Projet CFC/IGG - (FIGG/02)

Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio

CIRAD-IER-IRAG-IRSAT

Activité n°4

ANALYSE DES CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES ET CULINAIRES DU FONIO

Protocoles de caractérisation de la qualité du fonio

Geneviève FLIEDEL
CIRAD-CA /Calim/QP, Montpellier, France.

Djibril DRAME,
IER / LTA, Bamako, Mali.

Mars 2002

SOMMAIRE

	Pages
1. Nettoyage à sec	**2**
2. Echantillonnage	**2**
3. Poids de mille grains	**3**
4. Aptitude à la transformation du fonio paddy	**4**
4.1. Décorticage	**4**
4.2. Blanchiment	**4**
5. Qualité du fonio transformé	**5**
5.1. Taux d'impuretés	**5**
5.1.1. Grosses impuretés	
5.1.2. Particules en suspension	
5.1.3. Taux de cailloux, sable	
5.2. Pourcentage de paddy présents	**6**
5.3. Degré de blanchiment – Test de coloration	**6**
5.4. Taux de brisures	**8**
5.5. Analyses chimiques	**8**
5.5.1. Teneur en cendres	
5.5.2. Teneur en lipides	
5.5.3. Teneur en protéines	
6. Qualité culinaire du fonio blanchi	**12**
6.1. Capacité d'absorption d'eau du fonio cuit	**12**
6.2. Temps de cuisson dans eau bouillante	**13**

Ce fascicule de protocoles d'analyse de la qualité du fonio est destiné aux :

- techniciens de laboratoire pour la caractérisation variétale du fonio (paddy, décortiqué, blanchi)
- machinistes pour le suivi de leurs essais d'équipements (fonio prédécortiqué, blanchi)
- transformatrices pour le contrôle de la qualité de leurs produits (fonio prédécortiqué, blanchi, précuit, traditionnels ou mécanisés).

1. Nettoyage à sec

Objectif : Cette opération vise un double objectif :

- Déterminer le taux d'impuretés d'un lot de fonio paddy ou prédécortiqué.
- Débarrasser le lot de fonio de toutes impuretés (pailles, graines étrangères, cailloux et particules de sable, de terre, grains immatures…) avant le décorticage, blanchiment ou toute autre analyse.

Principe : Le principe de nettoyage repose sur une séparation par tamisage -combinée ou non à une ventilation- de toutes les particules de diamètre supérieur et inférieur à la largeur de l'épillet (comprise en moyenne entre 0.8 et 1.1 mm).

Matériel :
- deux tamis d'ouverture de maille respective de 1000 µm et 600 µm avec récipient de réception
- balance de précision à 0.1 g.

Mode opératoire :
- Nettoyer les tamis et fond réceptacle et tarer-les
- Prélever un échantillon représentatif de 60 g de paddy à nettoyer et verser le dans le tamis de 1000 µm superposé sur le réceptacle
- Tamiser l'échantillon, manuellement ou à l'aide d'un tamiseur mécanique, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de transfert de matière du tamis vers le réceptacle (environ 1 à 2 mn)
- Tamiser ensuite le passant du tamis 1000 µm sur le tamis de 600 µm
- Peser respectivement le refus du tamis 1000 µm (Gi = grosses impuretés) et le passant du tamis 600 µm (Fi = fines impuretés)
- Calculer les proportions respectives de grosses et fines impuretés selon les formules suivantes :

Gi = (Masse nette du refus du tamis 1000 µm / Masse de la prise d'essai) x 100

Fi = (Masse nette du passant du tamis 600 µm / Masse de la prise d'essai) x 100

NB : Selon le tamiseur mécanique utilisé, on peut superposer les deux tamis.

2. Echantillonnage

Objectif : Obtenir un échantillon représentatif du lot à analyser pour juger de façon précise et globale de la qualité d'une grande quantité de grains paddy ou transformés.

Principe : Utiliser un matériel spécifique (diviseurs d'échantillons coniques ou à rifles, sonde de prélèvement) ou procéder à un échantillonnage manuel par la méthode des quartiles (annexe 2).

Matériel : Diviseur à rifles pour semences ou diviseur conique.

Figure 1. Diviseur à rifles Tripette et Renaud pour semences

Mode opératoire :
- Mélanger l'échantillon à analyser par 5 passages successifs dans l'échantillonneur avec remélange des deux fractions obtenues à chaque passage.
- Echantillonner par passages successifs d'une seule fraction jusqu'à obtention de la quantité d'échantillon désirée.

3. Poids de mille grains

Objectif : Le poids de 1000 grains renseigne sur la grosseur du grain, sa densité et son degré de remplissage au cours du développement au champ. Il figure très souvent dans les critères de sélection des variétés.

Principe : Le principe repose sur le comptage suivi de la pesée d'un nombre représentatif de grains. La moyenne de trois répétitions est notée comme poids de 1000 grains de l'échantillon. Pour une meilleure comparaison des valeurs mesurées sur une même variété en différents lieux et années, il est préférable d'exprimer le poids de 1000 grains par rapport à la matière sèche.

Matériels : . Balance de précision 0,01 g près
. Les récipients de pesée.

Mode opératoire :
- L'échantillon doit être au préalable bien nettoyé et débarrassé de toutes impuretés.
- Prélever à l'aide d'un diviseur ou par la méthode des quartiles, une quantité voisine de la prise d'essai.
- Compter manuellement 250 grains. Noter la masse en grammes et extrapoler cette valeur à 1000 grains en la multipliant par 4.
- Faire trois déterminations et noter leur moyenne.
- Calculer le poids de 1000 grains par rapport à la matière sèche.

4. Aptitude à la transformation du fonio paddy

L'objectif de cette caractérisation est de prédire le comportement à l'usinage de différentes variétés de fonio. Elle intéresse donc en particulier les techniciens ou chercheurs travaillant sur la sélection ou l'amélioration variétale.

4.1. Décorticage

Objectif : Le décorticage des grains de fonio paddy consiste à éliminer les balles pour obtenir des grains de fonio décortiqués (cf. diagramme de transformation du fonio en annexe 3)

Matériel et Principe : Un décortiqueur de laboratoire à rouleaux de caoutchouc SATAKE, habituellement utilisé pour le riz, a été adapté au fonio. Son principe de fonctionnement repose sur le passage du grain paddy entre deux rouleaux de caoutchouc, tournant en sens inverse et animés de vitesses différentes (1 : 1,25). L'écartement entre les rouleaux est réglé en fonction de la taille des grains de paddy à décortiquer. Cette vitesse différentielle provoque un phénomène de friction à la surface des balles et celles-ci sont ainsi arrachées, puis entraînées dans un cyclone par un système de ventilation. Le grain nu décortiqué est récupéré dans des godets. L'avantage de ce type de décortiqueur est qu'il laisse le grain intact et qu'il produit peu de brisures ; l'inconvénient est une usure assez rapide des rouleaux de caoutchouc.

Mode opératoire : Pour le fonio, l'écartement entre les rouleaux est réglé au contact et la ventilation minimale (trappe totalement ouverte). Une quantité minimale de 100 g et deux passages du grain sont nécessaires pour obtenir un bon décorticage.
Il est nécessaire de vérifier l'entraînement éventuel de grains paddy ou décortiqués dans les balles en recyclant celles-ci par un nouveau passage entre les rouleaux suffisamment écartés.

Le rendement au décorticage est le pourcentage de la masse des grains décortiqués par rapport à celle des grains paddy pesés au départ.

Rendement au décorticage = (masse des grains décortiqués / masse de la prise d'essai) x 100

4.2. Blanchiment

Objectif : Le blanchiment des grains décortiqués consiste à enlever le son adhérent au grain de fonio décortiqué et tout ou partie du germe.

Mode opératoire : L'essai et l'optimisation de plusieurs équipements de laboratoire à l'IER et au CIRAD sont en cours pour la caractérisation variétale.

5. Qualité du fonio transformé

Il s'agit d'évaluer la qualité d'un fonio prédecortiqué (matière première à blanchir) ou blanchi, traditionnellement ou mécaniquement.

5.1. Taux d'impuretés

Il s'agit de vérifier la pureté de l'échantillon prédécortiqué ou blanchi, traditionnellement ou mécaniquement.

5.1.1 Grosses impuretés

Objectif : L'objectif est de déterminer la quantité de grosses impuretés présentes dans l'échantillon (paille, graines étrangères, gros cailloux, pierres…).

Mode opératoire :
- Echantillonnage d'une portion de 100 g environ.
- Les 100 g de fonio sont déposés sur le tamis de 1000 µm préalablement taré. Le tamisage est effectué manuellement ou à l'aide d'un tamiseur mécanique, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de transfert de grains du tamis vers le réceptacle
- Le tamis est ensuite pesé, et on en déduit un pourcentage de grosses impuretés.

5.1.2. Particules en suspension

Objectif : L'objectif est de déterminer la quantité de particules légères présentes dans l'échantillon (sons non adhérents, poussière, terre, grains immatures…).

Mode opératoire :
- Un échantillon de 60 g est placé dans un pot plastique de 500 ml et on y ajoute 200 ml d'eau distillée. A l'aide d'une spatule, on mélange le tout et on récupère le surnageant avec les particules étrangères dans un bêcher taré de 600 ml (on peut s'aider d'un « chinois » pour conserver le fonio blanchi). L'opération est réalisée 3 fois.
- L'eau sale contenue dans le Bécher est ensuite évaporée par chauffage sur une plaque chauffante jusqu'à ce qu'il ne reste plus que quelques ml d'eau.
- L'évaporation se termine dans une étuve à 100°C jusqu'à poids constant, puis le bécher est pesé pour obtenir le pourcentage de particules légères.

5.1.3. Taux de cailloux, sable

Objectif : L'objectif est de déterminer la quantité de cailloux, sable présents dans l'échantillon et qui n'ont pas pu être séparés par tamisage, c'est à dire par différence de taille.

Mode opératoire :
- L'échantillon est conservé dans son pot en plastique de 500 ml. Une petite bassine d'eau distillée est utilisée pour prendre de l'eau avec le pot contenant le fonio. Un mouvement de balancier est réalisé pour séparer les grains de fonio des particules étrangères afin de laisser tomber le fonio dans la bassine, les particules lourdes (cailloux, sable) restant dans le fond du pot grâce à la différence de densité.
- Les particules lourdes sont récupérées, séchées à l'étuve à 70°C et pesées pour obtenir le taux de cailloux, sable présents dans l'échantillon.
- Cette opération est réalisée deux fois, puis le fonio « propre » ainsi obtenu est séché à l'étuve à 50°C pour les analyses suivantes.

5.2. Pourcentage de paddy présents

Objectif : L'objectif est de déterminer le nombre de grains non décortiqués (paddy) dans un échantillon de fonio usiné.

Mode opératoire :

- Constituer à partir de l'échantillon mère un sous-échantillon de 1.0 g, le plus représentatif possible, moyennant un diviseur d'échantillons ou par la méthode des quartiles
- Procéder à la séparation des grains non décortiqués en s'aidant d'une loupe et d'une spatule lors du triage
- Compter le nombre de grains non décortiqués
- Calculer le taux de paddy en se référant au poids de 1000 grains paddy et à celui de la prise d'essai.

Le pourcentage de paddy (% paddy) contenu dans la prise d'essai est :

$$\% \text{ paddy} = \frac{\text{Poids des grains non décortiqués } P_{nd}}{\text{Prise d'essai } P_0} \times 100$$

$$\text{Avec } P_{nd} = \frac{N \times PMG_p}{1000}$$

- P_{nd} = poids des grains non décortiqués ou poids des paddy comptés
- P_0 = prise d'essai en grammes
- N = nombre de grains non décortiqués contenus dans P_0
- PMG_p = poids de 1000 grains paddy

D'où la formule suivante :

$$\% \text{ paddy} = \frac{N \times PMG_p}{10 \times P_0}$$ en nombre de grains non décortiqués pour 100 g de fonio usiné

- Faire trois déterminations et noter leur moyenne

5.3. Degré de blanchiment – Test de coloration

Objectif : Evaluer visuellement le degré de blanchiment des fonio prédécortiqués et blanchis c'est à dire la présence de grains décortiqués et de grains avec des sons adhérents.

Principe : Le degré de blanchiment est évalué après coloration des grains avec le colorant MAY GRÜNWALD à base de bleu de méthylène-éosine dans l'alcool éthylique ou le méthanol. Ce colorant, habituellement utilisé sur le riz, a la particularité de colorer l'albumen en rose et le péricarpe en vert. Après coloration, les grains virent au rose, vert, ou un mélange des deux couleurs selon leur degré d'usinage, les paddy gardant leur couleur initiale marron.

Mode préparatoire :

. Préparation du colorant bleu de méthylène – éosine :

Bleu de méthylène	1 g
Eau	100 ml
Eosine	1 g
Eau	100 ml

- Préparer une solution aqueuse de bleu de méthylène à 1% et une solution aqueuse d'éosine yellow à 1%. Mélanger les deux.
- Bien agiter et centrifuger à 1800 t/min pendant 10 min en répartissant si besoin dans plusieurs tubes. Jeter le surnageant. Laver le culot deux fois en ajoutant 10 ml d'eau distillée, centrifuger pendant 5 min, et séparer le surnageant.
- Recueillir le culot afin de le laisser sécher à l'air libre.
- Peser 350 ± 10 mg de la poudre précédemment obtenue et la dissoudre dans 100 ml d'éthanol ou de méthanol. Agiter toute la nuit pour dissoudre et homogénéiser la solution. On obtient ainsi le réactif de MAY GRÜNWALD concentré.
- Pour notre coloration, il est nécessaire de préparer une solution en diluant avec de l'éthanol ou du méthanol au 1/3 (v/v). On obtient ainsi notre colorant de MAY GRÜNWALD.

. Coloration des échantillons de fonio :

- Peser 0.5 g d'échantillon de fonio dans une coupelle
- Immerger l'échantillon dans de l'eau distillée pendant environ 1 mn jusqu'à immersion complète des grains flottants
- Égoutter puis immerger le même échantillon dans le colorant de MAY GRÜNWALD pendant 2 min
- Laver les grains avec 3 ml d'éthanol ou de méthanol pendant 30 sec, et répéter l'opération 3 fois.
- Etaler les grains sur du papier absorbant et les laisser sécher à l'air libre ou à l'étuve à 50 °C.
- L'échantillon est prêt à être observé à la binoculaire.

Après coloration on peut juger de la bonne qualité du blanchiment, les grains roses sont dépourvus de leurs sons et dit *blanchis.* Les grains qui apparaissent avec du vert sont des grains avec des sons adhérents toujours présents (décortiqués ou préblanchis).

L'établissement de photos de référence est envisagé en vue de l'utilisation d'une échelle (comme celle ci-dessous) de constatation du degré d'usinage en fonction des variations de couleur.

Valeur dans l'échelle	***Degré de blanchiment***	***Coloration***
1	Bien Blanchi	Rose
2	Assez bien blanchi	Rose et peu de vert
3	Moyennement blanchi	Mélange rose et vert
4	Mal blanchi	Majorité de vert
5	Décortiqué non blanchi	Vert

5.4. Taux de brisures

Principe **:** Cette détermination est effectuée par tamisage manuel ou mécanique en utilisant le tamis de 500 µm.

Mode opératoire :
- Nettoyer le tamis et fond réceptacle puis tarer-les
- Prélever un échantillon représentatif de 30 g de grains usinés et verser dans le tamis de 500 µm superposé sur le réceptacle
- Tamiser l'échantillon, manuellement ou à l'aide d'un tamiseur mécanique, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de transfert de grains du tamis vers le réceptacle
- Peser la fraction retenue par le tamis ou le passant collecté dans le réceptacle
- Calculer le taux de brisures comme étant le poids du passant au tamis de 500 µm rapporté à 100 g de poids initial.

5.5. Analyses chimiques

Il s'agit d'apprécier de façon plus précise la qualité technologique et la qualité nutritionnelle des grains de fonio usinés.

5.5.1. Teneur en cendres

Objectif *:* Le taux de matières minérales ou cendres est concentré dans la périphérie du grain de fonio comme pour toutes les céréales. La détermination de la teneur en cendres du grain permet d'apprécier le degré de décorticage en comparant les teneurs en cendres de l'échantillon avant et après l'opération.

Mode opératoire : La matière minérale est déterminée à partir de 5 g d'échantillon broyé (ou 2.5 g en raison des dimensions du creuset), par pesée différentielle après calcination à 900°C pendant 2 h (ou à 600°C pendant 8 à 12 h) et exprimée en pourcentage rapporté à la matière sèche.

5.5.2. Teneur en lipides

Objectif : Cette détermination est utile pour connaître le niveau initial de lipides dans le grain et après usinage, c'est à dire pour juger du degré de dégermage du grain. En effet les lipides contenus dans les produits entraînent un lent rancissement lors de la conservation. Ils sont généralement éliminés en grande partie par un décorticage traditionnel.

Principe : Il est basé sur l'extraction gravimétrique des lipides par un solvant (en général hexane ou éther diéthylique), puis quantification de la matière grasse après séparation du solvant.

Matériel :
- Broyeur (UDY Cyclone)
- Extracteur Soxhlet et cartouches d'extraction 22 x 80 mn
- Réfrigérant à billes
- Ballon iodé de 250 ml (2)
- Rotavapor
- Etuve
- Balance analytique
- Dessiccateur

Réactifs :
. Hexane (point d'ébullition = 69°C) ou éther de pétrole (point d'ébullition = 35 – 60°C).

Mode opératoire :

- Broyer l'échantillon de façon à obtenir une farine qui passe par un tamis de 0,4 mm de maille.
- Sécher les ballons rodés à l'étuve à 103°C pendant 30 mn puis refroidir au dessiccateur et noter leur poids à vide.
- Peser exactement 5 g environ de l'échantillon broyé dans chaque cartouche et boucher là avec du coton dégraissé.
- Placer la cartouche dans l'extracteur Soxhlet.
- Dans chaque ballon, verser 100 ml de solvant puis adapter le ballon à l'extracteur sur la rampe de chauffage.
- Ouvrir le robinet d'alimentation du réfrigérant en eau.
- Ajuster le chauffage jusqu'à ce que le solvant bouille modérément et que le condensateur de solvant tombe du réfrigérant à environ 16 – 20 gouttes/minute.
- Après quatre heures d'extraction (on peut aller jusqu'à 18 – 24 heures selon le produit) arrêter le chauffage et laisser refroidir l'unité.
- Enlever chaque ballon de l'extracteur puis évaporer le solvant à l'évaporateur rotatif
- Compléter l'évaporation en plaçant le ballon dans l'étuve à environ 103°C pendant 30 mn.
- Refroidir le ballon au dessiccateur puis noter leurs poids respectifs.
- Remettre chaque ballon dans l'étuve pendant 10 – 15 mn et peser de nouveau après refroidissement. La différence entre deux pesées successives doit être inférieure à 10 mg. Retenir la dernière pesée pour les calculs
- Exprimer le résultat par rapport à la matière sèche.

$$\% \text{ lipides} = \frac{P_1 - P_0}{P} \times 100 \times \frac{100}{100-H}$$

P = Prise d'essai en grammes
P_1 = Poids du ballon + lipides
P_0 = Poids du ballon vide
H = humidité

5.5.3. Teneur en protéines

Objectif : La détermination de la teneur en protéines du grain est utile pour la connaissance de sa valeur nutritionnelle. Il s'agit de savoir si l'usure du grain par friction ou abrasion n'est pas trop poussée.

Principe : Cette détermination se fait par la méthode de Kjeldahl qui mesure l'azote protéique. Elle consiste à minéraliser l'azote organique de l'échantillon par digestion à l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. Le sulfate d'ammonium ainsi formé, libère de l'ammoniac en présence d'alcali. L'ammoniac est collecté dans un volume d'acide borique et dosé par titration avec une solution standard d'acide sulfurique.

Matériel :

- Broyeur permettant d'obtenir une farine passant par un tamis de 0,4 mm de maille
- Rampe de digestion
- Hotte
- Unité de distillation Kjeldahl
- Agitateur magnétique et barreaux
- Balance analytique à 10^{-4} g près
- Burette de 25 ml
- Fiole de 500 ml (2)
- Fiole de 100 ml (6)
- Fiole de Kjeldahl (3)
- Erlenmeyer de 250 ml (6)
- Eprouvette graduée 10 ml
- Eprouvette graduée 50 ml
- Pipettes de10 et de 1 ml
- Pipettes de 25 ml
- Spatule
- Pierres ponces (3)

Réactifs :

- Acide sulfurique p.a
- Sulfate du cuivre p.a
- Acide borique p.a
- Vert de bromocrésol, méthyle rouge, et rouge de méthylène
- Hydroxyde de sodium p.a
- Carbonate de sodium p.a
- Ethanol.

Préparation des réactifs :

a) Solution à 10 % de sulfate de cuivre : dissoudre 10 g de sulfate de cuivre dans 60 ml d'eau distillée dans une fiole de 100 ml, puis porter le volume au trait de jauge avec de l'eau distillée.
b) Solution à 2 % d'acide borique : dissoudre 2 g d'acide borique dans environ 60 ml d'eau distillée dans une fiole de 100 ml puis compléter avec de l'eau distillée à 100 ml.
c) Solution à 0,1 % de vert de bromocrésol dans l'éthanol : dissoudre 0,1 g de vert de bromocrésol dans un volume d'alcool contenu dans une fiole jaugée de 100 ml puis compléter au volume avec de l'alcool.
d) Solution de méthyle rouge à 0,1 % dans l'éthanol : dissoudre 0,1 g de méthyle rouge dans environ 60 ml d'éthanol contenu dans une fiole de 100 ml puis compléter au trait de jauge avec l'éthanol.
e) Mélange du vert de bromocrésol/méthyle rouge : pipeter 25 ml de la solution de méthyle rouge, mettre dans une fiole de 100 ml et compléter ce volume avec la solution de vert de bromocrésol.
f) Solution de NaOH à 50 % : dissoudre 50 g de NaOH dans 60 ml d'eau distillée contenue dans une fiole de 100 ml puis compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée.
g) Solution d'H_2SO_4, 1N : verser environ 300 ml d'eau distillée dans une fiole de 500 ml puis ajouter 13.9 ml d'H_2SO_4 concentré, compléter le volume à 500 ml avec de l'eau distillée.
h) Solution d'H_2SO_4, 0,05 N : pipeter 25 ml de la solution 1 N d'H_2SO_4 et les verser dans une fiole jaugée de 500 ml compléter à 500 ml avec l'eau distillée.

Standardiser la solution 0,05 N d'H_2SO_4 comme suit : peser exactement 0,06 g de carbonate de sodium dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 50 ml d'eau distillée et quelques gouttes de méthyle rouge. Chauffer la fiole de façon à extraire tout gaz carbonique pouvant interférer avec l'indicateur. Titrer la solution d'H_2SO_4 avec l'alcali jusqu'au virage à la coloration rose. Calculer alors la molarité (M) de la solution comme suit :

$$M : \frac{\text{Poids de carbonate de sodium (g) / 105.988 x 100}}{\text{Volume versé de NaOH}}$$

Multiplier cette molarité par 2 pour obtenir la normalité exacte de la solution standard d'H_2SO_4.

Mode Opératoire :

1. *Digestion :*

- Introduire exactement 0.5 g de farine dans une fiole Kjeldhal de 50 ml. Faire cela en double.
- Ajouter 1 g de sulfate de potassium, 1 ml de la solution à 10 % de sulfate de cuivre et 3 pierres ponces. Agiter puis ajouter 10 ml d'H_2SO_4 concentré et mélanger.
- Préparer un blanc dans les mêmes conditions mais sans échantillon.
- Sous hotte, chauffer les fioles (inclinées) sur la rampe de digestion, maintenir un chauffage léger jusqu'en début d'ébullition puis augmenter lentement le chauffage jusqu'au maximum. Pivoter de façon intermittente les fioles en vue d'éviter les dépôts de matière carbonisée sur leurs parois.
- Lorsque le dégagement de fumée cesse et que le mélange bouillant devient clair, poursuivre la digestion pendant environ 30 minutes.
- Arrêter le chauffage puis refroidir les fioles.
- Lorsque le fond des fioles est suffisamment refroidi pour être tenu à la main, ajouter lentement 10 ml d'eau distillée. Mélanger immédiatement pour éviter la cristallisation du sulfate de potassium.

A ce stade les fioles peuvent être scellées puis gardées sous réfrigération pendant une nuitée ou quelques jours.

2. *Distillation :*

- Allumer le bec Bunsen sous l'unité de distillation et ouvrir la vanne du condenseur. Laisser tourner quelques minutes en vue de réchauffer l'appareil et chasser l'éventuel résidu d'ammoniac.
- Placer sous le condenseur, un erlenmeyer de 250 ml contenant 10 ml de la solution à 2 % d'acide borique + 2 gouttes du mélange vert de bromocrésol/méthyle rouge. S'assurer que le bout du condenseur est en dessous de la surface de la solution d'acide borique.
- Verser doucement l'échantillon dans l'unité puis ajouter lentement environ 3 ml de la solution à 50 % NaOH (environ 3 ml d'alcali pour chaque ml d'H_2S0_4 concentré utilisé lors de la digestion). Lorsque l'échantillon vire au gris, la quantité d'alcali ajoutée est alors suffisante. Rincer à l'eau distillée et fermer le robinet d'arrêt.
- Distiller pendant 7,5 minutes. A la fin de la distillation abaisser la fiole réceptrice de sorte qu'il n'y ait pas d'ammoniac résiduel au bout de l'unité de condensation. Rincer aussi ce bout à l'eau distillée. Rincer ensuite la chambre de distillation à l'eau distillée.
- Répéter cette distillation pour le second échantillon et le blanc. A ce stade les fioles peuvent être fermées et gardées pendant une nuitée.

3. *Titration :*

- Remplir la burette avec la solution standard 0,05 N H_2SO_4
- Placer un barreau aimanté dans chaque fiole et poser celle-ci sur l'agitateur magnétique.
- Titrer jusqu'au virage de la solution du bleu-verdâtre au rose.
- Noter le volume d'H_2SO_4 à 0.05 N versé

Le pourcentage de protéines de l'échantillon (% P) est calculé comme suit :

$$\% P = \frac{(a) * (b) \times (14)\ (6{,}25) \times (100)}{c}$$

Où a = normalité de l'acide = 0,05 N
b = volume d'acide versé (versé pour l'échantillon – versé pour le blanc) [ml]
c = prix d'essai [ml]

N.B. : La teneur en protéines peut être effectuée à l'aide d'un appareil automatisé Kjeltec de TECATOR ou Vapodest. Dans ce cas, la minéralisation d'une prise d'essai de 1 g est effectuée à 4OO°C en présence de 12 ml d'acide sulfurique concentré et d'une pastille Kjeltab, jusqu'à décoloration complète de l'échantillon. L'échantillon minéralisé est refroidi puis distillé en présence de soude concentrée et titré automatiquement avec de l'acide sulfurique dilué (1 N).

6. Qualité culinaire du fonio blanchi

Certains prétraitements (précuisson, séchage, étuvage) peuvent influencer les caractéristiques culinaires du fonio, notamment la capacité d'absorption d'eau, le temps de cuisson dans l'eau ou à la vapeur.

6.1. Capacité d'absorption d'eau du fonio cuit

Objectif : Connaître le comportement à la cuisson du fonio blanchi et notamment son pouvoir de gonflement en cours de cuisson.

Protocole :
- Tamiser l'échantillon de fonio au tamis de 0,6 mm d'ouverture de maille afin d'éliminer les brisures qui s'y trouvent
- Peser 10,0 g et mesurer éventuellement le volume à l'aide d'une éprouvette graduée
- Porter de l'eau distillée à 45°C et en verser 100 ml sur la prise d'essai
- Laisser reposer le mélange dans une enceinte calorifugée pendant 1 heure
- Egoutter le fonio ainsi obtenu pendant 5 min sur un tamis de 0,3 à 0,5 mm
- Essuyer le produit égoutté, peser-le et mesurer éventuellement le volume à l'éprouvette.

Le pourcentage d'eau absorbée (Pe) équivaut au gain en poids rapporté à 100 g de masse initiale :

$$Pe = [(Pf - Pi) / Pi] \times 100$$

Pi = prise d'essai
Pf = Poids final

Faire au moins deux déterminations et prendre la moyenne.

6.2. Temps de cuisson dans l'eau bouillante

Objectif : Il s'agit de déterminer la durée de cuisson nécessaire pour une gélatinisation totale de l'amidon du grain de fonio blanchi.

Protocole : Le protocole appliqué pour le temps de cuisson dans l'eau du fonio est similaire à ceux couramment utilisés pour le riz :

- Peser une prise d'essai de 5,0 g d'échantillon
- Dans un bécher, porter 150 ml d'eau distillée à ébullition
- Verser la prise d'essai dans l'eau bouillante et déclencher le chronomètre
- Prélever de temps en temps environ 10 grains et écraser les entre deux plaques de verre jusqu'à ce que 9/10 grains ne présentent plus de cœur opaque blanchâtre ;
- Noter alors le temps de cuisson correspondant.

Faire au moins deux déterminations et prendre la moyenne.

La cuisson à la vapeur du fonio a été ici évaluée dans le but de cerner l'effet de la précuisson sur la quantité d'eau et le nombre de passages à la vapeur nécessaires à la cuisson finale. La méthodologie a consisté à cuire dans les mêmes conditions, 1 kg de fonio précuit et 1 kg de fonio lavé séché. La quantité d'eau ajoutée et le temps de chaque cycle de passage à la vapeur ont été ensuite notés.

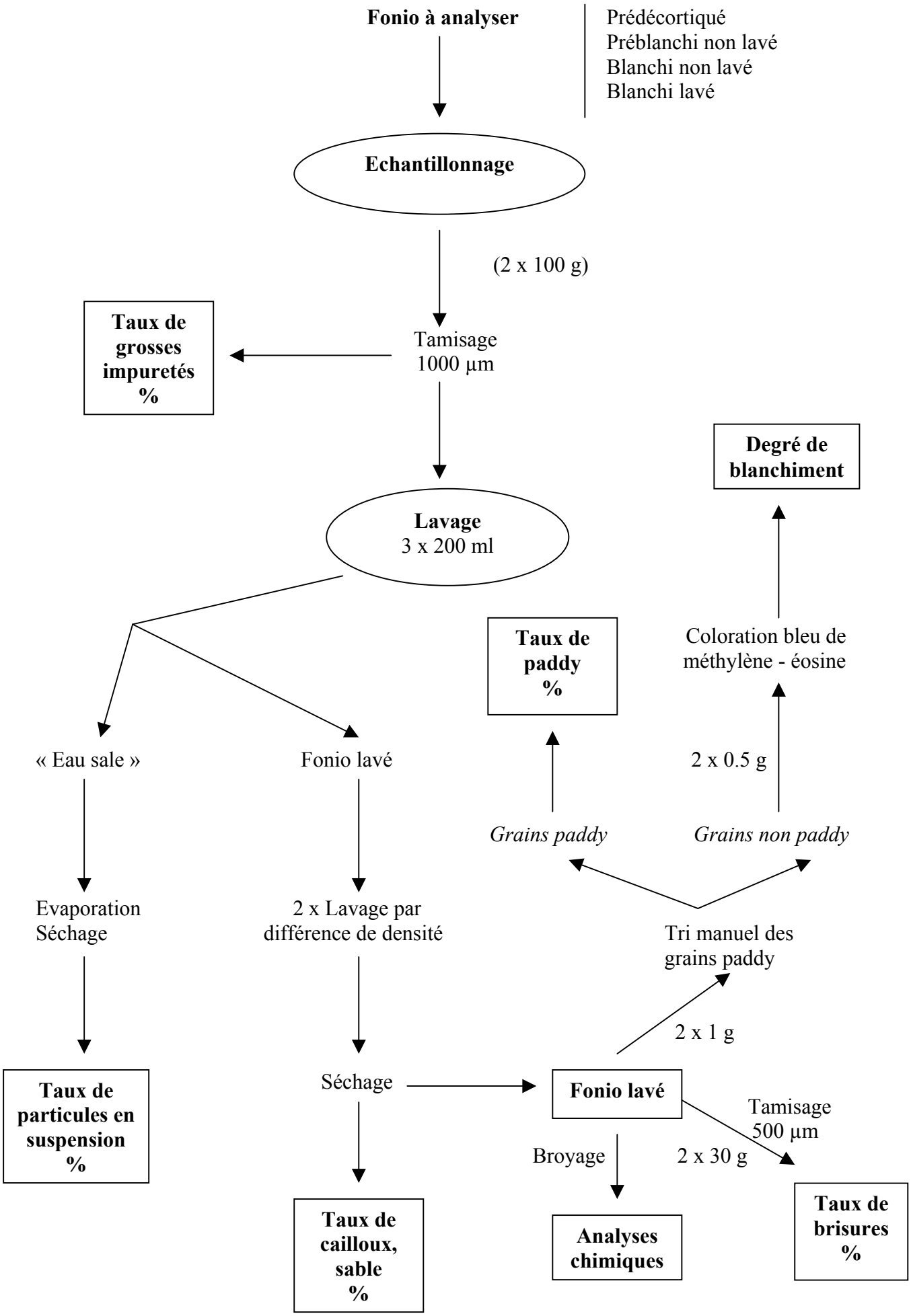
ANNEXES

Annexe 1 : Diagramme des analyses

Annexe 2 : Représentation schématique de l'échantillonnage par la méthode des quartiles.

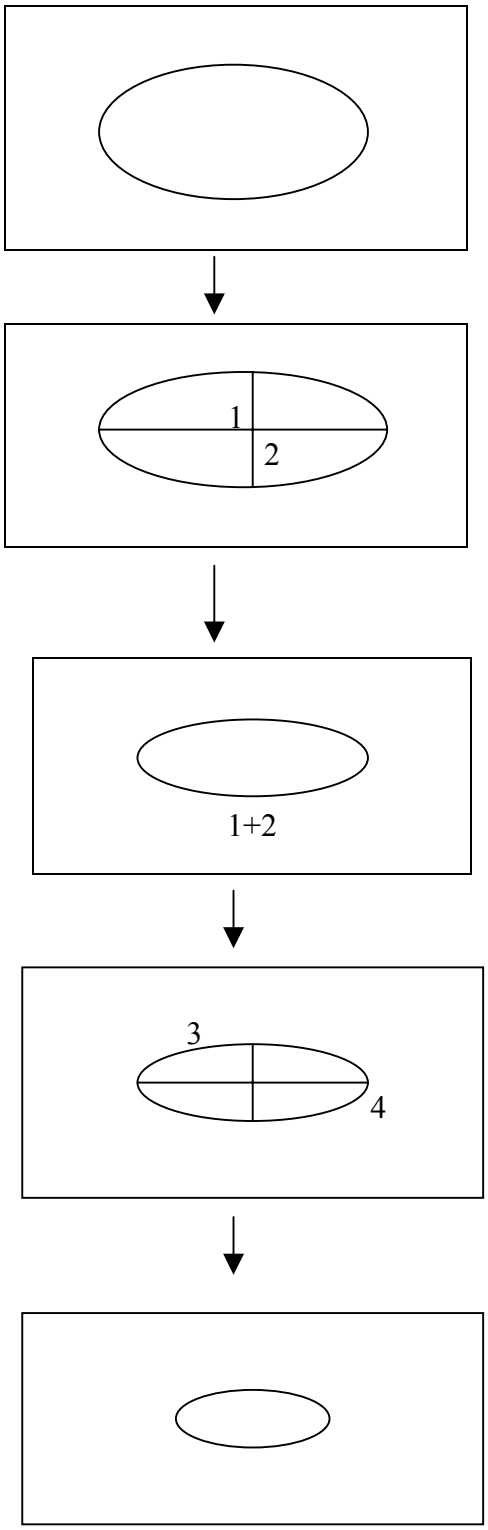
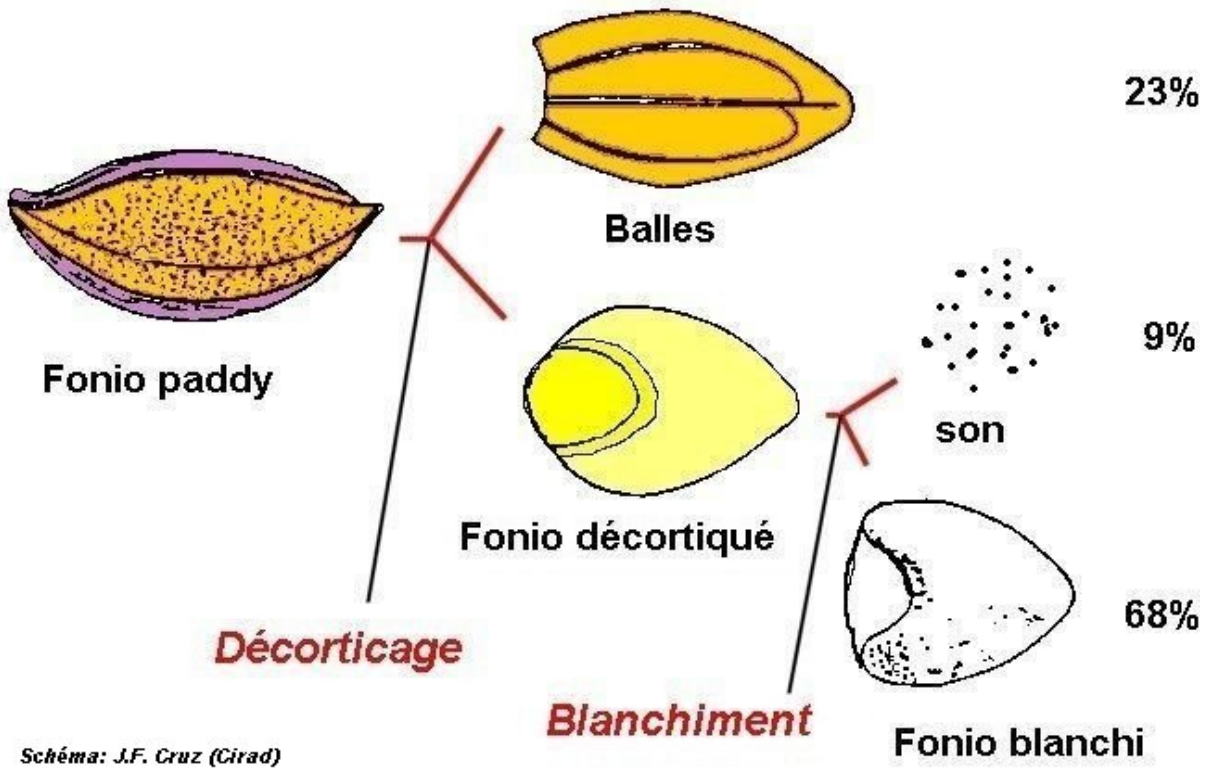
Annexe 3 : Diagramme de transformation primaire du fonio.

Annexe 1 : Diagramme des analyses



Annexe 2 : Représentation schématique de l'échantillonnage par la méthode des quartiles.

Cette méthode consiste à partager un gros échantillon de fonio étalé sur une feuille à l'aide d'une règle par exemple, en 4 parties. Deux des tas opposés diagonalement sont mélangés à nouveau et ce nouvel ensemble sera partagé de la même manière que précédemment. Et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on obtienne un sous-échantillon de quantité voulue.



Annexe 3 : Diagramme de transformation primaire du fonio.