1)^2 / (10 \times 4 \times 3)$$

$$F_c = 3877,1$$

SOMME DES CARRES DES TRAITEMENTS (sc.tr)

$$S_{c.tr} = (135,9^2 + 56,9^2 + 242,1^2 + 247,1^2 / 30) - 3877,1$$

$$S_{c.tr} = 835,5$$

SOMME DES CARRES DES EVALUATEURS (Sc.rép)

$$S_{c.év.} = (59,7^2 + 70,9^2 + 68,4^2 + 68,4^2 + 74,9^2 + 66,5^2 + 63,7^2 + 69,6^2 + 70,4^2 + 69,5^2 / 12) - 3877,1$$

$$S_{c.év.} = 11,9$$

SOMME DES CARRES DES REPETITIONS (sc.rép)

$$S_{c.rép} = (233,1^2 + 231,0^2 + 217,9^2 / 40) - 3877,1$$

$$S_{c.rép} = 2,3$$

SOMME DES CARRES DU TOTAL (sc.t)

$$S_{c.t} = (5,2^2 + 4,8^2 + 4,6^2 + \dots + 8,1^2) - 3877,1$$

$$S_{c.t} = 979,9$$

SOMME DES CARRES DE L'ERREUR(Sc.err)

$$S_{c.err.} = 979,9 - (835,5 + 11,9 + 2,3)$$

$$S_{c.err.} = 130,2.$$

Annexe 3 : Analyse de la variance de la résistance à l'étirement des Fibres :interaction évaluateurs -traitements : calculs des paramètres

Tableau : totaux attribués à chaque traitement par chaque évaluateur

Evalueateur	Variantes du traitement			
	Musquée (437)	Figue France (681)	Irfa 909 (249)	Irfa 910 (572)
1	16,8	4,5	24,3	14,1
2	23,1	6,8	27,2	13,8
3	21,1	6,2	26,7	14,4
4	26,5	6,5	21,9	13,5
5	21,9	8,6	26,0	18,4
6	27,3	5,5	21,0	12,7
7	26,2	5,2	20,5	11,8
8	28,5	4,1	25,1	11,9
9	30,3	5,0	22,9	12,2
10	25,5	4,6	26,5	12,9

SOMME DES CARRES (interaction traitements-évaluateurs)

$$Sc (tr_{xev}) = [(14,1 + 4,5 + 24,3 + 16,8 + \dots + 25,5) / 3] - (11,9 + 835,5 + 3877,1)$$

$$Sc (tr_{xev}) = 81,8$$

DEGRES DE LIBERTE (interaction traitement-évaluateur)

$$dl (tr_{xev}) = dl.tr \times dl_{ev} = 9 \times 3 \quad dl (tr_{xev}) = 27$$

SOMME DES CARRES (de l'erreur)

$$Sc_{err} = Sc.t + [Sc.tr + Sc.ev + Sc.rep + Sc.(tr_{xev})] = 979,9 + 9835,5 + 11,9 + 2,3 + 81,8$$

Sc.err=48,4

DEGRES DE LIBERTE (de l'erreur)

dl.err=dl,t+[dl.tr+dl.ev+dl.rep+dl.(trxev)]=119+(3+9+2+27)

dl.err=78.

Annexe 4 : Analyse de la variance de la résistance a l'étirement des fibres : calcul des paramètres

Tableau : totaux attribués a chaque répétition par chaque évaluateur

Répétitions			
Évaluateurs	1	2	3
1	18,6	23,0	18,1
2	24,4	23,6	22,9
3	23,8	22,6	22,0
4	22,3	24,2	21,9
5	27,2	24,6	23,1
6	22,4	22,1	22,2
7	21,5	21,9	20,3
8	24,2	23,6	21,8
9	24,5	22,9	23,0
10	24,3	22,6	22,6

SOMME DES CARRES (interaction répétitions-évaluateurs)

$$Sc(\text{rep} \times \text{ev}) = (18,6^2 + 23,0^2 + 18,1^2 + 22,6^2 + 22,6^2) - 11,9 - 2,3 - 3877,1$$

$$Sc.(\text{rep} \times \text{ev}) = 9,2$$

DEGRES DE LIBERTE (interaction répétitions-évaluateurs)

$$dl.(\text{rep} \times \text{ev}) = dl.\text{rep} \times dl.\text{ev} = 2 \times 9$$

$$dl.(\text{rep}, \text{ev}) = 18$$

SOMME DES CARRES (de l'erreur)

$$Sc.\text{err.} = Sc.t - Sc.\text{tr} - Sc.\text{ev} - Sc.\text{rep.} - Sc(\text{rep} \times \text{ev}) = 979,9 - 835,5 - 11,9 - 2,3 - 9,2$$

$$Sc.\text{err.} = 121$$

DEGRES DE LIBERTE (de l'ereur)

dl.err.=dl.t-dl.tr-dl.rep-dl..(Rep.xev)=119-3-2-18

dl.err=87

Annexe 5 : Résultats de la mesure des diamètres des pseudo-troncs de bananier

Diamètre(en 10 ⁻³ metre)											
Musquée			Figue France			Irfa-909			Irfa-910		
base	Som	Moy	base	Som	Moy	base	Som	Moy	base	Som	Moy
164	152	158	174	162	168	170	158	164	158	152	155
176	167	171	180	172	176	170	161	165	150	144	147
174	168	171	178	171	174	162	157	159	134	130	135
174	166	170	176	167	171	166	163	164	140	137	138
170	162	166	177	168	172	179	171	175	140	136	138
170	162	166	172	163	167	168	160	164	138	134	136
176	168	172	175	168	171	172	164	168	142	134	138
175	167	171	176	168	172	178	170	177	138	134	136
170	167	168	173	168	170	170	164	167	144	140	142
162	157	159	176	168	172	172	165	168	140	136	138
Tot		1610			1710			1670			1400
Moy		167			171			167			140

Annexe 6 : Présentation sommaire des matériels végétaux

variétés	groupe	Sous-groupe dans la nomenclature internationale	Caractéristiques
Musquée		Plantains « french »	
Figue France ou jadinèt		Cavendish « demi-nains »	
Irfa-909	AAB	Type « figue pomme »	Résistant à la maladie des <u>raies noires</u>
Irfa-910	AAB	Type figue-pomme	Résistant à la maladie des raies noires

Source : ZARIOH, 1999.

Fiche d'évaluation pour l'essai avec échelle non graduée

Produit : Fibre de bananier

Nom de l'évaluateur :

Date de l'évaluation :

Veillez évaluer la résistance à la traction de ces échantillons de fibre. Tracez un petit trait vertical sur la ligne horizontale pour indiquer le pointage que vous accordez à la résistance de chaque échantillon de fibre. A chaque trait vertical, faites correspondre le numéro de code de l'échantillon.

Reprenez l'expérience (tirez les fibres) autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que vous soyez en mesure d'établir la différence entre les efforts déployés pour rompre les fibres.

N.B :- Résistance à la traction=Travail perçu comme nécessaire pour provoquer la rupture de la fibre.

Veillez évaluer les échantillons dans l'ordre suivant :

572

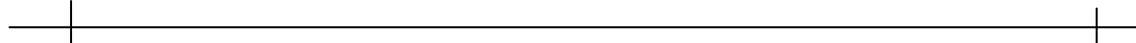
681

437

249

Très faible

Très forte.



Fiche d'évaluation pour l'essai de classement**Produit : Fibre de bananier***Nom de l'évaluateur* :*Date de l'évaluation* :

Classer les échantillons présentés selon leur blancheur. L'échantillon le plus blanc est classé au premier rang, le moins blanc au quatrième rang, le reste à l'avenant. Evaluer les échantillons dans l'ordre indiqué.

Placer les codes sur les lignes convenables.

212 336 471 649

Rang : le plus blanc 1,.....

2,.....

3,.....

Le moins blanc 4,.....