



**Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W)**

**Unité: Qualité des Produits**

**APPLICATION DE LA SPECTROSCOPIE VIBRATIONNELLE À  
L'ANALYSE  
DES FÈVES DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*)**

**ANDERSON CHERY**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME DE MASTER COMPLEMENTAIRE EN SCIENCES ET  
TECHNOLOGIE DES ALIMENTS**

**ANNEE ACADEMIQUE 2013-2014**

**CO-PROMOTEURS: Vincent Baeten Et Yvan Larondelle**



**Le présent document n'engage que son auteur**

**Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de son auteur et de l'autorité académique**



**Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W)**

**Unité: Food and Feed Quality**

**APPLICATION DE LA SPECTROSCOPIE VIBRATIONNELLE À  
L'ANALYSE  
DES FÈVES DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*)**

**ANDERSON CHERY**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME DE MASTER COMPLEMENTAIRE EN SCIENCES ET  
TECHNOLOGIE DES ALIMENTS**

**ANNEE ACADEMIQUE 2013-2014**

**CO-PROMOTEURS: Vincent Baeten Et Yvan Larondelle**

# Remerciements

---

Je veux remercier toutes les personnes et institutions qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à mon étude et plus précisément à ce travail de recherche. En ce sens je pense principalement à :

- l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) qui a m'a permis de suivre le programme de ce master complémentaire en Sciences et Technologie des Aliments;
- le Docteur Vincent Baeten, le Promoteur de ce travail, pour son encadrement technique et ses conseils judicieux ;
- le Docteur Juan Antonio Fernández Pierna pour ses conseils et sa lecture objective des résultats de cette recherche ;
- les Professeurs Yvan Larondelle et Béra François, les responsables de ce programme de Master Complémentaire ;
- le corps enseignant du master complémentaire en Sciences et Technologie des Aliments ;
- l'Université Fédérale du Para (UFPA) et le professeur Hervé Rogez qui ont fourni les échantillons de cacao provenant du Brésil pour effectuer ce travail de recherche ;
- toute l'équipe du Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W), département *Valorisation of Agricultural Products*, unité *Food and Feed Quality*, plus particulièrement je remercie Pierre Dardenne, chef du Département ; Vincent Baeten chef de l'unité ; Nicaise Kayoka Mukendi, le technicien affecté à la caméra infrarouge ; Philippe Vermeulen ; Damien Vincke ; Sandrine Mauro, Quentin Arnould ; Stéphane Brichard.

Je remercie de façon spéciale Jéhovah qui m'a soutenu moralement durant cette année d'étude.

# Résumé

---

Pouvoir discriminer des fèves de cacao dans leur forme la plus brute par une méthode rapide et robuste révèle d'un intérêt particulier dans la recherche agronomique. Les traitements post-récolte appliqués sur le cacao assurent l'expression de son potentiel aromatique. Cette expression dépend, entre autres, des paramètres géographiques. Ces traitements en question sont assurés par le producteur jusqu'au stockage des fèves.

L'imagerie hyperspectrale proche infrarouge est une technique spectroscopique assez nouvelle dans les applications agronomiques. Elle a l'avantage d'être robuste, rapide et permet surtout d'analyser les produits sans grandes opérations préparatoires tout en fournissant l'information spatiale de l'échantillon à côté de l'information spectrale.

Dans cette étude, cette technique a été utilisée pour étudier la possibilité de discriminer 147 échantillons de fèves de cacao entières, selon des paramètres géographiques (localité de production) ainsi que de qualité (durée de fermentation). Les échantillons proviennent de trois localités de la région bas-amazonien du Brésil et ont subis différents traitements post-récolte. Les images hyperspectrales ont été obtenues à l'aide d'une caméra hyperspectrale infrarouge de configuration line scan. Avec cet instrument, 320 pixels ou spectres sont acquis par ligne, chacun des pixels étant acquis à 209 longueurs d'onde, entre 1100 et 2400 nm. Des méthodes de traitement des images ainsi que des méthodes chimiométriques ont été appliquées pour pouvoir extraire le maximum d'information des données obtenues. La méthode chimiométrique de l'analyse en composantes principales (PCA) a permis, sur des fèves de cacao entières, de discriminer les échantillons en fonction de leurs origines géographiques, de différents traitements post-récolte et du nombre de jour de fermentation.

## Mots clés

Cacao, spectroscopie infrarouge, imagerie hyperspectrale, Analyse en Composantes Principales, fermentation, localité, producteur, épaisseur de couche, séchage à l'ombre, séchage au soleil.

## CONTENU

CONTENU.....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS OU SIGLES.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
1. INTRODUCTION.....	1
1.2. Justification de l'étude.....	1
1.3. Objectif de l'étude.....	2
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	3
2.1. Echantillon.....	3
2.2. Méthode Analytique.....	5
2.2.1. Equipement utilisé.....	5
2.2.2. Optimisation des paramètres d'acquisition.....	5
2.2.3. Prises des Images hyperspectrales NIR.....	6
2.2.4. Traitement des données.....	6
3. RESULTATS ET DISCUSSION.....	7
3.1. Analyse des échantillons selon le paramètre année de prélèvement.....	7
3.1.1. Analyse de tous les échantillons.....	7
3.1.2. Analyse des échantillons qui ont subi un séchage.....	7
3.1.3. Analyse des échantillons qui ont subi un séchage ayant un aspect extérieur sec.....	8
3.1.4. Analyse des échantillons ayant subi les mêmes traitements.....	10
3.1.5. Analyse des échantillons par leurs spectres moyens selon l'année.....	10
3.1.6. Conclusion sur le paramètre année de prélèvement.....	11
3.2. Analyse des échantillons selon le paramètre localité.....	11
3.2.1. Analyse des échantillons des trois localités identifiées et localité PS.....	11
3.2.2. Analyse des échantillons ayant un aspect sec.....	13
3.2.3. Conclusion sur le paramètre localité.....	13
3.3. Analyse des échantillons selon le paramètre producteur.....	14
3.3.1. Analyse des échantillons dans la localité de Medicilandia.....	14
3.3.2. Analyse des échantillons dans la localité Placas.....	14
3.3.3. Analyse des échantillons dans la localité Tomé Açu.....	15
3.3.4. Analyse des échantillons qui ont subi le même traitement.....	16
3.3.5. Conclusion sur le paramètre producteur.....	16
3.4. Analyse des échantillons selon le paramètre épaisseur de couche.....	16
3.4.1. Analyse de tous échantillons.....	17
3.4.2. Analyse des échantillons à l'intérieur de différentes épaisseurs de couche.....	17
3.4.3. Analyse des échantillons ayant subis le même traitement.....	18

3.4.4.	Conclusion sur analyse du paramètre épaisseur de couche .....	19
3.5.	Analyse des échantillons selon les paramètres fermentation et séchage .....	19
3.5.1.	Analyse de tous les échantillons .....	19
3.5.2.	Conclusion sur les paramètres fermentation et séchage .....	20
3.6.	Analyse des échantillons selon le paramètre durée de fermentation .....	20
3.6.1.	Analyse des tous les échantilloons dont la durée de fermentation est connue .....	21
3.6.2.	Analyse des échantillons de Tomé Açu et de la localité PS- couche 60 et 50 cm.....	21
3.6.3.	Conclusion sur le paramètre durée de fermentation .....	22
4.	CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES .....	23
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	25
	ANNEXES .....	29

## **LISTE DES ABREVIATIONS OU SIGLES**

mm	mini mètre
nm	nanomètre
NIR	Near Infrared
PCA	Analyse en Composantes Principales
PS	Pas Spécifié
RGB	Red Green Blue
s	seconde
SNV	Standard Normal Variate
UFPA	Université Fédérale Para
USD	dollars américain

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Différents aspects extérieurs des échantillons analysés .....	3
Figure 2. Dispositif expérimental .....	4
Figure 3. Dispositif pour la prise des images hyperspectrales .....	5
Figure 4 - a) Spectres d'échantillons se trouvant à l'extrême gauche du graphique central; b) Résultat de la PCA appliquée à la distribution des échantillons selon l'année; c) Spectres d'échantillons se trouvant à l'extrême droite du graphique central. ....	7
Figure 5. a) Spectres d'échantillons séchés se trouvant à l'extrême gauche du graphique central; b) Résultat de la PCA appliquée à la distribution des échantillons séchés selon l'année ; c) Spectres d'échantillons séchés se trouvant à l'extrême droite du graphique central .....	8
Figure 6. Répartition selon l'année des échantillons séchés et qui ont avec aspect extérieur sec .....	9
Figure 7. Résultat des PCA appliquées aux échantillons ayant un aspect extérieur sec : a) distribution selon l'année ; b) distribution selon les traitements post-récolte.....	9
Figure 8. Résultats des PCA appliquées aux échantillons fermentés et séchés au soleil ; a) distribution selon l'année ; b) distribution selon échantillon.....	10
Figure 9. Comparaison des spectres bruts et prétraités à différentes étapes de la PCA .....	11
Figure 10.a) Résultats des PCA appliquées aux échantillons :a) distribution selon les 3 localités communiquées ; b) distribution de tous les échantillons selon la localité.....	12
Figure 11. Résultats des PCA appliquées à la distribution des échantillons ayant un aspect sec .....	13
Figure 12. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Medicilandia selon le producteur.....	14
Figure 13. Résultat des PCA appliquées aux échantillons de Placas : a) distribution de tous les producteurs ; b) distribution des 5 producteurs échantillonnés en double .....	14
Figure 14. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Tomé Açú : a) selon le producteur ; b) selon le traitement post-récolte .....	15
Figure 15. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Tomé Açú selon le producteur : a) ceux qui n'ont subi aucun traitement ; b) ceux qui sont fermentés 7 jours sans séchage .....	16
Figure 16. Résultat de la PCA appliquée sur la distribution des échantillons selon l'épaisseur de couche .....	17
Figure 17. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons selon le traitement subi au sein de différentes épaisseurs de couche.....	17
Figure 18. Résultats des PCA appliquées sur la distribution des échantillons ayant subi le même traitement selon l'épaisseur de couche .....	18
Figure 19. Résultats des PCA appliquées à la distribution des échantillons selon le traitement post-récolte .....	19
Figure 20. Résultats de la PCA appliquée sur la distribution des échantillons selon la durée de fermentation .....	21

Figure 21. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Tomé Açu et ceux de la localité PS :a) selon l'épaisseur de couche ; b) selon la durée de la fermentation ..... 22

Figure 22. Dispositif expérimental proposé pour l'étude de l'effet du paramètre épaisseur de couche. 23

## 1. INTRODUCTION

Le cacao, *Theobroma cacao*, appartient à l'ordre des Malvales ; famille des Sterculiacées ; tribu des Byttneriées et genre *Theobroma* (Lechevalier, 1998). Dans cette espèce, quatre groupes sont les plus répandus. Il s'agit du Criollo, Forastero, Trinitario et du Nacional.

Le Forastero est le plus cultivé parmi tous les groupes. Il en existe différents types. Les plus cultivés et répandus à travers le monde sont les Amelanodo. Ils sont issus du bassin bas-amazonien. Les foyers de culture les plus importants se trouvent au Brésil sous l'appellation du *cacao comun* qui demeure le matériel végétal le plus exploité dans la région de Bahia. Deux autres types de Forastero bas-amazonien sont cultivés au Brésil avec une distribution plus limitée : il s'agit de cacao *para* et *maranhao* (Desprésaux, 1998).

Le cacao, jouit d'une consommation diversifiée qui va au-delà de ses frontières de production et représente un pilier important dans le secteur de l'agro-industrie. Son commerce international représente environ 13 milliards USD par an. Le secteur du chocolat, qui en dépend, est évalué à environ 105 milliards de USD par an (Cyclope, 2013 ; cité par Lebailly, 2014). L'Europe, pour sa part est le continent le plus gros consommateur de fèves de cacao en assurant plus de 40 % des broyages (Lebailly, 2014). Si ce fruit est autant apprécié, c'est avant tout pour son arôme ; même si les récentes découvertes lui confèrent des vertus favorables à la santé en raison de ses composés phénoliques (Collin et al, 2011).

Le potentiel aromatique des fèves dépend de la variété, des méthodes de culture, du sol et du climat. Ces paramètres peuvent être en grande partie résumés à travers l'origine géographique de la production. Ceci dit, ce sont pourtant les traitements post récoltes appliqués aux graines de cacao qui permettent d'obtenir l'expression de ce potentiel aromatique (Cros et al, 1993 ; Cros, 1994 - cité par Llor Solórzano, 2007).

Parce que les opérations post récolte jusqu'au séchage sont généralement assurées par les producteurs de cacao, ces derniers deviennent ainsi un maillon important dans l'obtention des cacaos de bonne qualité.

A la recherche de méthodes robustes et fiables dans l'analyse de la qualité des fèves de cacao, plusieurs études ont été conduites. Il a été déjà prouvé, par les techniques spectroscopiques classiques dans le proche infrarouge, que les fèves peuvent être discriminées en trois groupes : moins de 2 jours, 2 et 3 jours et plus de 3 jours de fermentation ; avec un taux de bien classés de 92 % (Davrieux, 2010). De plus l'identification spectroscopique des fèves de cacao a été possible mais de façon non systématique selon le critère variété (Koua, 2009) et de façon concluante pour le groupe Criollo (Álvarez et al 2012).

### 1.2. Justification de l'étude

Les différentes études déjà réalisées sur les fèves de cacao prouvent qu'il est possible de prédire le niveau de fermentation avec une certaine précision par la Spectroscopie classique dans le proche Infrarouge (Davrieux, 2010). Cependant les fèves ne seraient pas encore discriminées de manière concluante par la Spectroscopie Proche Infrarouge selon l'origine géographique.

A la recherche d'autres techniques rapides pouvant permettre d'analyser la fève de cacao et cela dans la forme la plus brute, l'imagerie hyperspectrale NIR (Proche Infrarouge) présente un potentiel intéressant qu'il convient d'expérimenter. Cette technique pourrait permettre d'analyser de façon rapide et fiable le cacao marchand, et même durant les opérations de traitement post-récolte. D'où l'intérêt de voir si l'imagerie hyperspectrale pourrait permettre de discriminer les fèves de cacao selon des paramètres géographiques et les traitements post-récolte.

### **1.3.Objectif de l'étude**

Il s'agit d'analyser des fèves entières provenant du bassin amazonien du Brésil pour étudier la possibilité de les discriminer selon leur provenance géographique et de leur durée de fermentation. Dans cette étude, seront analysés d'autres paramètres qui sont liés à l'étude de la durée de fermentation. Il s'agit de :

- année de prélèvement ;
- épaisseur de couche lors de la fermentation ;
- le séchage à l'ombre et celui réalisé au soleil.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

### 2.1. Echantillon

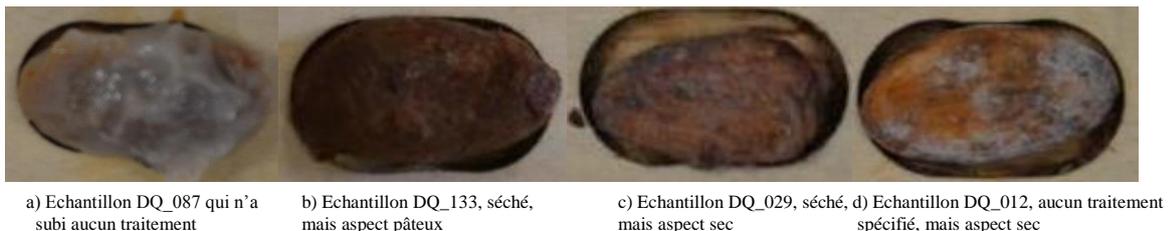
Ce travail de recherche est effectué sur 147 échantillons de fèves de cacao venant de l'Université Fédérale Para du Brésil (UFPA). Ils ont été reçus dans 147 pots en plastique sur lesquels les informations correspondant à chaque échantillon ont été inscrites. Ils ont été conservés dans un congélateur à -20 °C. Chaque échantillon contient entre 11 à 20 fèves. Au total 2083 fèves ont été reçues. Les informations obtenues sur les échantillons concernent :

- l'année de prélèvement ;
- la localité de provenance ;
- le producteur ;
- l'épaisseur de la couche lors de la fermentation ;
- le type de séchage après fermentation ;
- le type de séchage sans fermentation au préalable ;
- la durée de fermentation allant de 0 à 7 jours.

Un code interne a été attribué à chaque échantillon (DQ\_x, avec x allant de 001 à 147) et les différents paramètres ont été encodés dans une matrice (Annexe 1). La localité et le producteur n'ont pas été communiqués pour tous les échantillons.

Aucun traitement post récolte n'a été signalé pour 50 échantillons. Mais 48 d'entre eux ont un aspect extérieur sec (Figure 1.d), preuve qu'ils ont subi au moins un séchage. L'information sur l'épaisseur de couche a été transmise seulement pour 47 échantillons. La durée de fermentation a été donnée pour 72 échantillons.

Les échantillons signalés comme séchés, ne l'ont pas été à un même niveau, c'est ce qui ressort de l'observation de leurs aspects extérieurs respectifs. Certains présentent un aspect extérieur sec (figure 1.c) ; mais d'autres, un aspect pâteux (Figure 1.b). Les échantillons non fermentés et non séchés ont normalement un aspect mucilagineux (figure 1.a)



**Figure 1. Différents aspects extérieurs des échantillons analysés**

Les échantillons ont été organisés de façon hiérarchisée comme indiqué dans la Figure 2. L'organisation suit l'ordre suivant : année de prélèvement → localités → producteurs → épaisseur de couche → fermentation/séchage → durée de fermentation.

Dans Ce dispositif expérimental, PS (Pas Spécifié), indique que l'information n'a pas été communiquée. Après chaque paramètre, le nombre d'échantillon correspondant est donné. Dans le symbole « P.<sub>xy</sub> », P signifie Producteur et xy désigne le numéro qui lui a été attribué.

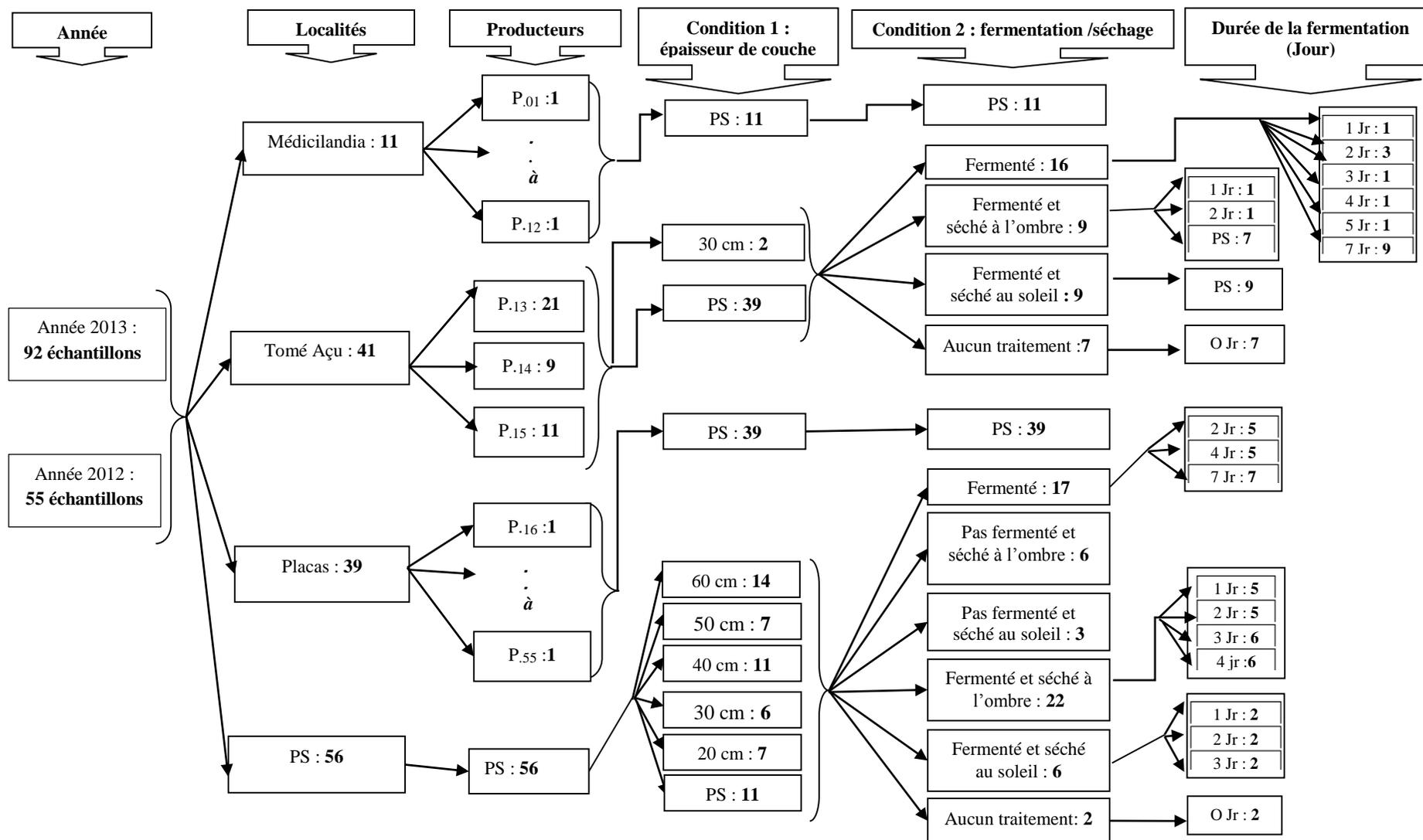


Figure 2. Dispositif expérimental

## 2.2.Méthode Analytique

### 2.2.1. Equipement utilisé

Les images hyperspectrales des échantillons ont été acquises par une caméra hyperspectrale infrarouge de configuration line scan (Instrument SWIR Inspector N25E Hyperspectral Imaging System (BurgerMetrics)). Sa résolution par ligne est de 320 pixels. Chaque pixel est acquis à 209 longueurs d'onde ; entre 1100 - 2400 nm. Les images RGB (Red, Green, Blue) des échantillons ont été prises par une caméra de marque Nikon. Ces images RGB ont permis de lier l'image hyperspectrale de chaque fève à celle prise dans le visible. Ce lien a facilité l'interprétation des résultats.



a) Caméra hyperspectrale NIR utilisée pour scanner les fèves



b) Support pour présenter les échantillons sous la caméra

**Figure 3. Dispositif pour la prise des images hyperspectrales**

La caméra hyperspectrale NIR, avant les prises de mesures, a été calibrée. Les échantillons ont été placés dans des logettes d'un support en bois qui en diminue la mobilité et qui facilite la prise des images dans des deux faces. Ce support a été placé sur une bande convoyeuse (BurgerMetrics) qui sert à déplacer l'échantillon à la vitesse choisie.

### 2.2.2. Optimisation des paramètres d'acquisition

Afin de fixer les paramètres de mesures de la caméra hyperspectrale NIR et décider de la représentation des échantillons, un travail d'optimisation a été effectué sur les fèves de l'échantillon DQ\_130. Pour les prises des images hyperspectrales, ce travail a permis de fixer la vitesse de la bande convoyeuse à 1,35 mm/s. Le nombre de lignes/s à scanner a été fixé à 100.

L'une des fèves a été grattée jusqu'à l'apparition du cotylédon, ensuite elle a été tranchée. Des images hyperspectrales ont été prises de cette fève entière, grattée et tranchée. Le logiciel Hyper see, version 1,50 ; avait été utilisé pour extraire d'échantillons de spectres de ces images.

Le résultat de ce travail optimisation a montré que le spectre extrait de fève entière est intermédiaire entre celui extrait du cotylédon et celui d'une section de coque détachée de la fève. L'étude faisant l'objet de ce mémoire, s'est limitée à l'analyse des fèves entières.

### **2.2.3. Prises des Images hyperspectrales NIR**

Les fèves de chaque échantillon ont été soigneusement étalées dans les logettes du support en bois. Les images sont prises selon les deux faces de l'échantillon, face A et face B, et cela avec 2 répétitions. Le logiciel Hyper pro, version 1,71, est utilisé pour piloter la caméra afin d'acquérir les images. Les 2083 fèves de cacao des 147 échantillons ont généré ainsi 8332 images hyperspectrales.

### **2.2.4. Traitement des données**

Le logiciel Matlab 7.5 a été utilisé pour réaliser un traitement approfondi des données. L'image de chaque fève contient en moyenne 2299 spectres dans une seule face (Annexe 4). Le spectre moyen de chaque fève a été ensuite calculé.

La présente étude s'est limitée sur le spectre moyen de 10 fèves de chaque échantillon ; la première répétition de la face A. Donc en tout 1470 spectres sont analysés.

Pour essayer de discriminer les échantillons selon les différents paramètres, leur distribution a été étudiée avec la PCA, qui est une méthode d'analyse descriptive multivariée et non supervisée.

La PCA a permis de transformer les variables d'origine en un certain nombre de nouvelles variables de sorte que le montant maximum d'informations présentes dans les données d'origine reste dans les nouvelles variables. Les variables ont été ainsi représentées dans des axes indépendants qui expliquent mieux leur variabilité.

Les données ont subi différents prétraitements avant la réalisation des PCA. La dérivée première a été utilisée afin de séparer plus clairement les bandes d'absorption et exalter l'information spectrale (hormis la figure 8 qui a subi une dérivée seconde). Certaines données ont subies une SNV (Standard Normalisation Variate) avant d'appliquer la dérivée. Il s'agit des Figures 8 ; 10.b ; 11.b ; 18.c ; 19.a.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Analyse des échantillons selon le paramètre année de prélèvement

##### 3.1.1. Analyse de tous les échantillons

La PCA suivante est réalisée avec les 147 échantillons prélevés en 2 années différents : 2012 et 2013 (Figure 4.b). Des spectres d'échantillons ont été extraits de chaque cote côté de la figure afin mieux comprendre la distribution.

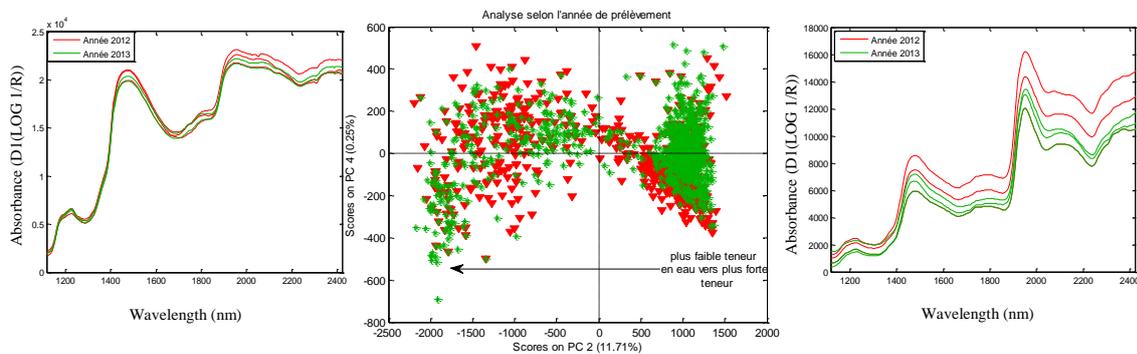


Figure 4 - a) Spectres d'échantillons se trouvant à l'extrême gauche du graphique central; b) Résultat de la PCA appliquée à la distribution des échantillons selon l'année; c) Spectres d'échantillons se trouvant à l'extrême droite du graphique central.

L'observation des échantillons montre qu'ils forment 2 groupes assez distincts selon le PC-2 (Figure 4.b), mais cette séparation ne correspond pas à l'année de prélèvement.

Pour mettre en évidence la cause de cette séparation, des spectres de 5 échantillons ont été prélevés au hasard à l'extrême droite de la graphique. La même action a été reproduite sur le côté gauche (Figure 4.a et c).

Basé sur ces spectres, cette séparation serait due à la forte absorption de l'eau dans l'infrarouge. Les bandes nettement plus prononcées aux longueurs d'onde 1190 et 1450 nm dans le cas des échantillons situés à gauche permettraient d'indiquer que, dans ces échantillons, la forte absorbance de l'eau cache les bandes caractéristiques des constituants du produit.

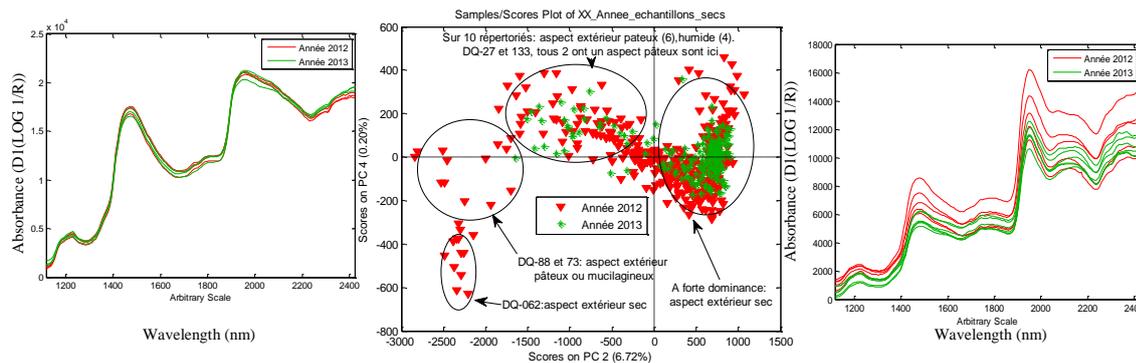
D'ailleurs les 5 échantillons correspondant aux spectres sur le côté gauche de la figure<sup>1</sup> ont un aspect extérieur pâteux ou mucilagineux. Les 5 échantillons pour le côté droit<sup>2</sup> ont un aspect extérieur plutôt sec. Donc ils sont séparés principalement selon leurs teneurs en eau. Afin de voir l'influence éventuelle de l'année, une nouvelle PCA est réalisée seulement avec les échantillons qui ont subi un séchage.

##### 3.1.2. Analyse des échantillons qui ont subi un séchage

La PCA suivante est réalisée avec seulement les échantillons ayant subi un séchage pour chacune des années (séchage à l'ombre ou au soleil). Il est réalisé avec 37 échantillons de l'année 2012 et 18 de l'année 2013.

<sup>1</sup> DQ\_093 ; DQ\_082 ; DQ\_073 ; DQ\_035 et DQ\_0128 (voir Annexe : tableau.4)

<sup>2</sup> DQ\_056, DQ\_068, DQ\_31, DQ\_045, DQ\_0137 (voir Annexe : Tableau 4)



**Figure 5. a) Spectres d'échantillons séchés se trouvant à l'extrême gauche du graphique central; b) Résultat de la PCA appliquée à la distribution des échantillons séchés selon l'année ; c) Spectres d'échantillons séchés se trouvant à l'extrême droite du graphique central**

L'observation des PC-2 et PC-4 a permis de montrer que les échantillons de chaque année suivent à peu près la même distribution. Les échantillons de l'année 2012 ont subi deux traitements post récolte de plus que ceux de l'année 2013. Il s'agit du séchage à l'ombre et séchage au soleil sans qu'il n'y ait fermentation au préalable. Si tous ceux de l'année 2012 ont subi un traitement de fermentation et/ou de séchage, 7 de l'année 2013 n'en ont pas subi. Cela pourrait bien expliquer pourquoi dans certaines zones sont retrouvés seulement des échantillons de l'année 2012.

Mais aussi, cette différence dans la distribution peut résulter de la teneur en eau des échantillons qui ont été séchés (Figure 5.a et c). Beaucoup d'échantillons qui ont subi un séchage ont un aspect extérieur pâteux. C'est une preuve que le niveau de séchage est loin d'être uniforme. Pour trouver la cause de cette distribution, une PCA devrait être réalisée avec seulement les échantillons ayant subi un séchage et qui ont un aspect extérieur sec.

### 3.1.3. Analyse des échantillons qui ont subi un séchage ayant un aspect extérieur sec

L'aspect extérieur des échantillons a été observé lors de la prise des images hyperspectrale et noté soit sec, humide, mucilagineux ou pâteux (Figure 1).

L'aspect extérieur mucilagineux indique que le mucilage était encore sur les fèves de cacao lors de la prise de l'image. Il est de couleur blanc allant jusqu'au gris pâle. Avec la fermentation, le mucilage se dégrade au fur et à mesure et devient pâteux avec une teinte chocolatée. Avec le séchage, il disparaît pour constituer une partie de la coque des fèves. Donc l'aspect extérieur est aussi un indicateur de la teneur en eau des échantillons. Quand une fève est signalée avoir subi un séchage mais présente un aspect extérieur pâteux/mucilagineux, c'est un signe qu'elle a été très peu séchée.

La figure suivante résume les informations sur l'aspect extérieur des échantillons qui ont subi un séchage. Après chaque paramètre, le nombre d'échantillons correspondant est donné.

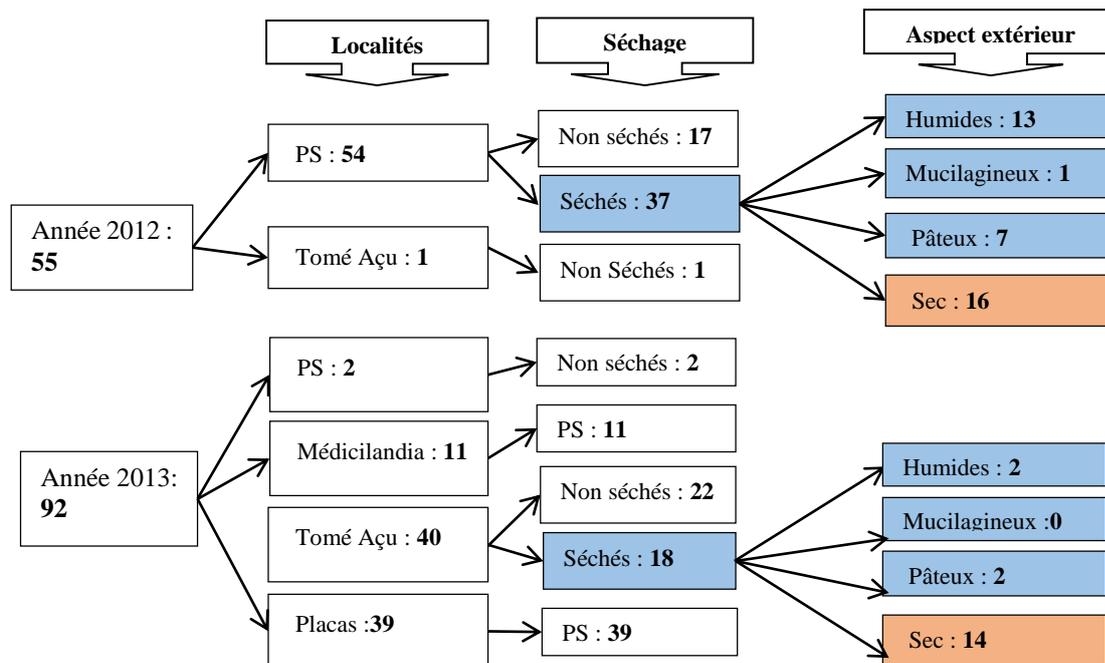


Figure 6. Répartition selon l'année des échantillons séchés et qui ont avec aspect extérieur sec

La PCA suivante est réalisée avec les 16 échantillons de l'année 2012 et 14 pour 2013 pour voir s'il existe des différences significatives entre les échantillons selon l'année (Figure 7.a). Du même coup, pour mieux juger la distribution, une seconde PCA est réalisée selon les traitements post récoltes de ces mêmes échantillons (Figure 7.b).

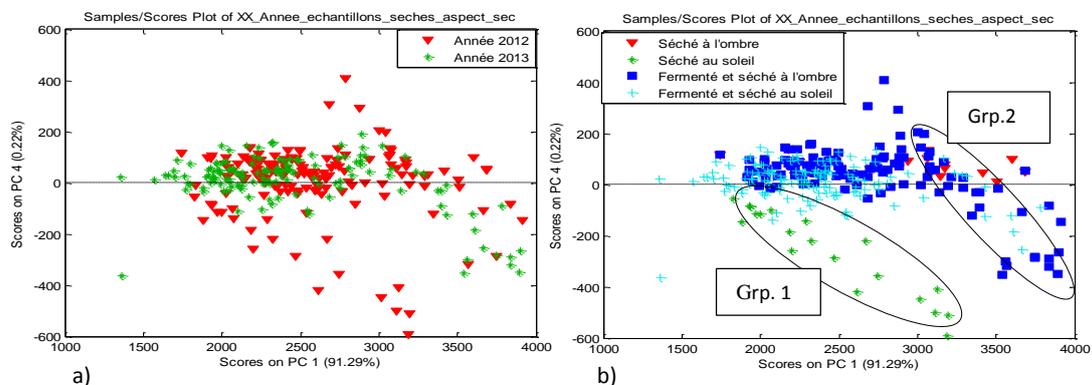


Figure 7. Résultat des PCA appliquées aux échantillons ayant un aspect extérieur sec : a) distribution selon l'année ; b) distribution selon les traitements post-récolte

L'observation de la distribution des échantillons selon les traitements post-récolte de la Figure 7.b a permis de montrer que celle observée dans la Figure 7.a est due, non à cause de l'année, mais à cause des traitements post-récolte. Dans la Figure 7.b, les échantillons forment 3 groupes :

- ceux du groupe 1 (Grp.1) ont été séchés au soleil sans qu'il n'y ait fermentation. Ils se détachent des autres ;
- ceux du groupe 2 (Grp.2) ont subi un séchage à l'ombre, qu'ils soient préalablement fermentés ou pas ;

- Au centre sont retrouvés strictement les échantillons qui ont subi une fermentation suivie d'un séchage.

Les échantillons regroupés au centre de la PCA peuvent être utilisés afin de confirmer que l'année de prélèvement n'aurait aucun effet significatif sur la base de la PCA. Parmi les 13 échantillons qui s'y trouvent, 4 proviennent de 2012 et 9 échantillons de 2013. 5 ont subi un séchage à l'ombre après la fermentation et 8 ont subi un séchage au soleil après fermentation. Ainsi des échantillons ayant subi un séchage au soleil après fermentation provenant des deux années peuvent être analysés ensemble.

### 3.1.4. Analyse des échantillons ayant subi les mêmes traitements

Les PCA suivantes sont réalisées avec 7 échantillons qui ont subi un séchage au soleil après fermentation. 3 proviennent de 2012 et le reste de 2013.

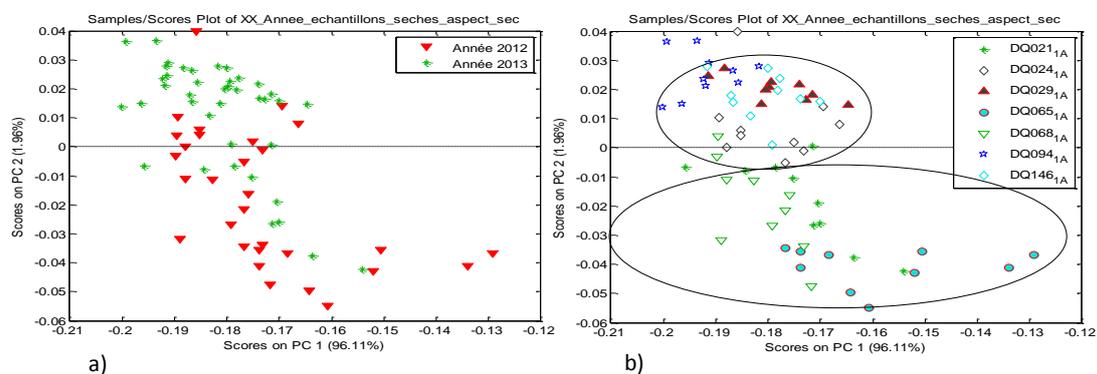


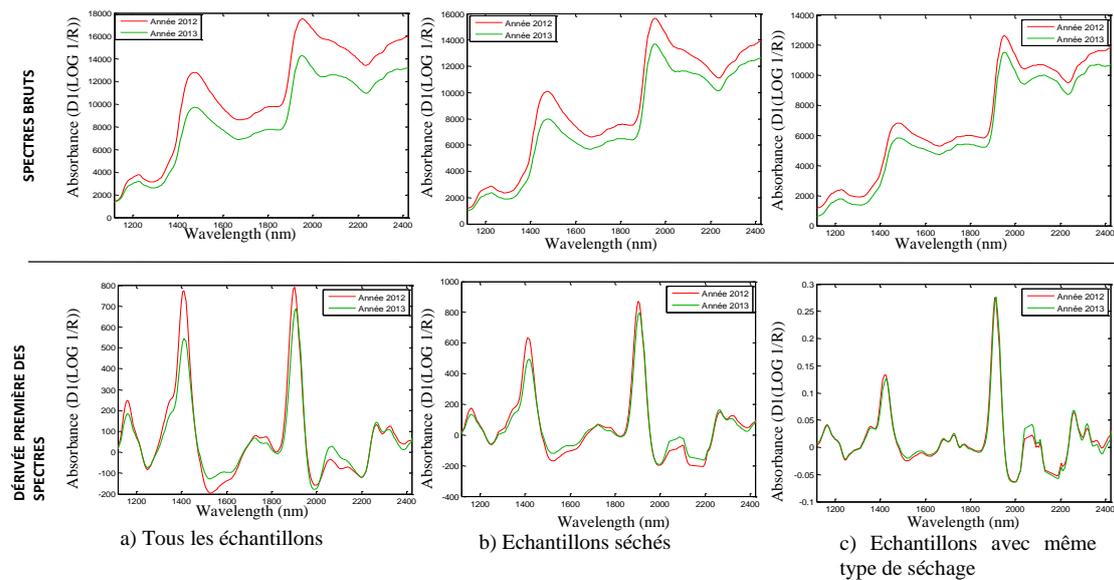
Figure 8. Résultats des PCA appliquées aux échantillons fermentés et séchés au soleil ; a) distribution selon l'année ; b) distribution selon échantillon

L'observation des PC-1 et PC-2 de la Figure 8.a montre qu'il y a une certaine tendance de regroupement des échantillons d'une même année, mais pas assez nette pour la décerner à l'effet de la date de prélèvement. La Figure 8.b montre qu'il existe deux groupes dont la séparation est assez nette. Parmi les trois échantillons de l'année 2012<sup>3</sup>, chaque groupe contient au moins 1 échantillon de l'année 2012<sup>3</sup>. Donc cette séparation ne peut être attribuée au paramètre année de prélèvement de façon systématique.

### 3.1.5. Analyse des échantillons par leurs spectres moyens selon l'année

Les différentes PCA réalisées ne permettent pas de conclure que les échantillons sont distribués selon l'année de prélèvement. Dans le but d'approfondir ce résultat, les deux spectres moyens selon le paramètre année de prélèvement ont été observés à différentes étapes des analyses précédentes. Les spectres bruts et les dérivées premières des spectres sont représentés dans la Figure 9.

<sup>3</sup> DQ\_024 pour le groupe en haut ; DQ\_068 et DQ\_065 pour le groupe en bas



**Figure 9. Comparaison des spectres bruts et prétraités à différentes étapes de la PCA**

L'observation des spectres incluant tous les échantillons donne l'impression que des différences significatives existent entre eux et ceci dans les plages spectrales 1450 à 1550 nm et 2050 - 2200 nm (voir Figure 9.a). De la Figure 9.a à la Figure 9.c, les différences spectrales diminuent. Les spectres de la Figure 9.c proviennent des échantillons qui ont subi le même traitement. C'est pour cela que la différence spectrale y est moins marquée.

Ceci dit, la plage spectrale 2050 à 2200 nm présente encore une certaine différence de bande pour les 2 années (Figure 9.c). S'il aurait une différence systématique entre les échantillons due au paramètre année de prélèvement, elle pourrait être mise en évidence dans cette plage spectrale.

### 3.1.6. Conclusion sur le paramètre année de prélèvement

Si l'année de prélèvement aurait un effet significatif sur les échantillons, sur la base de la PCA, cet effet serait secondaire par rapport aux autres paramètres analysés dans cette section. Dans ce cas, cette différence pourrait être recherchée dans la plage spectrale 2050 à 2200 nm.

Cette analyse permet de mettre en évidence que l'effet des différents paramètres de traitements post-récolte serait mieux mis en évidence avec les fèves séchées.

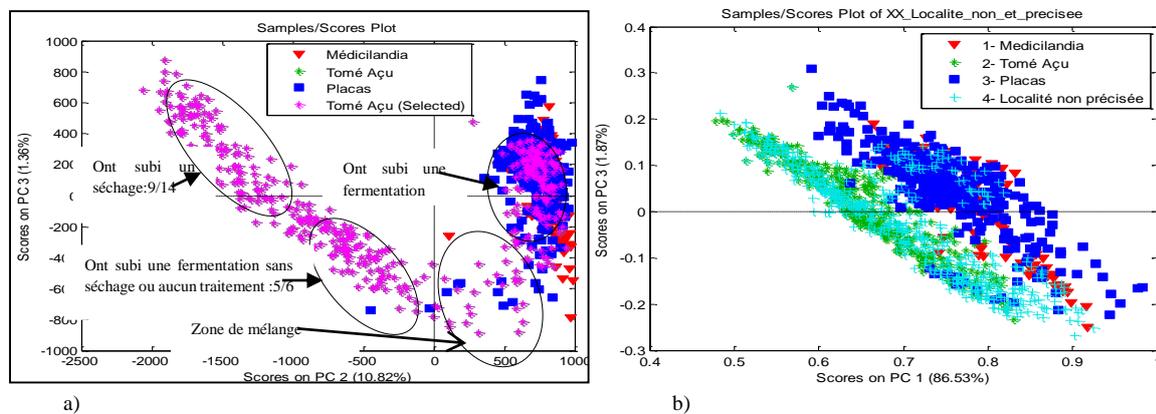
Parce que l'année de prélèvement n'est pas un paramètre discriminatif des échantillons sur la base de la PCA, le fait de mélanger les échantillons appartenant à ces deux années n'introduirait pas de décalage dans les résultats en PCA.

## 3.2. Analyse des échantillons selon le paramètre localité.

### 3.2.1. Analyse des échantillons des trois localités identifiées et localité PS

Les échantillons sont répartis en 4 localités. (Figure 2). Les traitements post récolte ne sont pas communiqués pour les localités Medicilandia et Placas. Ceci dit, l'observation de l'aspect extérieur des échantillons des localités Placas et de Medicilandia prouve qu'ils ont subi au moins un séchage, car ils présentent un aspect extérieur sec.

Pour commencer, les 91 échantillons des 3 localités ont été analysés (Figure 10.a). Ensuite ceux dont la localité PS ont été rassemblés en un seul groupe pour les comparer à ceux des trois localités.



**Figure 10.a) Résultats des PCA appliquées aux échantillons :a) distribution selon les 3 localités communiquées ; b) distribution de tous les échantillons selon la localité**

L'analyse en Composante Principale selon le PC-2 de la figure 10.a montre que les échantillons forment 2 groupes distincts. Une grande partie de ceux de Tomé Açú se distinguent des échantillons des deux autres localités. L'autre groupe est constitué du reste des échantillons de Tomé Açú et ceux des autres localités.

Il existe aussi des tendances de sous regroupement au sein des échantillons de Tomé Açú. Ces tendances sont exposées dans les commentaires introduits dans la Figure 10.a. La présence d'autres variables liées au paramètre localité dans la même PCA pourrait expliquer pourquoi les échantillons de Tomé Açú n'y sont pas séparés de façon assez nette selon le traitement post-récolte.

La figure 10.b montre qu'en appliquant un traitement SNV avant la dérivé première, les échantillons de Tomé Açú sont quasiment séparés de ceux des deux autres localités. Il semblerait que les échantillons de la localité PS, en grande partie, ne proviendraient ni de Medicilandia, ni de Placas, mais de Tomé Açú ou dans une localité qui présente les mêmes caractéristiques.

Considérant la description des échantillons utilisés dans les PCA de la Figure 10, leurs niveaux de séchage peuvent représenter une variable supplémentaire qui pourrait expliquer leur distribution :

- tous les 11 échantillons de Medicilandia ont un aspect extérieur sec ;
- 37 sur 39 des échantillons de Placas ont un aspect sec ;
- sur les 41 échantillons de Tomé Açú, seulement 14 ont un aspect extérieur sec ;
- 15 sur les 56 échantillons de la localité PS ont un aspect extérieur sec.

Dans les 2 PCA précédentes, Ce sont en réalité des échantillons séchés (Placas et Medicilandia) qui ont été comparés aux échantillons non séchés ou peu séchés (Tomé Açú et localité PS). Les échantillons pourraient se regrouper selon la teneur en eau.

Pour confirmer que la distribution de la Figure 10 se fait en fonction de la localité, une PCA peut être réalisée avec seulement les échantillons ayant un aspect sec.

### 3.2.2. Analyse des échantillons ayant un aspect sec

La suivante PCA est réalisée avec 11 échantillons de Medicilandia, 14 de Tomé Açú, 14 de Placas et 13 de la localité PS. L'un des échantillons du dernier groupe, DQ\_062 a été enlevé de la base de données car il est fort différent des autres et possède une très grande variabilité.

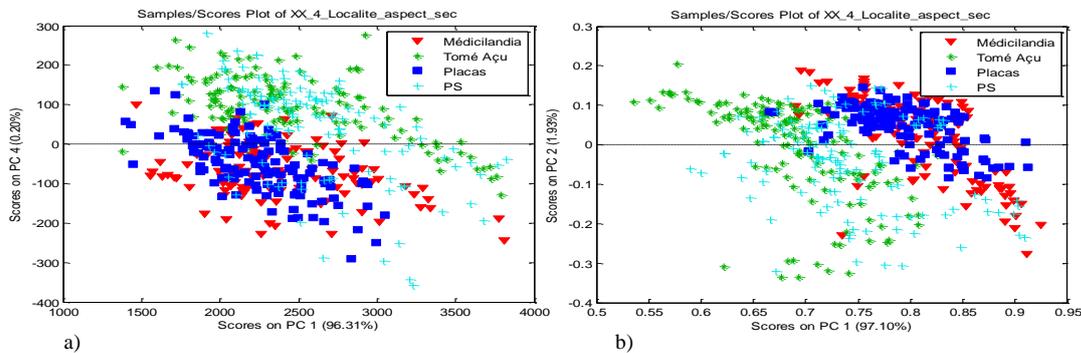


Figure 11. Résultats des PCA appliquées à la distribution des échantillons ayant un aspect sec

L'observation des différentes PCA de la Figure 11 montre les mêmes séparations observées que dans la Figure 10.

Un prétraitement SNV est appliqué dans la Figure 11.b. Les échantillons des localités Tomé Açú et PS y forment un seul et même groupe. Ceux de Placas et de Medicilandia forment un autre groupe.

Sur la base de PCA, la séparation observée entre les échantillons serait faite en fonction de la localité.

Ceci représente un résultat intéressant. Car l'effet de la localité prédominerait par rapport à celui de la teneur en eau des échantillons. La différence entre les localités a été mise en évidence dans la Figure 10 même en comparant des échantillons ayant été séchés d'une localité à ceux qui ont une forte teneur en eau d'une autre localité.

### 3.2.3. Conclusion sur le paramètre localité

Cette différence observée entre les deux groupes d'échantillons peut être génotypique. Elle peut résulter aussi du climat ou de l'itinéraire technique appliqué dans l'exploitation du cacao jusqu'au séchage. Sur la base de la PCA, cet effet observé prédomine par rapport au paramètre teneur en eau des échantillons.

Parce que les échantillons de localité PS sont assez similaires à ceux de Tomé Açú ; ils peuvent éventuellement être regroupés ensemble lors de l'étude des traitements post-récolte; et cela dans l'hypothèse que le paramètre épaisseur de couche appliqué lors de la fermentation des échantillons n'a pas d'effet significatif (Figure 2. Dispositif expérimental).

### 3.3. Analyse des échantillons selon le paramètre producteur

#### 3.3.1. Analyse des échantillons dans la localité de Médicilandia

Les 11 échantillons de Médicilandia proviennent de 11 producteurs différents. La figure suivante présente la PCA des 11 échantillons.

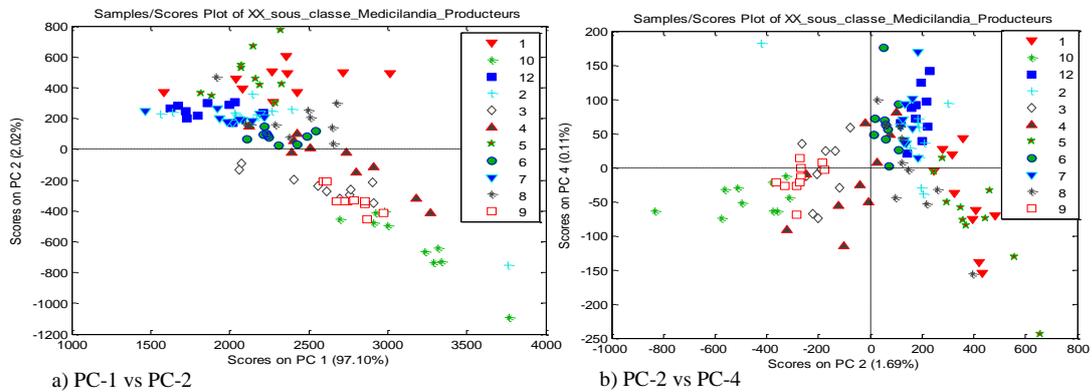


Figure 12. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Médicilandia selon le producteur

L'observation de la distribution des échantillons selon le paramètre producteur (Figure 12) ne permet pas de conclure qu'ils sont regroupés selon ce paramètre, car aucun regroupement par producteur ne peut être observé en absence de répétition.

Ces figures ne permettent pas de conclure sur le regroupement des échantillons selon le producteur. Cependant toutes les 10 fèves appartenant à un même producteur se regroupent. Toutefois, elles informent que la variabilité entre les fèves d'un même producteur est plus faible que celle entre les fèves de tous les producteurs.

#### 3.3.2. Analyse des échantillons dans la localité Placas

Les 39 échantillons de la localité de Placas proviennent de 33 producteurs différents. 5 producteurs ont été échantillonnés en double. Les autres producteurs ne disposent qu'un seul échantillon chacun. Une PCA est réalisée avec tous les échantillons (Figure 13.a) et un autre avec les 5 producteurs échantillonnés en double (Figure 13.b)

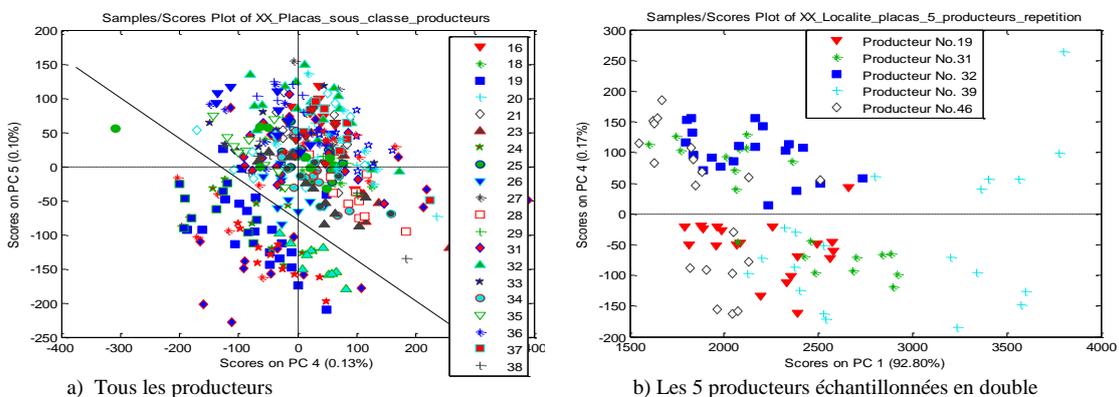


Figure 13. Résultat des PCA appliquées aux échantillons de Placas : a) distribution de tous les producteurs ; b) distribution des 5 producteurs échantillonnés en double

L'observation de la PCA de la figure 13.a ne permet pas de discriminer les échantillons selon le paramètre producteur. Ceci dit, il est remarquable qu'un lot d'échantillon en dessous de la ligne artificielle se détache des autres.

Dans la Figure 13.b, les échantillons forment deux groupes selon le PC-4. Cette figure permet aussi de constater que les échantillons des producteurs No 19 et 32 ont une variabilité très faible et ils appartiennent chacun à l'un des deux groupes. La variabilité des échantillons par producteur est assez forte pour les 3 autres producteurs.

### 3.3.3. Analyse des échantillons dans la localité Tomé Açú

Les 41 échantillons de cette localité sont répartis entre trois producteurs. Les PCA suivants sont réalisées avec les 41 échantillons et la distribution est étudiée selon le producteur (Figure 14.a) et selon le traitement post récolte (Figure 14.b). Cette dernière PCA a permis de mieux comprendre la distribution observée selon le producteur.

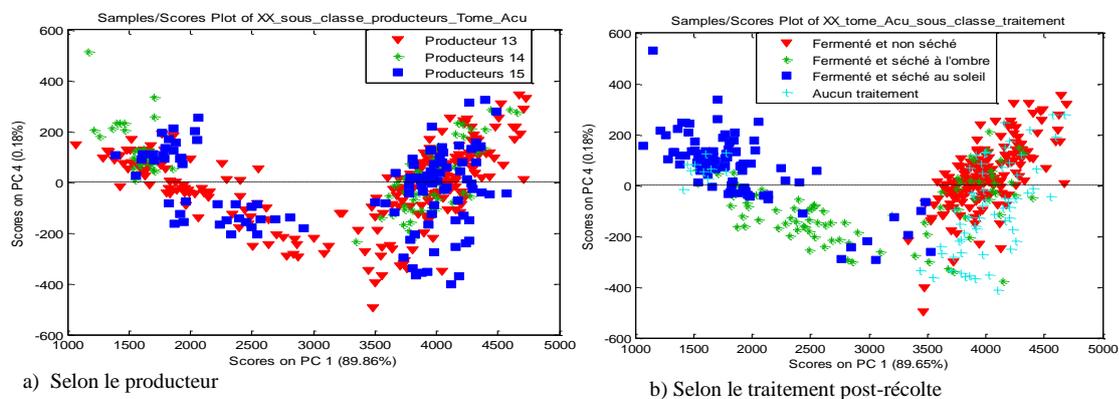


Figure 14. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Tomé Açú : a) selon le producteur ; b) selon le traitement post-récolte

Les échantillons provenant de Tomé Açú sont classés en 2 groupes selon le PC-1 (Figure 14.a). La distribution des échantillons présente une très grande variabilité. Cette variabilité est peut-être due à l'effet des différents traitements post-récolte. D'où l'intérêt d'analyser les échantillons de Tomé Açú selon les traitements post récolte (Figure 14.b).

Dans la figure 14.b, les échantillons fermentés et séchés à l'ombre se divisent en deux sous groupes. Cela est dû à l'effet du niveau de séchage. Ceux qui se regroupent dans le coté droit ont un aspect extérieur pateux. Et ceux qui se trouvent sur le coté gauche ont un aspect extérieur sec. L'observation de cette figure permet de dire que les échantillons de Tomé Açú se divisent en 3 groupes :

- ceux qui sont ont été séché au soleil après fermentation ;
- ceux qui ont été séchés à l'ombre après fermentation et qui ont un aspect extérieur sec ;
- ceux qui n'ont pas subi de séchage et l'autre partie de ceux qui ont été séchés à l'ombre après fermentation.

Pour étudier la distribution des échantillons selon le producteur, il faut travailler avec des échantillons de différents producteurs ayant subi le même traitement post –récolte.

### 3.3.4. Analyse des échantillons qui ont subi le même traitement

La première PCA (Figure 15.a) est réalisée avec des échantillons qui n'ont subi aucun traitement. Chaque producteur y est représenté par 2 ou 3 échantillons.

La seconde PCA (Figure 15.b) est réalisée avec 9 échantillons qui ont subi 7 jours de fermentation sans séchage. Chaque producteur y est représenté par 3 échantillons.

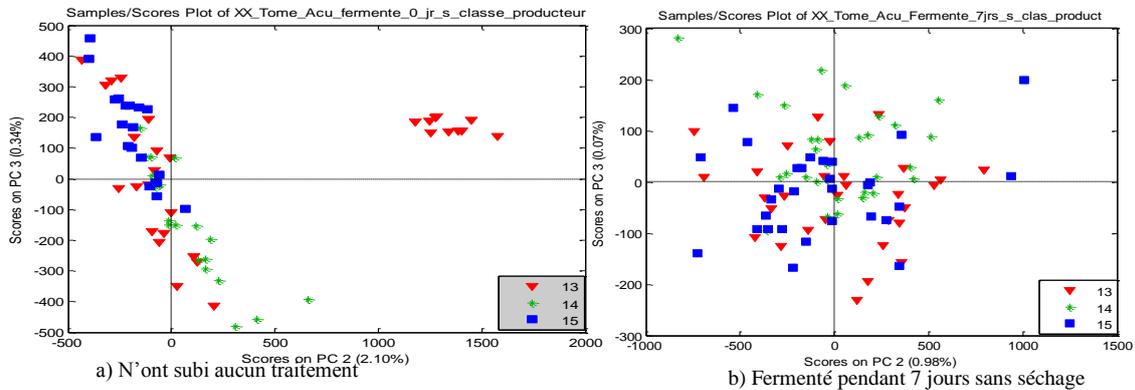


Figure 15. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Tomé Açu selon le producteur : a) ceux qui n'ont subi aucun traitement ; b) ceux qui sont fermentés 7 jours sans séchage

L'observation de la distribution des échantillons sur la base de la PCA (Figures 15) permet de dire que les échantillons ayant subi le même traitement ne sont pas regroupés par producteur.

### 3.3.5. Conclusion sur le paramètre producteur

Pour la localité de Medicilandia, l'absence de répétition empêche d'être concluant. Pour Tomé Açu, les échantillons ayant subi le même traitement suivent la même distribution selon le producteur.

Les échantillons de 2 producteurs dans la localité Placas ont une variabilité relativement faible par rapport aux autres producteurs de cette même localité. C'est peut-être que ces échantillons ont subi moins de traitements différents. Il est possible aussi que ces deux producteurs maîtrisent mieux leurs productions.

Sur un lot de produit, la faible variabilité des échantillons d'un producteur pourrait permettre à reconnaître celui qui maîtrise mieux sa production ou des échantillons qui ont subi des traitements post-récolte différents.

La distribution des échantillons au sein des trois localités, sur la base de la PCA, ne permet pas de dire qu'ils sont regroupés selon le producteur.

### 3.4. Analyse des échantillons selon le paramètre épaisseur de couche

La variabilité du paramètre épaisseur de couche est décrite dans les échantillons de la localité PS. Si ce paramètre a un effet significatif, et que cet effet n'est pas pris en compte, cela va introduire un décalage dans l'étude des autres paramètres que sont la fermentation, le type de séchage après fermentation et la durée de la fermentation. C'est pour cela qu'il a été placé avant ces autres paramètres dans le dispositif expérimental (Figure 2) et qu'il est étudié avant eux.

Ainsi, en fonction des résultats de l'étude de ce paramètre, certains échantillons pourront être regroupés pour l'étude d'autres paramètres. Ce regroupement éventuel concerne les

échantillons répartis dans différentes épaisseurs de couche. Ce regroupement concerne aussi les échantillons de Tomé Açú.

### 3.4.1. Analyse de tous échantillons

La PCA suivante est réalisée avec les 47 échantillons classés par épaisseur de la couche lors de la fermentation : 60 ; 50 ; 40 ; 30 ; et 20 cm.

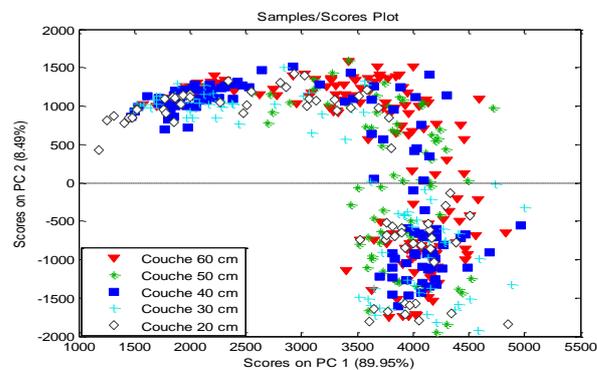


Figure 16. Résultat de la PCA appliquée sur la distribution des échantillons selon l'épaisseur de couche

L'observation selon le PC-1 vs PC-2 montre que les échantillons sont répartis avec une très grande variabilité selon les deux axes de la PCA. Ceci est certainement causé par différents traitements subis au sein de chaque couche. Afin de comprendre la distribution de la figure, des PCA devraient être réalisées au sein de chaque épaisseur de couche selon le traitement post-récolte.

### 3.4.2. Analyse des échantillons à l'intérieur de différentes épaisseurs de couche

Les PCA suivantes sont réalisées pour étudier la distribution des échantillons selon le traitement post-récolte au sein des épaisseurs de couches 60, 50 et 40 cm.

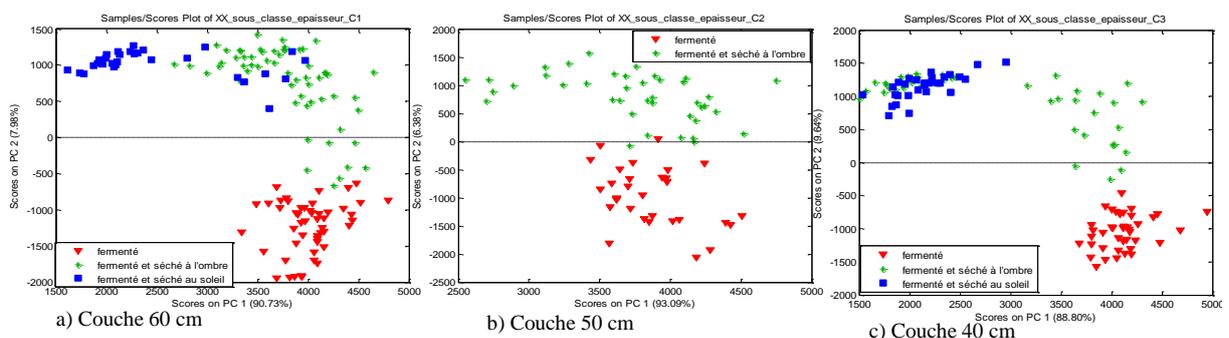


Figure 17. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons selon le traitement subi au sein de différentes épaisseurs de couche

Les trois distributions de la Figure.17 prouvent que les échantillons sont regroupés au sein d'une même couche selon les traitements post récolte. Selon le PC-2, ils sont classés en 2 groupes. Les échantillons séchés et ceux qui n'ont pas été séchés. Mais selon le PC-1, le type de séchage les distingue.

Donc pour observer l'effet éventuel du paramètre épaisseur de couche lors de la fermentation, il faudrait prendre des échantillons ayant subi le même traitement post récolte dans chacune des épaisseur de couche et de les comparer.

### 3.4.3. Analyse des échantillons ayant subi le même traitement

Parce que l'épaisseur de la couche est un paramètre introduit pour juger son effet sur la qualité de la fermentation, l'idéal c'est de prendre les échantillons ayant subi leur cycle complet de fermentation, soit 7 jours pour juger son effet. Aussi parce que l'eau a tendance à masquer les effets des traitements post récolte dans le NIR, il est idéal de choisir des échantillons qui ont été séchés après les 7 jours de fermentation et cela avec au moins une répétition.

Cette série de données n'existe pas au niveau des échantillons. Les échantillons avec 7 jours de fermentation n'ont pas été séchés et ne présentent pas de répétition. Dans la recherche de compromis, sont analysés :

- un échantillon par couche ayant subi 7 jours de fermentation sans être séché ;
- des échantillons ayant subi 3 et 4 jours de fermentation et séchés à l'ombre dans chacune des épaisseur des couches, question d'avoir une répétition pour chaque classe.

Les 3 PCA suivantes concernent les échantillons qui ont été fermentés pendant 7 jours sans séchage (Figure 18.a) et ceux qui ont été fermentés pendant 3 et 4 jours (Figure 18.b et c).

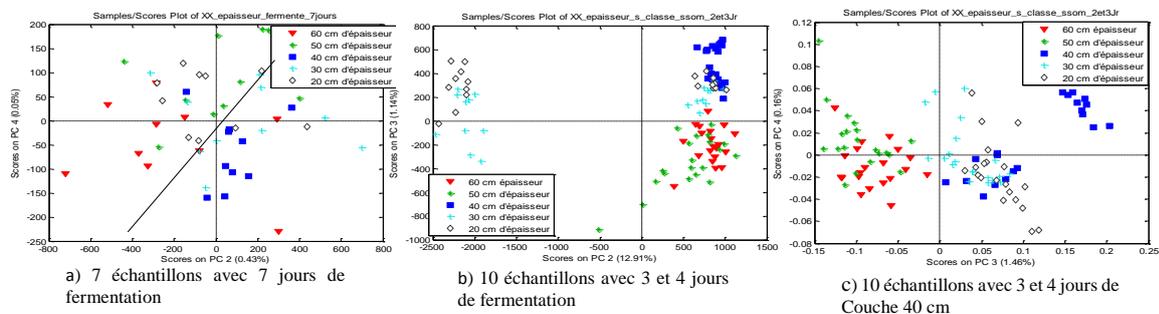


Figure 18. Résultats des PCA appliquées sur la distribution des échantillons ayant subi le même traitement selon l'épaisseur de couche

Avec la combinaison PC-2 vs PC-4 de la Figure 18.a, les échantillons forment deux groupes limités plus ou moins par une ligne arbitraire. La couche de 60 cm se retrouve dans le même groupe que celle de 20 cm. Tandis que les couches 40 et 30 cm sont de l'autre côté de la ligne. La couche de 50 cm est intermédiaire entre les deux groupes. La séparation n'est pas vraiment nette. C'est difficile de conclure, car en absence de répétition, c'est surtout la distribution selon chaque échantillon qui est observée.

Les Figure 18.b et c représentent un bon compromis. L'observation en PC-2 vs PC-3 (Figure 18.b) et PC-3 vs PC-4 (Figure 18.c) montre que les échantillons forment deux groupes. Ceux qui ont été mis à fermenter en une couche de 60 cm et 50 cm forment un groupe séparé des autres.

Dans les Figure 18.b et c, la variabilité des échantillons au sein de l'épaisseur de couche 40 cm s'explique par les différents niveaux de séchage des 2 échantillons qui constituent cette classe. C'est la même remarque pour l'épaisseur 30 cm. La forte variabilité observée au sein des échantillons fermentés à une couche de 20 cm ne peut être expliquée par le séchage qu'ils ont subi.

En appliquant un traitement SNV avant la dérivée première (Figure 17.c), le regroupement observé dans la Figure 17.c est encore plus net. Ce regroupement se produit selon le PC-3.

L'observation effectuée sur la base de la PCA, montre qu'il n'existerait pas de différence significative entre les épaisseurs de couche 60 et 50 cm entre 3 et 4 jours de fermentation.

#### 3.4.4. Conclusion sur analyse du paramètre épaisseur de couche

Sur la base de la PCA, aucune différence significative n'a été observée entre les épaisseurs de couches de 60 et 50 cm. Pour les autres épaisseurs de couche, il semblerait qu'il existe des différences significatives entre ces échantillons et ceux fermentés à 60 et 50 cm d'épaisseur de couche.

Dans le résultat des Figure.18 b et c, la fermentation est jugée à mi chemin. Il faudra le confirmer avec des échantillons ayant subi 7 jours de fermentation, avec le même séchage.

#### 3.5. Analyse des échantillons selon les paramètres fermentation et séchage

Les échantillons de Tomé Açu ont subi 4 types de traitement de fermentation et de séchage. Et ceux de la localité PS ont subi 6 types. Afin d'étudier l'effet de tous les 6 traitements, tous les échantillons concernés seront mélangés.

En raison de l'effet significatif qu'aurait le paramètre épaisseur de couche, mélanger ensemble les échantillons fermentés à 60 ou 50 cm aux autres échantillons fermentés à d'autres épaisseurs, introduirait un décalage dans les résultats. C'est en considérant ces réserves que les échantillons sont mélangés.

##### 3.5.1. Analyse de tous les échantillons

La première PCA est réalisée avec 97 échantillons dont les traitements post récolte ont été communiqués. Parmi ces échantillons, 9 n'ont subi aucun traitement. Ils sont mis comme référence pour servir de témoins dans l'étude de la distribution des échantillons. 9 autres échantillons n'ont pas subi de fermentation, mais ont été soumis à deux types de séchage.

La seconde PCA est réalisée avec 63 échantillons ayant été fermentés. 8 échantillons n'ayant subi aucun traitement ont été ajoutés dans cette PCA. Ce qui donne en tout 71 échantillons. 4 traitements post-récolte y sont représentés.

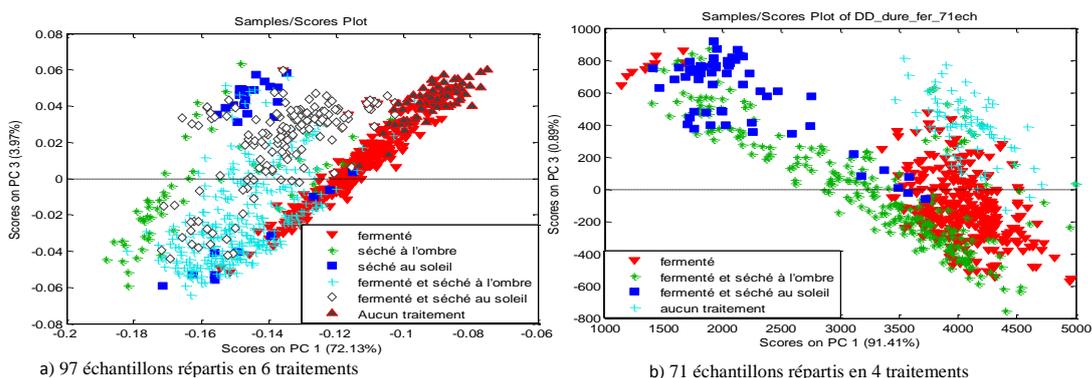


Figure 19. Résultats des PCA appliquées à la distribution des échantillons selon le traitement post-récolte

Selon la Figure 19.a, les échantillons ont tendance à former trois groupes :

- ceux qui n'ont pas subi de séchage
- ceux qui ont subi un séchage après leur fermentation
- ceux qui ont subi un séchage sans avoir été fermenté au préalable

Dans le groupe des échantillons qui n'ont pas subi de séchage, ceux qui sont fermentés forment un sous-groupe assez séparé de ceux qui ne le sont pas.

Les échantillons qui ont subi un séchage à l'ombre après leur fermentation ont une plus grande variabilité que toutes les autres classes d'échantillons. Cela est dû au niveau du séchage qui est très variable. Ces échantillons ont tous les aspects extérieurs utilisés dans cette étude : mucilagineux, pâteux, humide et sec. C'est pour cela que la séparation n'a pas été trop nette entre eux et les autres groupes.

Dans la Figure 19.b, les 4 classes d'échantillons sont regroupés selon le traitement post récolte subi. Les échantillons fermentés et séchés à l'ombre sont mieux regroupés.

### **3.5.2. Conclusion sur les paramètres fermentation et séchage**

La distribution des échantillons selon les traitements post récolte a été mise en évidence dans localité de Tomé Açu (Figure 14.b). Elle a été une fois de plus mise en évidence dans l'étude de la distribution des échantillons au sein des 3 épaisseurs de couche (Figure 16.a ; b et c). Les conclusions tirées lors de ces analyses sont cohérentes avec celles obtenues en analysant tous les échantillons.

La séparation est nette entre les échantillons séchés et non séchés.

Entre ceux qui n'ont pas subi de séchage, la séparation est assez nette entre échantillons fermenté et non fermentés.

Le type de séchage serait mieux mis en évidence avec des échantillons qui n'ont pas subi une fermentation au préalable. Cependant l'effet du type de séchage sans fermentation au préalable a été étudié avec seulement 9 échantillons (Figure 2). D'ailleurs, ces 9 échantillons présentent différents aspects extérieurs, donc différents niveaux de séchage. L'échantillonnage ne permet pas d'être très concluant quand il s'agit de comparer le type de séchage avec ou sans fermentation.

Sur la base de la PCA, la distribution des échantillons, permet de les regrouper selon le traitement post-récolte, avec une séparation plus nette des échantillons bien séchés.

### **3.6. Analyse des échantillons selon le paramètre durée de fermentation**

La durée de fermentation doit être étudiée avec des échantillons qui ont subi le même processus jusqu'à la fermentation et soumis au même séchage. Selon les informations communiquées, à priori, ce groupe d'échantillon n'existent pas dans cette étude.

La durée de fermentation a été communiquée pour 72 échantillons (voir Figure 2), dont 25 proviennent de Tomé Açu et le reste 47 de la localité PS. Les 25 échantillons de Tomé Açu ont subi entre eux des traitements post récolte différents. Il en est de même pour la localité PS.

De plus, dans la localité PS, les échantillons fermentés à des couches d'épaisseur 60 et 50 cm seraient différents des autres fermentés à des couches d'épaisseur 40, 30 et 20 cm. De ce fait, ces deux groupes d'échantillons ne peuvent être mélangés pour étudier la durée de fermentation.

Toutefois, les échantillons de Tomé Açu et ceux de la localité PS fermentés à 60 et 50 cm peuvent être regroupés ensemble, si le paramètre épaisseur de couche ne permet pas de les discriminer. Cela vaudrait dire que les échantillons de Tomé Açu auraient été fermentés à une

épaisseur de couche qui ne présente pas de différence significative avec l'épaisseur 60 et 50 cm.

Pour cela, la durée de fermentation a été étudiée d'abord avec tous les 72 échantillons ; ensuite la possibilité de regrouper des échantillons de Tomé Açu avec d'autres de la localité PS a été étudiée.

### 3.6.1. Analyse des tous les échantillons dont la durée de fermentation est connue

La figure suivante est réalisée avec 71 échantillons. L'échantillon DQ\_059 a été écarté de la PCA parce qu'il présente des caractéristiques très différentes de tous les autres. Les échantillons utilisés pour réaliser cette PCA ont subi différents niveaux de séchage.

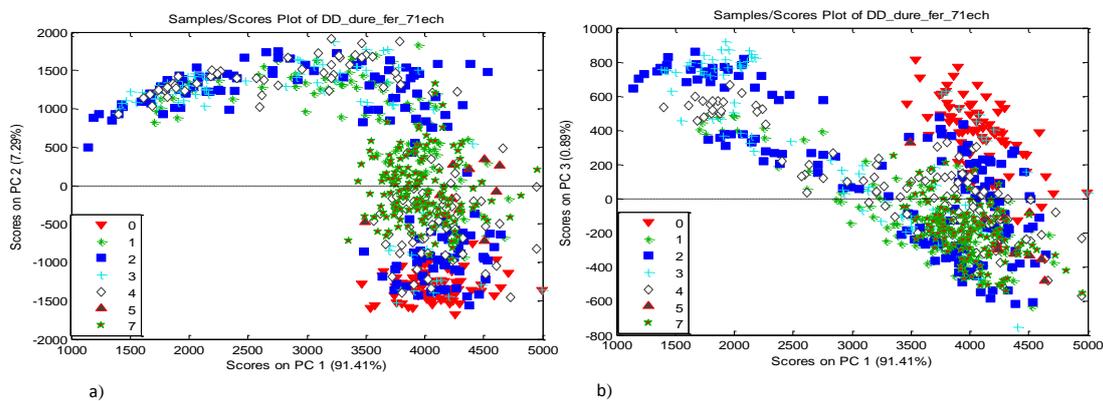


Figure 20. Résultats de la PCA appliquée sur la distribution des échantillons selon la durée de fermentation

L'observation de la distribution de la Figure 20 montre les échantillons sont regroupés selon la durée de fermentation. Dans la Figure 20.a, la séparation se fait surtout selon la teneur en eau selon le PC-2. Mais selon la Figure 20.b, les échantillons se regroupent mieux selon la durée de fermentation. Pour ceux fermentés pendant 2 jours, la formation de 2 sous-groupes est expliquée par différents niveaux de séchage qu'ils ont subi. C'est une preuve que les autres traitements influencent la distribution observée.

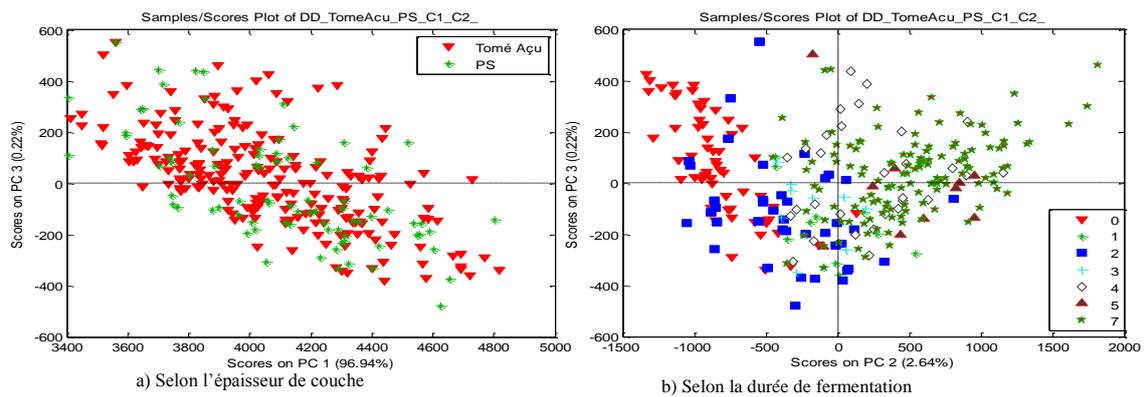
Le regroupement serait mieux mis en évidence avec des échantillons qui auraient été différenciés dans leurs historiques que par la durée de fermentation.

### 3.6.2. Analyse des échantillons de Tomé Açu et de la localité PS- couche 60 et 50 cm

Les figures suivantes sont réalisées avec 24 échantillons fermentés mais qui n'ont subi aucun séchage. Ils sont 8 de la localité PS, fermentés dans des couches de 60 et 50 cm ; les 16 autres proviennent de Tomé Açu.

6 échantillons provenant de Tomé Açu, qui n'ont subi aucun traitement ont été ajoutés afin d'avoir le niveau de fermentation correspondant à 0 jour.

Dans la PCA suivante (Figure 21.a), les 8 échantillons de la localité PS sont comparés avec les 24 de Tomé Açu.



**Figure 21. Résultat des PCA appliquées à la distribution des échantillons de Tomé Açú et ceux de la localité PS : a) selon l'épaisseur de couche ; b) selon la durée de la fermentation**

Selon la Figure 21.a, les échantillons des 2 localités forment un seul groupe selon le paramètre épaisseur de couche. Ils peuvent être mélangés pour l'étude de la durée de fermentation.

Dans la Figure 21.b, les 3 niveaux de fermentation les mieux représentés sont : 0 jour ; 3 jours et 7 jours. Cette figure montre que les échantillons sont séparés selon la durée de fermentation selon le PC-2. La séparation en fonction du nombre de jours de fermentation est plus nette dans cette figure que dans la Figure 20. Les échantillons moins fermentés sont à gauche et les plus fermentés à droite. Les échantillons ayant un niveau intermédiaire de fermentation sont retrouvés au milieu de la figure.

### 3.6.3. Conclusion sur le paramètre durée de fermentation

Avec des échantillons qui ont subi le même séchage, il a été possible de les discriminer selon la durée de fermentation de façon assez nette. Cependant tous les niveaux de fermentation n'ont pas été bien représentés dans cette distribution. D'autres études à réaliser dans l'avenir pourront étudier la fermentation dans les niveaux intermédiaires.

#### 4. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de montrer les grandes possibilités de la spectroscopie d'imagerie proche infrarouge dans l'analyse de fèves de cacao entières, travail qui semble être le premier dans ce domaine. L'échantillonnage n'a pas été assez représentatif pour étudier le paramètre épaisseur de couche. C'est pour cela qu'un ajout d'autres échantillons peut être envisagé.

Les fèves ont été différenciées, dans une première étape, selon un paramètre géographique (localité). Cette différence observée est probablement liée aux pratiques de traitement post-récolte spécifiques à une localité, au climat ou à une différence variétale. Ensuite, les fèves ont été regroupées selon les différents traitements post-récolte subis, c'est à dire la fermentation, la fermentation et/ou séchage à l'ombre ou au soleil ainsi que le niveau de fermentation.

Sur base des résultats de l'analyse en composantes principales, aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons des deux années disponibles. Toutefois, l'observation des spectres moyens des fèves acquis par imagerie hyperspectrale NIR présente des différences dans les plages spectrales 1450-1550 nm et 2050 et 2200 nm.

L'observation de la distribution observée sur la base de la PCA n'a pas permis de regrouper les échantillons d'un même producteur. Mais, au sein d'une même localité, la variabilité des 10 fèves d'un seul producteur a été trouvée plus faible que celle des fèves de tous les producteurs. Toutefois, les échantillons de certains producteurs ont une variabilité nettement plus faible que ceux des autres producteurs. Cette faible variabilité pourrait servir d'indicateur pour apprécier la rigueur avec laquelle un producteur applique son itinéraire technique.

Pour le paramètre épaisseur de couche il faudrait augmenter l'échantillonnage pour avoir au moins une répétition des échantillons ayant subi 7 jours de fermentation. Dans la Figure suivante, un dispositif expérimental est proposé pour l'analyse de ce paramètre. Dans cette figure, n désigne le nombre de répétition, et c le nombre d'épaisseurs de couche à étudier. Les différents échantillons devraient provenir de la même localité et du même producteur. Le séchage doit être rigoureusement le même. Le total d'échantillons serait donc :  $N = 6n * c$ . Dans ce dispositif, l'effet du paramètre serait analysé à trois niveaux (Figure 22). Le fait d'étudier son effet après 3 jours de fermentation pourrait permettre de faire le lien avec la présente étude.

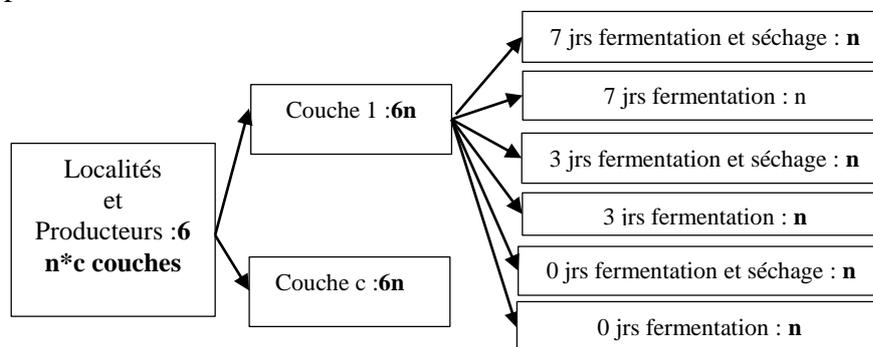


Figure 22. Dispositif expérimental proposé pour l'étude de l'effet du paramètre épaisseur de couche

Les résultats de cette étude ont donné une première idée sur le niveau d'application de l'imagerie hyperspectrale sur des fèves entières. Toutefois, ces résultats ne présentent qu'une

partie de l'étude sur l'application de l'imagerie hyperspectrale NIR dans l'analyse des fèves de cacao. Les prochaines données qui seront générées lors de l'analyse des fèves tranchées s'ajouteront à celles de cette étude et permettront de juger mieux le niveau d'application de cette technique sur les fèves de cacao.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aculey, Patrick; Snitkjaer, Pia; Owusu, Margaret, Bassompierre, Marc; Takrama, Jemmy; Norgaard, Lars; Petersen, Mikael ; Nielsen, Dennis. Ghanaian Cocoa Bean Fermentation Characterized by Spectroscopic and Chromatographic Methods and Chemometr. *Journal of food Science*, Vol 75 No 6, 2010 pp. 300-306.
- Afoakwa, Emmanuel Ohene. *Cocoa Production and Processing Technology*, edition Illustrée, CRC Press, 2014, 374 p.
- Alvarez, Climaco ; Perez, Elvina ; Cros , Emile ; Lares, Mary; Assemat , Sophie ; Boulanger, Renaud ; Fabrice Davrieux. The use of near infrared spectroscopy to determine the fat, caffeine, theobromine and (-)-epicatechin contents in un fermented and sun-dried beans cocoa. *Journal of Near infrared Spectroscopy*, 20, 307-315, publication april 2012
- Asiedu, J. J. *La transformation des produits agricoles en zone tropicale: approche technologique*. Édition: Karthala, Wageningen: CTA; Paris, 1991, 335p.
- Barel, Michel. In : Bourgeois C.M. (ed.), Larpent J.P. (ed.). *Microbiologie alimentaire. Tome 2 : aliments fermentés et fermentations alimentaires*. Technique et documentation Lavoisier. Collection sciences et techniques agro-alimentaires, 2. Paris, 1996 p.275-286.
- Barel, Michel. *Du cacao au chocolat, l'épopée d'une gourmandise*. Editions Quae, Versailles 2009, 144 p.
- Barel, Michel. Première transformation. In : Pontillon, J. (ed.) *Cacao et chocolat, production, utilisation et caractéristiques*. Edition Tec et Doc Lavoisier. Collection Sciences et Techniques agroalimentaires. 1998, pp. 96-115
- Boulanger, Renaud ; Portillo, Elvis ; Assemat, Sophie ; Davrieux, Fabrice ; Cros, Emile. Comparison between fresh bean volatile compound composition of Criollo and Trinitario cocoa type of Venezuela. In: 15th International Cocoa Research Conference: cocoa productivity, quality, profitability, human health and the environment. (CD-ROM), San José, 2006-10-09
- Burger, James. *Hyperspectral NIR Image Analysis. Data Exploration, Correction, and Regression* Unit of Biomass Technology and Chemistry. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå 2006, 140 p.
- Chabreuil, Lucie. *Etude de l'évolution des teneurs en procyanidines du cacao au cours de la fermentation*. Mémoire DUT Chimie : Sète, IUT-Département de chimie CIRAD-CP-UPR Qualité produits pérennes, Montpellier, 2005. - 32 p.
- Collin, Sonia ; Cellemien, Delphine, Jerkovic, Vesna. Propriétés des Polyphénols. In : *Polyphénols et Procédés*. (Eds) Sonia Collin et Jean Crouzet. Edition tec et Doc, Lavoisier. Paris, 2011. pp ; 45-59.

- Davrieux, Fabrice ; Boulanger, Renaud ; Assemat, Sophie ; Portillo, Elvis ; Cros, Emile.  
Determining fermentation levels and flavan-3-ol contents in dried cocoa by near infrared spectroscopy. [CD-ROM], 2010. - p. 1521-1528. In : 15<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference : cocoa productivity, quality, profitability, human health and the environment. San José, 2006-10-09
- Davrieux, Fabrice ; Assemat, Sophie ; Boulanger, Renaud ; Sukha, Darin, Eskes, Albertus ; Paulin, Didier ; Cros, Emile. haracterization of cocoa clones from different origins for purine contents predicted by NIRS. In: 16<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference. Proceedings : towards rational cocoa production and efficient use of a sustainable world cocoa economy. Lagos : Cocoa Producers Alliance, Bali, Indonésie, 2009-11-16
- Despréaux, Denis. Le cacaoyer. In : Pontillon, J. (ed.) Cacao et chocolat, production, utilisation et caractéristiques. Edition Tec et Doc Lavoisier. Collection Sciences et Techniques agroalimentaires. 1998, pp. 45-68.
- Diawara, Karim. Etude de faisabilité du dosage des procyanidines du cacao par spectrométrie proche infrarouge. Mémoire DUT : Chimie : Montpellier, IUT. CIRAD-CP-CACAO, Montpellier, 2003, 34p.
- ElMasry, Gamal; Sun, Da-Wen. Principle of Hyperspectral imaging technology pp. 3-45. In: Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control. Sun, Da-Wen (Ed). 1st Edition, Elsevier, London, 2010. 496 p.
- Fernández Pierna, Juan Antonio ; Baeten, Vincent ; Dardenne, Pierre, Dubois J. ; Lewis E. N. ; Burger James.  
Spectroscopic imaging. In: Brown S., Tauler R., Walczak R. (eds.) Comprehensive Chemometrics, volume 4. Oxford: Elsevier, 2009. pp. 173-196.
- Garcia, Agathe. Etude de la faisabilité du dosage des procyanidines du cacao par spectrométrie proche, Mémoire DUT, Chimie : Sète, IUT-Département de chimie CIRAD-CP-UPR Qualité produits pérennes, Montpellier infrarouge, 2004, 35 p.
- Geladi, Paul ; Grahm, Hans ;Burger, James. Multivariate images, hyperspectral imaging: Background and Equipment. In: Techniques and Applications of Hyperspectral Image Analysis. Grahm, Hans; geladi, Paul (eds), Wiley, West Sussex, 2007, pp 1-15.
- Gildemberg, Amorim Leal; Luiz, Humberto Gomes; Priscilla, Efraim; Flavio, Cesar de Almeida Tavares; Antonio, Figueira. Fermentation of cacao (*Theobroma cacao* L.) seeds with a hybrid *Kluyveromyces marxianus* strain improved product quality attributes. FEMS Yeast Research Volume 8, Issue 5, 2008, pages 788–798
- Henrot, Simon. Deconvolution et séparation d'images hyperspectrales en microscopie. Thèse pour l'obtention du Doctorat de l'Université de Lorraine. Ecole doctorale IAEM Lorraine, Centre de Recherche en Automatique de Nancy, UMR 7039, Lorraine, 2013, 111 p.
- ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XXXIX, No. 4, Cocoa year 2012/13, published : 02-12-2013.

- Khoder, Jihan Fawaz. Nouvel Algorithme pour la Réduction de la Dimensionnalité en Imagerie Hyperspectrale, pour obtenir le grade de Docteur délivré par L'Université de Versailles St Quentin-en-Yvelines Et L'Université Libanaise. Spécialité : Génie informatique, automatique et traitement de signal, 2013, 98 p.
- Koua, Adjaffi. Identification spectroscopique des fèves de cacao. Mémoire. Université Catholique de Louvain. Louvain la Neuve, 2009, 23p.
- Lanaud, Claire ; Motamayor, Juan-Carlos ; Sounigo, Olivier. Le cacaoyer. In : Hamon Perla ; Seguin, Marc ; Perrier, Xavier ; Glaszmann, Christophe (eds). Diversité génétique des plantes tropicales cultivées. Editions Quae, Cirad, 1999, Montpellier, France, 1998. pp141-166.
- Lebailly, Philippe. Le goût amer du chocolat européen, (2014). Colloque international SFER AGP 2014 "Agriculture et Géopolitique - Rivalités, Puissance, Coopération". 12 et 13 février 2014. Guyancourt, France. Organisé par la Société Française d'Économie Rurale (SFER), en partenariat avec le laboratoire CEMOTEV de l'Université de Versailles, le CIRAD.
- Lechevalier, Paul. Economie cacao. In : Pontillon, J. (ed.) Cacao et chocolat, production, utilisation et caractéristiques. Edition Tec et Doc Lavoisier. Collection Sciences et Techniques agroalimentaires. 1998, pp. 5-42
- Loor Solórzano, Rey Gastón. Domestication of the Nacional Theobroma cacao L. variety from Ecuador. Thèse pour l'obtention de grade de docteur en Sciences Agronomiques, Montpellier, Ecole nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 2007, 115 p.
- Matallah, Noura. Imagerie hyperspectrale par transformée de Fourier- Limites de détection, caractérisation des images et nouveaux concepts d'imagerie. Pour obtenir le grade de Docteur en Sciences, Spécialité : physique. Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique, Faculté des sciences d'Orsay - Université Paris-Sud XI, 2011. 177 p.
- Mazigh, Daniel A. Microbiologie In : Pontillon, J. (ed.) Cacao et chocolat, production, utilisation et caractéristiques. Edition Tec et Doc Lavoisier. Collection Sciences et Techniques agroalimentaires. 1998, pp. 605-610
- Morin, Nelly. Etude de l'évolution des purines et procyanidines au cours de la fermentation du cacao, Mémoire : Génie biologique, Industries alimentaires et biologiques. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse. CIRAD-CP-CACAO Montpellier, 2004, 32 p.
- Nguyen, Hoang Nguyen. Méthodes de démixtion non-linéaires pour l'imagerie hyperspectrale, thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Nice Sophia-Antipolis Mention : Sciences de l'univers, Nice, 2013, 115 p.
- Ouattara, Gnenequidou Honoré. Rôle des Bacillus dans la fermentation du cacao: Caractérisation Biochimique et moléculaire des Bacillus fermentaires du cacao et de leurs enzymes pectinolytiques: Recherche de potentiels starters. Editions universitaires européennes EUE, 2011, 256 p.

- Pépin, Vincent ; Callebaut, Barry. Cacao et chocolat, Traitement et fabrication. Edition Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, 2002 pp.1-15
- Qin, Jianwei. Hyperspectral imaging instrument. In: Sun, Da-Wen (Ed), Hyperspectral Imaging for Food, Quality Analysis and Control. 1st Edition, Elsevier, London, 2010. pp. 133-153
- Shippert, Peg. Why Use Hyperspectral Imagery? Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, April 2004, pp. 377-380
- Romero-Cortes, Teresa; Salgado-Cervantes, Marco, Antonio ; García-Alamilla, Pedro ; García-alvarado, Miguel Angel; Rodríguez-Jimenes, Guadalupe; Hidalgo-Morales, Madeleine; Robles-olvera, Víctor. Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (*Theobroma cacao*) beans Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, Vol.93 (10), pp.2596-2604.
- Vermeulen, Philippe ; Fernández Pierna, Juan Antonio ; Van Egmond H.P ; Dardenne Pierre ; Baeten, Vincent. Detection and quantification of ergot bodies in cereals using near infrared hyperspectral imaging, Food Additives & Contaminants. Vol. 29 No, 2, 2012, pp. 232-240
- Veselá, Anežka ; Barros, António ; Synytsya, Andriy ; Delgadillo, Ivonne ; Čopíková, Jana ; Coimbra, Manuel. Infrared spectroscopy and outer product analysis for quantification of fat, nitrogen, and moisture of cocoa powder. Analytica Chimica Acta, 2007, Vol.601 (1), pp.77-86
- Vincke, Damien; Miller, Rebecca; Stassart, Edith; Otte, Marcel; Dardenne, Pierre; Collins, Matthew; Wilkinson, Keith; Stewart, John; Baeten, Vincent; Fernández Pierna, Juan Antonio. Analysis of collagen preservation in bones recovered in archeological contexts using NIR Hyperspectral imaging. Talanta, 125, 181-188. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science (2014).
- Whitacre, Brian ; Liver, J. ; Van Den Broek, R. ; Van Engelen, P. ; Remers, B. ; Van Der Horst, B.; Tewart, M.; Jansen-Beuvink, A. Predictive Analysis of Cocoa Procyanidins Using Near-Infrared Spectroscopy Techniques. Journal of Food Science, 2003, Vol.68(9), pp.2618-2622

#### **Sites internet**

- <http://l.domelevo.free.fr/cupuacu.htm>, consulté le 6 mars 2014
- <http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/spectroscopie/Instrumentpir.html#a>. Consulté avril 2014
- <http://www.fao.org/wairdocs/x5164f/X5164f12.htm>, consulté le 8 mars 2014
- <http://www.food-info.net/fr/qa/qa-fp47.htm>, consulté le 12 février mars 2014
- <http://www.melaneum.com/thesehtml/thesech1.html>, consulté le 6 mars 2014
- <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=45236>. Consulté en avril 2014
- <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/cacao.htm>, consulté le 12 février mars 2014
- [http://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/inbr/documents/Monnart\\_2008\\_GP3A.pdf](http://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/inbr/documents/Monnart_2008_GP3A.pdf), consulté le 22 février 2014

## ANNEXES

### Annexe 1. Description des échantillons

Dans ce tableau PS = Pas spécifié ;

Localité : 1= Médicilandia ; 2 = Tomé Açu et 3 Placas

Epaisseur de couche : 1= 60 cm ; 2= 50 cm ; 3= 40 cm ; 4 = 30 cm et 5 = 20 cm

Traitement : 1= fermenté ; 2= séché à l'ombre ; 3= séché au soleil ; 4= fermenté et séché à l'ombre ; 5= fermenté et séché au soleil ; 6= aucun traitement. N= nombre de fèves par échantillons

Code	Année	Localités	Producteurs	Epaisseur de couche	Traitement	Durée de fermentation (Jour)	N	Aspect
DQ001_1_A	2012	PS	PS	2	4	1	17	Humide
DQ002_1_A	2013	3	49	PS	PS	PS	12	Sec
DQ003_1_A	2012	2	15	PS	1	7	13	Mucilagineux
DQ004_1_A	2012	PS	PS	1	1	7	16	Mucilagineux
DQ005_1_A	2012	PS	PS	4	4	3	16	Sec
DQ006_1_A	2012	PS	PS	1	4	3	16	Humide
DQ007_1_A	2012	PS	PS	3	4	2	15	Humide
DQ008_1_A	2013	3	40	PS	PS	PS	14	Sec
DQ009_1_A	2012	PS	PS	4	1	7	14	Pâteux
DQ010_1_A	2012	PS	PS	2	1	2	15	Mucilagineux
DQ011_1_A	2013	3	31	PS	PS	PS	13	Sec
DQ012_1_A	2013	3	39	PS	PS	PS	13	Pâteux
DQ013_1_A	2012	PS	PS	5	1	4	13	Mucilagineux
DQ014_1_A	2013	3	37	PS	PS	PS	13	Sec
DQ015_1_A	2012	PS	PS	2	1	4	13	Pâteux
DQ016_1_A	2013	3	27	PS	PS	PS	13	Sec
DQ017_1_A	2013	3	33	PS	PS	PS	14	Sec
DQ018_1_A	2012	PS	PS	1	1	7	12	Mucilagineux
DQ019_1_A	2012	PS	PS	1	1	4	18	Pâteux
DQ020_1_A	2012	PS	PS	1	4	4	16	Humide
DQ021_1_A	2013	2	13	PS	5	PS	14	Sec
DQ022_1_A	2013	2	13	PS	5	PS	14	Sec
DQ023_1_A	2012	PS	PS	PS	3	PS	13	Sec
DQ024_1_A	2012	PS	PS	3	5	3	18	Sec
DQ025_1_A	2013	3	36	PS	PS	PS	14	Sec
DQ026_1_A	2013	2	14	PS	1	7	12	Pâteux
DQ027_1_A	2013	2	13	PS	4	1	12	Pâteux
DQ028_1_A	2012	PS	PS	1	4	1	17	Pâteux
DQ029_1_A	2013	2	14	PS	5	PS	14	Sec
DQ030_1_A	2013	2	13	PS	4	2	13	Sec
DQ031_1_A	2013	3	24	PS	PS	PS	13	Sec
DQ032_1_A	2013	3	34	PS	PS	PS	12	Sec
DQ033_1_A	2013	3	38	PS	PS	PS	15	Sec
DQ034_1_A	2012	PS	PS	3	4	4	18	Sec
DQ035_1_A	2013	2	15	PS	1	2	13	Mucilagineux
DQ036_1_A	2012	PS	PS	PS	2	PS	16	Sec

## Annexe 1. Description des échantillons (suite)

Code	Année	Localités	Producteurs	Épaisseur de couche	Traitement	Durée de fermentation (Jour)	N	Aspect
DQ037_1_A	2012	PS	PS	1	4	2	15	Pâteux
DQ038_1_A	2012	PS	PS	2	1	7	14	Pâteux
DQ039_1_A	2013	2	13	4	1	4	14	Pâteux
DQ040_1_A	2013	3	23	PS	PS	PS	14	Sec
DQ041_1_A	2013	3	32	PS	PS	PS	14	Sec
DQ042_1_A	2013	2	13	PS	5	PS	14	Sec
DQ043_1_A	2013	2	14	PS	5	PS	15	Sec
DQ044_1_A	2012	PS	PS	PS	2	PS	20	Humide
DQ045_1_A	2013	3	26	PS	PS	PS	15	Sec
DQ046_1_A	2012	PS	PS	2	4	3	13	Humide
DQ047_1_A	2012	PS	PS	1	1	7	14	Pâteux
DQ048_1_A	2013	3	29	PS	PS	PS	13	Sec
DQ049_1_A	2013	3	54	PS	PS	PS	12	Sec
DQ050_1_A	2013	3	32	PS	PS	PS	13	Sec
DQ051_1_A	2013	PS	PS	PS	6	0	13	Mucilagineux
DQ052_1_A	2012	PS	PS	5	4	4	19	Sec
DQ053_1_A	2013	3	25	PS	PS	PS	13	Sec
DQ054_1_A	2012	PS	PS	5	1	2	14	Mucilagineux
DQ055_1_A	2013	3	35	PS	PS	PS	14	Sec
DQ056_1_A	2012	PS	PS	1	5	2	19	Sec
DQ057_1_A	2013	3	39	PS	PS	PS	15	Sec
DQ058_1_A	2012	PS	PS	5	1	7	16	Pâteux
DQ059_1_A	2013	2	13	4	6	0	13	Mucilagineux
DQ060_1_A	2012	PS	PS	PS	2	PS	14	Pâteux
DQ061_1_A	2012	PS	PS	3	4	3	15	Humide
DQ062_1_A	2012	PS	PS	5	4	3	15	Sec
DQ063_1_A	2012	PS	PS	PS	2	PS	17	Sec
DQ064_1_A	2013	3	44	PS	PS	PS	14	Sec
DQ065_1_A	2012	PS	PS	3	5	1	16	Sec
DQ066_1_A	2013	3	51	PS	PS	PS	14	Sec
DQ067_1_A	2012	PS	PS	2	4	2	14	Humide
DQ068_1_A	2012	PS	PS	3	5	2	19	Sec
DQ069_1_A	2013	2	15	PS	1	7	12	Mucilagineux
DQ070_1_A	2012	PS	PS	PS	3	PS	16	Pâteux
DQ071_1_A	2012	PS	PS	3	1	4	11	Mucilagineux
DQ072_1_A	2013	3	18	PS	PS	PS	14	Sec
DQ073_1_A	2012	PS	PS	4	4	4	12	Mucilagineux
DQ074_1_A	2012	PS	PS	5	4	2	16	Sec
DQ075_1_A	2013	3	42	PS	PS	PS	13	Sec
DQ076_1_A	2012	PS	PS	3	1	7	14	Mucilagineux

## Annexe 1. Description des échantillons (suite)

Code	Année	Localités	Producteurs	Epaisseur de couche	Traitement	Durée de fermentation (Jour)	N	Aspect
DQ077_1_A	2013	PS	PS	PS	6	0	12	Mucilagineux
DQ078_1_A	2012	PS	PS	4	4	1	14	Pâteux
DQ079_1_A	2012	PS	PS	1	5	3	15	Sec
DQ080_1_A	2012	PS	PS	3	1	2	15	Mucilagineux
DQ081_1_A	2012	PS	PS	3	4	1	15	Humide
DQ082_1_A	2012	PS	PS	3	1	4	17	Mucilagineux
DQ083_1_A	2013	3	55	PS	PS	PS	13	Sec
DQ084_1_A	2013	2	15	PS	5	PS	14	Sec
DQ085_1_A	2013	3	43	PS	PS	PS	14	Sec
DQ086_1_A	2012	PS	PS	2	4	4	17	Sec
DQ087_1_A	2013	2	15	PS	6	0	12	Mucilagineux
DQ088_1_A	2012	PS	PS	PS	2	PS	13	Pâteux
DQ089_1_A	2013	2	13	PS	1	7	12	Mucilagineux
DQ090_1_A	2012	PS	PS	PS	2	PS	15	Humide
DQ091_1_A	2012	PS	PS	1	4	3	14	Pâteux
DQ092_1_A	2012	PS	PS	4	4	2	16	Sec
DQ093_1_A	2012	PS	PS	4	1	2	13	Pâteux
DQ094_1_A	2013	2	15	PS	5	PS	15	Sec
DQ095_1_A	2013	3	50	PS	PS	PS	12	Sec
DQ096_1_A	2012	PS	PS	PS	3	PS	16	Sec
DQ097_1_A	2012	PS	PS	5	4	1	14	Humide
DQ098_1_A	2012	PS	PS	1	5	1	17	Humide
DQ099_1_A	2012	PS	PS	1	4	4	13	Humide
DQ100_1_A	2012	PS	PS	1	1	2	16	Mucilagineux
DQ101_1_A	2013	1	10	PS	PS	PS	14	Sec
DQ102_1_A	2013	3	47	PS	PS	PS	14	Humide
DQ103_1_A	2013	1	7	PS	PS	PS	14	Sec
DQ104_1_A	2013	2	15	PS	4	PS	15	Sec
DQ105_1_A	2013	3	31	PS	PS	PS	14	Sec
DQ106_1_A	2013	1	3	PS	PS	PS	15	Sec
DQ107_1_A	2013	2	13	PS	1	3	13	Mucilagineux
DQ108_1_A	2013	3	28	PS	PS	PS	14	Sec
DQ109_1_A	2013	1	2	PS	PS	PS	14	Sec
DQ110_1_A	2013	3	19	PS	PS	PS	14	Sec
DQ111_1_A	2013	2	13	PS	6	0	16	Mucilagineux
DQ112_1_A	2013	2	13	PS	1	7	13	Mucilagineux
DQ113_1_A	2013	2	14	PS	4	PS	14	Sec
DQ114_1_A	2013	2	14	PS	1	7	14	Mucilagineux
DQ115_1_A	2013	3	19	PS	PS	PS	15	Sec
DQ116_1_A	2013	2	15	PS	4	PS	14	Sec
DQ117_1_A	2013	1	9	PS	PS	PS	15	Sec

## Annexe 1. Description des échantillons (suite)

Code	Année	Localités	Producteurs	Epaisseur de couche	Traitement	Durée de fermentation (Jour)	N	Aspect
DQ118_1_A	2013	1	12	PS	PS	PS	14	Sec
DQ119_1_A	2013	2	13	PS	1	2	12	Mucilagineux
DQ120_1_A	2013	1	5	PS	PS	PS	15	Sec
DQ121_1_A	2013	2	13	PS	4	PS	14	Sec
DQ122_1_A	2013	3	20	PS	PS	PS	15	Sec
DQ123_1_A	2013	2	13	PS	1	1	13	Mucilagineux
DQ124_1_A	2013	2	15	PS	1	7	13	Mucilagineux
DQ125_1_A	2013	2	14	PS	6	0	13	Mucilagineux
DQ126_1_A	2013	1	1	PS	PS	PS	14	Sec
DQ127_1_A	2013	1	6	PS	PS	PS	14	Sec
DQ128_1_A	2013	2	14	PS	6	0	12	Mucilagineux
DQ129_1_A	2013	2	13	PS	1	5	13	Pâteux
DQ130_1_A	2013	3	46	PS	PS	PS	13	Sec
DQ131_1_A	2013	3	52	PS	PS	PS	12	Sec
DQ132_1_A	2013	1	8	PS	PS	PS	13	Sec
DQ133_1_A	2013	2	15	PS	4	PS	12	Pâteux
DQ134_1_A	2013	2	13	PS	4	PS	14	Humide
DQ135_1_A	2013	3	16	PS	PS	PS	13	Sec
DQ136_1_A	2013	2	13	PS	4	PS	14	Humide
DQ137_1_A	2013	1	4	PS	PS	PS	14	Sec
DQ138_1_A	2013	2	14	PS	1	7	15	Mucilagineux
DQ139_1_A	2013	2	15	PS	6	0	13	Mucilagineux
DQ140_1_A	2013	2	13	PS	6	0	15	Mucilagineux
DQ141_1_A	2013	3	46	PS	PS	PS	14	Sec
DQ142_1_A	2013	3	53	PS	PS	PS	11	Sec
DQ143_1_A	2013	2	13	PS	1	7	12	Mucilagineux
DQ144_1_A	2013	2	14	PS	1	2	12	Mucilagineux
DQ145_1_A	2013	3	21	PS	PS	PS	13	Sec
DQ146_1_A	2013	2	13	PS	5	PS	15	Sec
DQ147_1_A	2013	2	13	PS	5	PS	14	Sec

## Annexe 2. Description d'échantillons de l'année 2012 qui se regroupent

Echantillons à gauche de la figure 2	Echantillons à droite de la figure 2
DQ_010 : 2 jours de fermentation pas de séché, provenance pas précisée, mucilagineux.	DQ_091 : séché à l'ombre, 3 jours de fermentation, provenance pas précisée, pâteux.
DQ_080 : 2 jours de fermentation, pas de séchage, provenance pas précisée, Mucilagineux	DQ_097 : 1 jour de fermentation ; séché à l'ombre, provenance pas précisée, humide.
DQ_073 : 4 jours de fermentation, localité pas précisée, pas de séchage, mucilagineux	DQ_090 : pas fermenté, séché à l'ombre. Provenance pas précisée. humide

### Annexe 3. Description d'échantillons de l'année 2013 qui se regroupent

Echantillons à gauche de la figure 2	Echantillons à droite de la figure 2
DQ_051 : aucun traitement, provenance pas précisée, mucilagineux.	DQ_101 : provenance Medicilandia. Aucun traitement précisé, sec.
DQ_123. provenance de Tomé Açú, fermenté pendant 1 jour, mucilagineux.	DQ_142 : provenance de Placas, aucun traitement précisé, sec
DQ_140 : provenance de Tome Açú, aucun traitement précisé, mucilagineux.	DQ_135 : Placas, aucun traitement précisé, sec
DQ_035 : provenant de Tome Acu, 2 jours de fermentation, mucilagineux	DQ_130 : Placas, aucun traitement précisé, sec
DQ_144 : De Tome Acu, 2 jours de fermentation, mucilagineux	DQ_126 : provenance de Medicilandia, aucun traitement précisé, sec
DQ_107 : de Tome Acu, 3 jours fermentation, mucilagineux	DQ_145 : Placas, aucun traitement précisé, sec
DQ_125 : de Tome Acu , aucun traitement, mucilagineux	DQ_108 : Placas, aucun traitement précisé, sec

### Annexe 4 Tableau de la distribution du nombre de spectres dans 8 fèves

	Quantiles			Summary Statistics	
	100.0%	maximum	3402	Mean	2299,25
	99.5%		3402	Std Dev	659,71807
	97.5%		3402	Std Err Mean	134,66439
	90.0%		3245	Upper 95% Mean	2577,8245
	75.0%	quartile	2749	Lower 95% Mean	2020,6755
	50.0%	median	2246	N	24
	25.0%	quartile	1698,25		
	10.0%		1405		
	2.5%		1077		
	0.5%		1077		
0.0%	minimum	1077			