

# **ADAPTATION DU PROCESSUS DE FERMENTATION AUX CONTRAINTES LOCALES. APPLICATION AU CACAO DU SAMBIRANO DE MADAGASCAR**

F. Davrieux, J.J. Rakotomalala, S. Assemat, N. L. Raherinandrasana, I. Staub, F. Descroix

Cirad, St Pierre Réunion, Fofifa, Antananarivo, Madagascar, Cirad, St Pierre Réunion, Fofifa, Ambanja, Madagascar, Akessons-organic, Ambanja, Madagascar, Cirad St Pierre Réunion

## **RESUME**

Le cacao de Madagascar est réputé pour donner un chocolat fruité et aromatique. La production (4000-6000 tonnes) est concentrée dans la vallée du Sambirano. Le développement des traits de qualité et de saveur est lié à la variété de cacao, au type de sol, au climat, à la gestion des cultures et aux traitements post-récolte. La fermentation, en particulier, est considérée comme une étape clé dans le développement des arômes. Mais une grande partie de la production du Sambirano provient de petits producteurs avec de faibles quantités de cacao frais et pas d'installation pour les traitements post-récolte. Cette situation conduit à une absence ou à une mauvaise fermentation du cacao, ce qui entraîne une perte de qualité. L'objectif principal de cette étude était d'adapter la fermentation aux contraintes locales: faible volume de cacao frais et pas d'installation adaptée. Cette étude a été réalisée en utilisant le cacao de la plantation biologique Akesson à Ambanja. Au total, 80 échantillons ont été fermentés dans des conditions contrôlées. Trois fermenteurs différents ont été testés: des sacs, des bidons d'huile comestible et les bidons d'huile comestible isolés avec des feuilles de bananier. Chaque fermenteur a été testé pour 3 volumes de cacao: 5, 10 et 20 litres. Des échantillons de contrôle supplémentaires ont été fermentés dans les fermenteurs industriels d'Akesson. La qualité des fermentations a été estimée au travers des profils de températures de fermentation, du test à la coupe, de la couleur et des profils biochimiques et sensoriels. Les paramètres physiques de la fermentation (températures et rendement) et les critères biochimiques (polyphénols et azote ammoniacal) indiquent qu'une fermentation a bien eu lieu dans tous les cas. Les profils sensoriels montrent que la note qualité globale est similaire pour tous les cacaos, sans différence significative avec les contrôles, à l'exception de l'essai "Bidon-isolé - 20 litres" qui a été noté de moindre qualité en raison d'un goût alcoolique plus élevé. Ces résultats permettent le transfert de bonnes pratiques de fermentation aux agriculteurs, avec du matériel disponible partout à un prix minimum. Cette approche se traduira par une mise à niveau de la qualité, similaire aux plantations industrielles, et nous l'espérons, une croissance des revenus des petits agriculteurs.

## **INTRODUCTION**

A Madagascar, les premiers cacaoyers Criollo ont été introduits vers les années 1900. Le faible rendement, la sensibilité aux parasites et aux cyclones ont suscité la création des hybrides Trinitario, issus de croisement entre les variétés Criollo et Forastero, par l'IFCC dans les années 60. La sélection et la vulgarisation d'hybrides Trinitario a été poursuivie par le FOFIFA (Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural Malgache) dans les années 70-80. Durant cette période, les plantations coloniales cédèrent la place aux grandes sociétés privées et les petits exploitants malgaches commençaient à planter le cacaoyer. La disjonction des caractères dans ces descendances est telle que les vieilles cacaoyères malgaches sont encore actuellement occupées aussi

bien par les 3 variétés classiques, que par une multitude de génotypes intermédiaires. Du fait de l'effet terroir, le cacao de Madagascar est encore considéré comme étant parmi les meilleurs du monde. Cependant la production malgache reste faible (6000 tonnes, soit seulement 0,12% de la production mondiale). Aujourd'hui la culture du cacao est concentrée dans la vallée du Sambirano (95 % de la production malgache) qui se situe dans le Nord-Ouest de Madagascar, dans la région de Diana[1]. Avec 23 796 hectares, le verger cacaoyer du Sambirano, installé sous un couvert forestier, est réparti entre quelques dizaines de milliers de familles rurales et des plantations industrielles. Les paysans, sans encadrement depuis de nombreuses années, méconnaissent la culture cacaoyère et les procédés de transformation primaire. De plus, le manque d'organisation et d'infrastructure (route, unités de transformation) ne permettent pas une collecte efficace du cacao et donc un traitement collectif du cacao. Du fait de la faible production des exploitations familiales, le cacao est souvent vendu en frais ou mal fermenté et mal séché. Ce qui entraîne une baisse de la qualité générale des lots à l'exportation en dehors des lots des plantations industrielles. L'objectif principal de cette étude était d'adapter la fermentation aux contraintes locales: faible volume de cacao frais et pas d'installation adaptée pour le traitement post récolte.

## MATERIEL ET METHODE

### Matériel végétal

Pour cette étude 80 échantillons de cacaos de la plantation Akesson Organic, située à Ambaja dans le Sambirano à Madagascar, ont été fermentés dans des conditions contrôlées. Deux types d'échantillons ont été sélectionnés en fonction de la couleur des fèves fraîches à la coupe : Casse claire et Casse foncée en fonction du % de fèves par couleur. Par classe de couleur de fèves, 4 récoltes ont été faites, soit un total de 8 récoltes entre le 20 août et le 20 septembre 2014. Pour chaque récolte Les fèves fraîches (environ 100 kg récoltés) ont été mises à fermentées selon le plan d'expérience suivant :

- En sac avec 5, 10 et 20 litres de cacao (S5, S10 et S20)
- En bidon avec 5, 10 et 20 litres de cacao (B5, B10 et B20)
- En bidon isolé avec des feuilles de bananier avec 5, 10 et 20 litres de cacao (Bi5, Bi10 et Bi20)

En plus de ces échantillons, à chaque récolte un échantillon témoin, correspondant à la couleur de la récolte, a été récolté puis mis à fermenter dans un filet dans les conditions industrielles (caisses en bois en cascade, de 1 m<sup>3</sup>) au sein de la masse de cacao issue de la même parcelle.

En fin de fermentation les échantillons ont été séchés au soleil en couche de 1 cm d'épaisseur afin de ramener la teneur en eau à moins de 8%. Puis chaque échantillon a été trié manuellement pour retirer les corps étrangers les fèves abimées et les fèves plates. Les échantillons d'un même essai (couleur/fermenteur/volume) ont été ensuite regroupés en lot. En opérant ainsi, 18 lots ont été réalisés + 2 lots témoin, soit 20 échantillons d'environ 5 kg de fèves de cacao fermentées séchées.

### Fermentation

Le protocole industriel a été appliqué à tous les essais, à savoir : durée de fermentation 144 heures (6 jours) avec les rythmes de brassage suivants : 48 heures, 96 heures et 120 heures.

Pour chaque essai le poids de cacao frais, mis à fermenter, a été mesuré ainsi que le poids de cacao sec final. Ce qui a permis de calculer le rendement de chaque fermentation.

La température du cacao pendant la fermentation a été suivie à l'aide de capteurs (Thermo boutons IP65 -40/+85 +/-0.5, Laboratoires Humeau, France) avec un enregistrement toutes les deux heures. La température ambiante extérieure a également été suivie, pour chaque essai, avec le même rythme d'enregistrement, pendant toute la durée de fermentation. Toutes les fermentations ont été réalisées sur site de production, dans le même local, à l'abri des intempéries et des courants d'air. Les fermentations en sacs ont été réalisées dans des sacs en polypropylène, les fermentations en bidon ont été réalisées dans des bidons d'huile alimentaire (préalablement nettoyés de toutes traces d'huile) de 20 litres dont le fond a été percé de trous de 1 cm de diamètre espacés de 5 cm. Les fermentations en bidon isolés ont été conduites dans les mêmes types de bidons, placés dans un sac avec des feuilles de bananier entourant le bidon (fig.1). Dans tous les cas les cacaos mis à fermenter ont été couverts de feuilles de bananier pour minimiser les échanges de température. Les brassages ont été réalisés en vidant complètement le fermenteur et en le remplissant à nouveau dans un temps minimum afin d'éviter les pertes de température.

En fin de fermentation les lots de cacaos ont été séchés au soleil jusqu'à une teneur en eau < 8%. Le cacao sec a ensuite été stocké dans des sacs en tissu dans un local sec et ventilé, avant triage manuel et assemblage des lots.



Figure 1 : Fermentations en bidons, sacs et bidons isolés

### Analyses physico-chimique et sensorielle

La qualité de la fermentation a été évaluée par une épreuve à la coupe (cut test) à l'aide d'une guillotine (Dried Fruit Cutting unit, TESERBA, RÜTI, Suisse). Pour cela, 300 fèves sont analysées en 3 fois, soit 100 fèves par coupe, et le nombre (en %) de fèves violettes, 1/2 violettes, brunes, à casse claire, moisies, germées et attaquées par des insectes a été comptabilisé. Une mesure du grainage a été réalisée : les 300 fèves prélevées ont été pesées ( $\pm 0.01g$ ) et le poids (g) d'une fève a été calculé. Pour les analyses de couleur et en spectrométrie proche infrarouge (SPIR), 100 g de fèves par lot ont été décortiqués manuellement à l'aide d'un scalpel. Puis les fèves décortiquées ont été refroidies à l'azote liquide et broyées à l'aide d'un broyeur à lame (IKA A11, IKA®, Staufen, Allemagne). Les coordonnées trichromatiques (L, a, b) des poudres ainsi obtenues ont été mesurées à l'aide d'un Chromamètre CR-410C (Konica, Minolta). Les acquisitions SPIR ont été réalisées avec un spectromètre FOSS 6500 (Foss, Silver Spring, MD) en utilisant un module de mesure tournant et des cellules en quartz de 50 mm de diamètre. Environ 3 g de poudre de cacao a été analysé par réflexion diffuse pour la gamme de longueurs d'onde de 400 nm à 2500 nm avec un pas d'acquisition de 2 nm. Les spectres ont été enregistrés en tant que la moyenne de 32 balayages et stockés sous forme de  $\log(1/R)$  où R est la réflectance à chaque longueur d'onde. Pour chaque échantillon trois spectres ont été réalisés, la moyenne des trois spectres a été conservée pour la suite de l'étude.

Les teneurs en azote ammoniacal et en polyphénols ont été prédites sur la base des spectres SPIR en utilisant les équations de calibrages développées au CIRAD[2, 3].

Pour l'analyse sensorielle, les fèves de cacao ont été torréfiées 25 min à 125°C. Puis, après décorticage les cotylédons ont été malaxés dans un pétrin (Capco) à 45 °C pendant 30 min afin d'obtenir une liqueur homogène. Les liqueurs ont ensuite été raffinées (raffineur Exakt, <25µm) et conservées dans des flacons en verre foncé à 16°C avant dégustation. Les 20 échantillons de liqueurs ont été analysés 3 fois (répétitions) pour leur profil sensoriel (22 descripteurs dont 5 olfactifs et 17 saveurs) par 9 juges experts. Les notes moyennes par produit et juge ont été retenues pour la suite de l'étude.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Win-ISI IV (Infrasoft International, Port Matilda, PA) pour le traitement des spectres et le logiciel XLStat (Addinsoft, Paris, France) pour les analyses descriptives, les analyses de variance, les analyses en composantes principales, les classifications non supervisées et l'analyse des données sensorielles.

## RESULTATS

Les profils de températures (fig.1), quel que soit le fermenteur, sont conformes à ce qui est classiquement observée pour le cacao, avec une légère augmentation de la température en début de fermentation jusqu'au premier brassage (48h), correspondant à la fermentation (anaérobie). Suivie d'une brusque élévation de température due à la fermentation alcoolique (aérobie), la température maximale moyenne est de 49,2°C (sac 10L) et la température moyenne est de 37,3°C. Les profils sont similaires pour tous les types de fermenteurs en début de fermentation, donc pendant les phases les plus importantes.

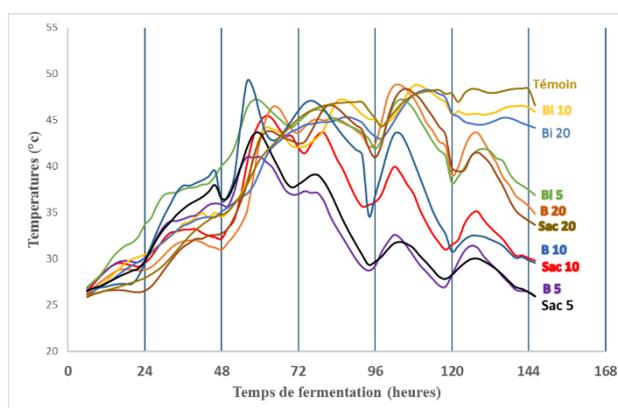


Figure 2 : Profils moyens des températures en cours de fermentation

Ces profils sont différents en fin de fermentation du fait de la quantité de cacao qui ne permet pas de maintenir le même volant thermique, surtout après brassage. Mais, même pour de faibles volumes (sac et bidon 5 litres), les reprises de températures après brassage sont nettes, témoignant d'une activité fermentaire. Les fermenteurs petits volumes (Bidon 5 litres) isolés se comportent comme les fermenteurs de 20 litres. L'épreuve à la coupe n'a pas relevé de fèves ardoisées, mitées ou moisies dans les 20 lots analysés. Les % de fèves violettes, claires ou brunes ne sont pas significativement différents entre les lots et les témoins (ANOVA à un facteur (type de fermenteur) et test de Newman-Keuls (SNK) au seuil  $\alpha$  de 5%). La même observation est faite pour les coordonnées trichromatiques des poudres. Le % moyen de fèves violettes est de 20%, celui de fèves claires est de 11% et celui de fèves brunes est de 69%.

La teneur moyenne en azote ammoniacal (NH<sub>3</sub>-N) observée en fin de fermentation est de 260 ppm. La teneur minimum est de 158 ppm (Bidon isolé, 20 litres) et la teneur maximum est de 299 ppm. Ces résultats confirment le bon déroulement de la fermentation quel que soit le type de fermenteur et le volume mis à fermenter. En effet, il est connu que les cacaos du Sambirano, fermentés 6 jours, présentent des teneurs en NH<sub>3</sub>-N de l'ordre de 300 ppm[3]. Ce paramètre, classiquement utilisé par les industriels pour estimer la qualité de la fermentation, correspond au stade ultime de la dégradation des protéines en cours de fermentation[4]. Les teneurs en NH<sub>3</sub>-N observées sont très peu dispersées avec un écart type de 30 ppm, ce qui correspond à des processus biochimiques similaires pour tous les essais réalisés. Cette observation est confirmée par une ANOVA à un facteur (type de fermenteur) associée à un test de Dunnett (bilatéral) avec les lots témoins comme référence, au seuil  $\alpha = 5\%$ . Il n'y a pas d'effet significatif du type de fermenteur sur la teneur finale en NH<sub>3</sub>-N et aucun lot de cacao ne présente de teneur significativement différente des lots témoins.

La teneur moyenne en polyphénols observée en fin de fermentation est de 12 mg/g. La teneur minimum est de 9,4 mg/g (Bidon isolé, 20 litres) et la teneur maximum est de 14 mg/g (bidon, 5 L). Pendant la fermentation la couleur du cotylédon passe du violet au brun en raison de l'oxydation et de la polymérisation des polyphénols dans les structures à haute molécules. Les polyphénols sont parmi les principaux métabolites secondaires[5], ils représentent jusqu'à 18% du poids sec sans graisse dans les graines non transformées. L'oxydation des flavan-3-ol (catechine, épicatechine et leurs dérivés[6]) sont responsables du changement de couleur des cotylédons. Les teneurs en polyphénols observées sont très peu dispersées avec un écart type de 1,5 mg/g, les fermentations se sont déroulées de façon identiques pour tous les types de fermenteurs. Une ANOVA à un facteur (type de fermenteur) associée à un test de Dunnett (bilatéral) avec les lots témoins comme référence, au seuil  $\alpha = 5\%$  confirme cette observation. Il n'y a pas d'effet significatif du type de fermenteur sur la teneur finale en polyphénols, aucun lot de cacao ne présente de teneur significativement différente des lots témoins.

Sur la base des notes moyennes des 9 juges pour les 22 descripteurs sensoriels, une analyse en composantes principales est réalisée, les 3 premières composantes principales expliquent 75.2% de variance totale des 20 lots. La représentation des échantillons selon le premier plan principal (66,2% de la variance totale) met en évidence (fig.3) une répartition des échantillons selon le sens des aiguilles d'une montre, allant des notes défavorables (végétal, astringent, boisé, amertume) pour les fermentation Bi5, S10, B10, aux notes fruits frais, acide floral et alcoolique pour les fermentations témoins et Bi20. Il n'y a pas de différences sensorielles (clusters) en fonction de la couleur de la casse des fèves.

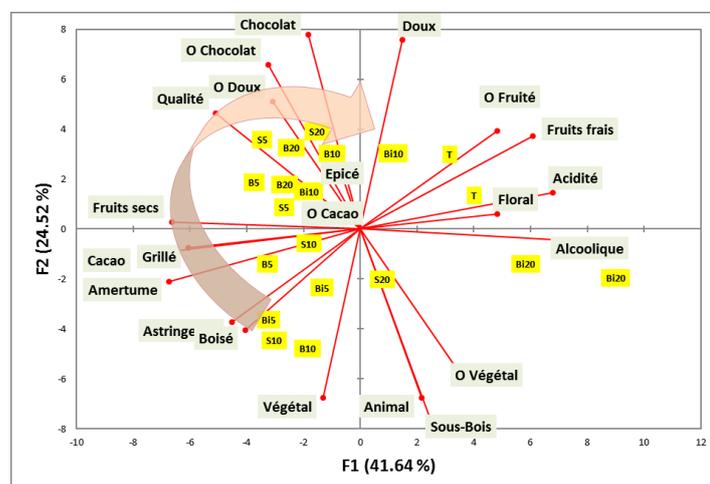


Figure 3 : Répartitions des différents lots selon le premier plan principal de l'ACP sur données sensorielles. (o, pour odeur, descripteurs olfactifs)

Les notes de qualité sont très resserrées (écart type de 0,5) avec une note moyenne de 6. Les notes des témoins (fermentation industrielle) sont respectivement 5,9 et 6,2 pour les fèves casse foncée et casse claire.

Le lot Bi20 (bidon isolé 20L, casse foncée) a obtenu la note de qualité la plus basse (4,2) et la note maximale (6,6) a été attribuée au lot B20 (bidon 20L, casse claire). Une ANOVA a un facteur (fermenteur) au seuil 5% couplée à un test de Dunnett (bilatéral) confirme ces observations, seul le lot Bi20 est significativement différent du témoin (fig.4).

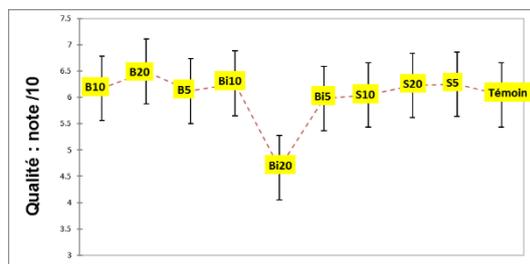


Figure 4 : Moyennes des notes sensorielles : qualité

Ces différents lots de cacao présentent des profils sensoriels très proches (fig.5) caractérisés par une note olfactive fruitée (5,4), une note gustatives cacao (5,1), un ratio acidité/amertume équilibré (1,04) et une absence de notes défavorables (notes < 1,5 pour : animal, boisé, sous-bois et alcoolique)

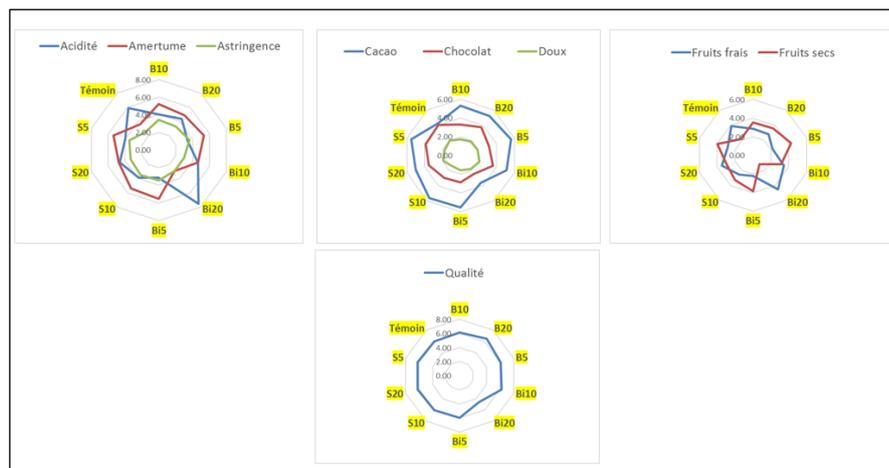


Figure 5 : profils sensoriels des 20 lots de cacao

## CONCLUSION

Cette étude montre que d'un point de vue physique (profils de températures de fermentation, couleurs et cut-test) les fermentations en petit volumes (5 litres) sont possibles et identiques aux fermentations industrielles. Il est, toutefois, préférable d'utiliser des bidons isolés pour des volumes inférieurs à 10 litres, afin de conserver un volant thermique suffisant. Ces observations sont confirmées par les paramètres chimiques, marqueurs du niveau de fermentation ( $\text{NH}_3\text{-N}$  et polyphénols). Les mécanismes biochimiques de la fermentation ont bien eu lieu.

Les profils sensoriels des chocolats obtenus à partir de ces différentes fermentations sont proches de ceux des lots fermentés en conditions industrielles (témoins). Aucune note de défaut de fermentation n'est ressortie. La note moyenne de qualité obtenue est satisfaisante (6.1) et surtout identique à la note du témoin.

## REFERENCES

1. Duchaufour H., R.T., Rakotoarisoa J., Ramamonjisoa B. et Rakotondravao (Editeurs Scientifiques) - (2016), *Recherche interdisciplinaire pour le développement durable et la biodiversité des espaces ruraux malgaches. Application à différentes thématiques de territoire. Actes du projet FSP PARRUR « Partenariat et Recherche dans le secteur RURal »*. Antananarivo SCAC/PARRUR. 2016. p. 400.
2. Davrieux, F., et al. *Determination of biochemistry composition of cocoa powder using near infrared spectroscopy*. in *Proceedings of Euro Food Chem XIV : Food quality, an issue of molecule based science, Paris, 29-31 August 2007*. 2007. Paris: SFC.
3. Hue, C., et al., *Near infrared spectroscopy as a new tool to determine cocoa fermentation levels through ammonia nitrogen quantification*. *Food Chem*, 2014. **148**: p. 240-5.
4. Hue, C., et al., *Impact of fermentation on nitrogenous compounds of cocoa beans (Theobroma cacao L.) from various origins*. *Food Chemistry*, 2016. **192**: p. 958-964.
5. Hue, C., et al., *Near infra-red characterization of changes in flavan-3-ol derivatives in cocoa (Theobroma cacao L.) as a function of fermentation temperature*. *J Agric Food Chem*, 2014. **62**(41): p. 10136-42.
6. Collin, S. and J. Crouzet, *Polyphénols et procédés: Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire*. 2011: Lavoisier.

**Ce document a été réalisé dans le cadre du projet INTERREG-V Qualinnov qui est cofinancé par l'Union européenne et la Région Réunion.**

