

INFLUENCE DE DIFFÉRENTS TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES SUR LA FERMENTATION DU CACAO ET LE GOÛT DU CHOCOLAT

J.-C. VINCENT

Ing. chim. Ind. Ag. Gx

*Section de technologie du Centre de recherches
de l'I. F. C. C. au Cameroun, avec la collaboration
pour la partie statistique de R. LORODÉ
Section de biométrie*

INTRODUCTION

L'écabossage des fruits du cacaoyer exige une main-d'œuvre importante qu'il serait plus intéressant d'affecter à l'opération de récolte. Une mécanisation s'impose, mais une étude préalable prévoyant les facteurs technologiques susceptibles d'influencer le processus de fermentation était nécessaire. Les résultats de cette étude sont présentés dans cet article.

Cette mécanisation comprend deux opérations : d'une part, l'écabossage proprement dit, qui ne présentera pas de grande difficulté technique et, d'autre part, la séparation des fèves et des débris de

cabosses, rendue plus ardue par la viscosité du mucilage qui entoure les fèves fraîches. Deux solutions sont proposées :

1. la séparation par flottation,
2. la séparation sur tamis vibrant.

Ces deux solutions ne sont pas sans aléas : la flottation des fèves dans l'eau risque de laver le mucilage ; la présence de débris de cabosses du même calibre que les fèves dans la masse en fermentation risque d'apporter des modifications biochimiques.

INFLUENCE DU LAVAGE DES FÈVES FRAÎCHES SUR LA FERMENTATION DU CACAO

La séparation des fèves et des débris de cabosses peut être envisagée par flottation dans l'eau, vu les

Hangar d'écabossage.

différences de densité existant entre ces débris (densité < 1) et les fèves fraîches pourvues de leur mucilage (densité > 1).

Cependant, ce mode de préparation peut soulever quelques objections importantes :

a) le glucose et le saccharose, principaux constituants glucidiques du mucilage (1), risquent d'être éliminés, ce qui rendrait difficile la fermentation alcoolique ;

b) les acides organiques à faible poids moléculaire, solubles dans l'eau, seraient éliminés également ;

c) la microflore bactérienne de l'eau risque de se substituer à la microflore ensemencant naturellement la pulpe.

Café Cacao Thé vol, XIV, n° 4, oct.-déc. 1970

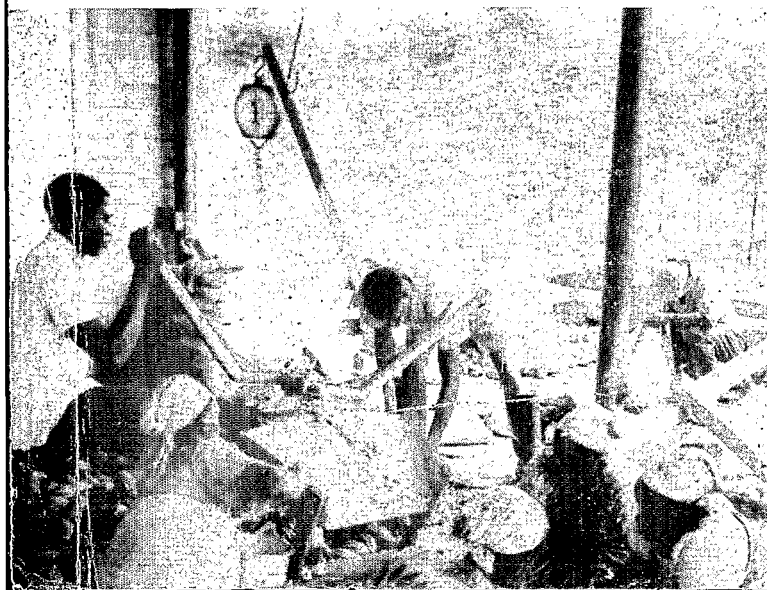
14 NOV. 1983

O. R. S. I. O. M. Fonds Documentaire

Cl. J. Liabeuf.

N° : 3696

Cote : B



En vue de contrôler ces hypothèses et de juger si un brassage sous eau serait une solution susceptible d'être retenue, des essais de lavage de fèves fraîches furent entrepris sur des masses de 250 kg. De telles masses peuvent être considérées comme étant traitées par une exploitation industrielle de semi-importance.

Conduite de l'essai

Les cabosses proviennent de différents clones de la Station cacaoyère de Nkoemvone (Sud-Cameroun) appartenant aux types Forastero et Trinitario. Cueillies bien mûres, les cabosses sont ouvertes à l'aide d'un gourdin de façon à éviter d'abîmer les fèves. Celles-ci sont versées dans une grande caisse à fond perforé, irriguées 10 mn par un jet d'eau, brassées et égouttées. Elles sont ensuite mises à fermenter en masses de 250 kg (poids avant arrosage).

La technique de fermentation suivie est celle en usage à la Station cacaoyère de Nkoemyone. Un premier brassage a lieu après 48 h, un deuxième après 96 h, ensuite toutes les 24 h. La durée totale de la fermentation est de sept jours. Après un ressuyage de 24 h à l'ombre, les fèves sont mises à sécher au soleil durant trois jours, ensuite sur séchoir Samoa. Le taux d'humidité est ramené en dessous de 7 %. Les échantillons prélevés après séchage sont conservés sous emballage en polyéthylène et expédiés au laboratoire.

Parallèlement à l'essai, des caisses sont remplies de 250 kg de fèves fraîches non lavées qui serviront de témoins. Trois répétitions sont mises en place.

Evolution de la température au cours de la fermentation

La fermentation du muclage comprenant une phase alcoolique et une phase acétique se traduit par une forte élévation de température. Les mesures de températures constituent donc des renseignements précieux, car ils permettent de juger de la vitesse et du degré d'avancement des réactions.

Il appert des courbes de température qu'elles appartiennent à une même famille et atteignent des niveaux identiques à ceux des courbes obtenues pour les fèves témoins. Les quantités de chaleur dégagées sont semblables.

Le lavage des fèves fraîches pratiqué n'est pas suffisant pour éliminer les sucres en proportion telle que la fermentation alcoolique ne puisse se déclencher. La crainte d'une substitution de microflo-

Revised: 11/2025

doit également être rejetée, la fermentation étant conforme à la normale (température, odeur des fèves, brunissement des coques).

Séchage-Humidité

A la sortie des bacs de fermentation, la teneur en eau des fèves est approximativement de 50 %. Pour obtenir une bonne conservation du cacao, il est indispensable de la ramener à un taux inférieur à 7 %. Le séchage naturel est le plus recommandé, mais devant l'insuffisance de la surface des nattes, à la suite d'une pointe de récolte importante, les fèves subirent, après un ressuyage de 24 h à l'ombre, un préséchage solaire et furent ensuite séchées au four Samoa. La conduite de ce four est difficile, car la chaleur est irrégulièrement répartie. La durée du séchage artificiel est de trois jours. Le cacao sortant est bien sec, puisqu'il est ramené à un taux d'humidité variant entre 5 et 6 %.

Calcul des rendements

Les rendements en cacao marchand sont donnés par la relation suivante :

$$R = \frac{\text{Poids du cacao fermenté et sec}}{\text{Poids de fèves fraîches} + \text{pulpe}} \times 100 \%$$

Rendement moyen pour les fèves témoins : 40,8 %.

Rendement moyen pour les fèves lavées : 37,4 %.

L'analyse statistique démontre l'inégalité significative des moyennes au niveau 0,05, mais pas au niveau 0,01.

Caractéristiques physiques du cacao marchand

Poids du litre

Poids moyen du litre des fèves témoins : 549,99 g.

Poids moyen du litre des fèves lavées : 504,26 g.

L'analyse statistique révèle que l'inégalité des moyennes est significative au niveau 0,05, mais pas hautement significative au niveau 0,01.

Poids moyen d'une fève

Poids moyen d'une fève témoin : 1,343 g.

Poids moyen d'une fève lavée : 1,311 g.

Le test de STUDENT permet de conclure à l'égalité des moyennes.

Nombre de fèves dans 100 g

Nombre moyen de fèves témoins/100 g : 75.

Nombre moyen de fèves lavées/100 g : 79.

L'analyse statistique établit l'égalité des moyennes au niveau 0,05.

Pourcentage de cotylédons

Le pourcentage moyen global des cotylédons des fèves témoins est de 86,54 % contre 87,16 % pour les fèves lavées. L'analyse statistique permet de conclure à l'égalité des moyennes au niveau de probabilité 0,05.

Indice de gonflement

L'indice de gonflement de VILLTROP (IG) est un témoin du bon gonflement des fèves et est donné par la formule :

$$IG = L + 10 e,$$

où L : longueur de la fève en mm,

e : épaisseur de la fève en mm.

Indice moyen de gonflement des fèves témoins 97,2.

Indice moyen de gonflement des fèves lavées 107,2.

Le test de STUDENT permet de conclure à l'égalité des moyennes des deux populations au niveau de probabilité 0,05.

Examen à la coupe (cut-test)

Méthode universellement utilisée par les services de conditionnement, l'examen à la coupe (cut-test) est toujours à l'heure actuelle un test donnant une assez bonne appréciation de la qualité de la fermentation. Les fèves de cacao sont coupées longitudinalement en deux moitiés dont l'une est réservée à l'examen. Le comptage se réalise sur trois cents fèves à l'aide de trois opérateurs travaillant chacun sur cent fèves. L'observation des fèves est réalisée à la lumière solaire. Dans le tableau I, nous avons repris les moyennes des résultats.

TABLEAU I

Caractéristiques des fèves

Caractéristiques des fèves	Fèves témoins %	Fèves lavées %
Brunes	54,4	67,6
Violettes	27,3	16,9
Demi-violettes	18,2	10,9
Moisies	0,0	0,3
Germées	0,1	4,3

Pourcentages globaux (fèves brunes + fèves demi-violettes) :

fèves témoins : 72,6 %,

fèves lavées : 78,5 %.

Les pourcentages de fèves ardoisées et mitées ne sont pas repris dans le tableau I, ils sont nuls (0,0 %).

Le lavage des fèves ne semble pas affecter le degré de fermentation, puisque le pourcentage global des fèves brunes et demi-violettes lavées est même supérieur à celui des fèves témoins. Ceci est assez étonnant, car le lavage tend à éliminer les sucres et les acides organiques. Il faut supposer que le lavage n'était pas suffisant pour faire disparaître ces substances et que l'eau accumulée avec le mucilage a permis au contraire la réalisation d'un milieu plus anaérobie. On constate cependant l'apparition de fèves germées (moyenne : 4,3 %), qui constituent un grave défaut, car, lors du stockage, le trou percé dans la coque par le germe sera un lieu de pénétration des moisissures. Il s'agit, en fait, d'une fausse germination due à un simple gonflement mécanique du germe.

Caractéristiques chimiques du cacao marchand

Teneur en cendres totales

Les résultats obtenus sont exprimés en % par rapport à la matière sèche.

L'obtention des cendres totales est réalisée par calcination au four à 600 °C jusqu'à poids constant.

TABLEAU II

Teneur en cendres totales

Parties anatomiques	Fèves témoins %	Fèves lavées %
Fèves entières	3,73	4,06
Cotylédons	3,28	2,77
Coques	10,23	10,86

L'analyse statistique nous permet de tirer les conclusions suivantes :

— pour les fèves entières, l'égalité des moyennes est établie au niveau de probabilité 0,05 ;

— il en est de même pour le dosage des cendres sur cotylédons ;

— égalité des moyennes des teneurs en cendres sur coques.

Dans les trois cas, on conclut à l'égalité des moyennes des résultats des teneurs en cendres

totales. Il faut donc considérer comme nul l'effet du lavage des fèves fraîches sur la teneur en cendres totales.

Dosage de l'azote total

Dans le tableau III sont rassemblées les moyennes générales des teneurs en azote total déterminées sur les différentes parties anatomiques des fèves.

Les matières azotées sont minéralisées par l'acide sulfurique sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. L'ammoniaque est ensuite distillé par entraînement à la vapeur dans un appareil de PARNAS et WAGNER, titré par une solution d'acide sulfurique N/100 avec le réactif de TASCHIRO.

TABLEAU III

Teneur en azote total des fèves

Parties anatomiques	Fèves témoins %	Fèves lavées %
Fèves entières	1,85	2,07
Cotylédons	1,56	1,72
Coques	3,45	3,59

L'analyse statistique permet de conclure que :

- pour l'analyse de l'azote total sur fèves entières, l'égalité des moyennes est établie ;
- l'égalité des moyennes des teneurs en azote total sur cotylédons est également prouvée ;
- il y a égalité des moyennes des teneurs en azote sur coques.

La conclusion finale pour la teneur en azote total des différentes parties anatomiques des fèves de cacao marchand est que le lavage des fèves fraîches n'a pas influencé significativement l'évolution des matières protidiques en quelque partie que ce soit de la fève.

Dosage de l'azote ammoniacal

Le dosage de l'azote ammoniacal a été effectué par la méthode de microdiffusion de CONWAY (2). Les moyennes générales ont été rassemblées dans le tableau IV et exprimées en p.p.m.

TABLEAU IV

Teneur des fèves en azote ammoniacal

Parties anatomiques	Fèves témoins (p. p. m.)	Fèves lavées (p. p. m.)
Fèves entières	382	461
Cotylédons	324	393
Coques	588	600

L'analyse statistique permet de conclure pour les différentes parties anatomiques à l'égalité des moyennes des teneurs en azote ammoniacal.

Dosage des matières oxydables par le permanganate de potassium

La méthode utilisée est celle de VON LILLIENFELD TOAL modifiée par NEIRINCKX et JENNEŃ (3). Les résultats sont exprimés en ml de $\text{KMnO}_4\text{N}/10$ pour 1 g de poudre sèche de cotylédon.

Cet indice de matières oxydables par le permanganate de potassium ne donne pas par lui-même une idée exacte de la teneur en substances tannantes, mais, utilisé comparativement, il constituera une indication du degré de fermentation. Les cacaos peu fermentés donnent des valeurs plus élevées que les cacaos bien fermentés.

Indice pour les fèves témoins : 8,38,

Indice pour les fèves lavées : 7,59.

De l'analyse statistique, il ressort qu'on ne peut établir une différence significative entre les indices des substances oxydables par le permanganate de potassium. Il faut remarquer également que les valeurs obtenues sont faibles, puisque inférieures à 9, ce qui indiquerait une tendance à une perte importante en polyphénols durant la fermentation.

Dosage des matières grasses

Le dosage des matières grasses a été obtenu sur cotylédons en utilisant l'éther de pétrole comme solvant (cf. méthode O. I. C. C.).

Les moyennes des résultats sont exprimées en % par rapport à la matière sèche :

cacao témoin : 53,36 %,

cacao lavé : 54,36 %.

Il appert de l'analyse statistique que l'égalité des moyennes est significative au niveau de probabilité 0,05. On ne peut donc considérer qu'il y ait une différence dans les teneurs en matières grasses des cacaos témoins et des cacaos dont les fèves fraîches subissent un lavage.

Conclusions

Au cours de la fermentation, l'évolution de la température au sein de la masse des fèves est identique pour les fèves témoins (fermentation normale) et les fèves lavées.

Les rendements (cacao marchand/fèves fraîches) des fèves témoins sont supérieurs de 3 % en moyenne.

Les caractéristiques physiques des cacaos lavés sont identiques à celles des cacaos témoins.

Les propriétés chimiques examinées sont conservées.

Le lavage n'est que superficiel ; l'élimination des sucres et des acides fut négligeable.

On note la présence de 4 % de fèves germées dans les cacao lavés. Cette germination est due à un phénomène purement mécanique de gonflement du germe (fausse germination, pas de géotropisme).

INFLUENCE DE LA PRÉSENCE DE DÉBRIS DE CABOSSES ET DE RACHIS SUR LA FERMENTATION

Deux difficultés majeures compliquent le problème de l'écabossage mécanique :

- 1) La diversité de la forme et du diamètre médian des cabosses.
- 2) La séparation des fèves et des coques rendue difficile par le placenta et le mucilage.

Etant donné ces difficultés, on peut supposer qu'une certaine quantité de débris de cabosses et de rachis passeront avec les fèves dans les caisses de fermentation. Face à cette éventualité, des débris de cabosses et de rachis (de teneurs pondérales variables et de différents calibres) furent mélangés à la masse de fèves en fermentation, en vue d'étudier leur influence sur la bonne marche de la fermentation et la qualité finale du cacao marchand.

Conduite de l'expérience

Les cabosses cueillies bien mûres sont ouvertes manuellement 24 h après la récolte. La technique de fermentation est celle en usage à la Station de Nkoemvone. La durée de fermentation a été de sept jours pour des masses de fèves fraîches de 250 kg. Des quantités pondérales de débris de cabosses et de rachis correspondant à 5 et 10 % de ces masses de fèves furent ajoutées. Ces débris étaient d'une part grossièrement hachés (environ huit morceaux par cabosse), d'autre part finement hachés (au moins quarante morceaux par cabosse).

Evolution de la température au cours de la fermentation

Des courbes de températures observées, on a pu constater que :

- l'allure des courbes est très semblable ; celles-ci appartiennent à une même famille ;
- les courbes d'élévation de température des fèves ayant subi une fermentation normale pré-

sentent peu de différence avec celles provenant des fèves avec un taux de 5 % de débris de cabosses ; — les fèves mélangées à 10 % de débris de cabosses présentent des courbes de température avec pentes plus importantes que les autres.

On peut dire que les débris de cabosses ont une influence sur l'évolution de la fermentation en favorisant un échauffement plus rapide de la masse de fèves, mais à partir d'un taux de 10 % seulement. En deçà de ce taux, les débris de cabosses ne jouent pas un rôle appréciable.

Séchage — Humidité

Comme dans le cas précédent, les fèves fermentées sont mises à ressuyer à l'ombre durant 24 h sur des nattes, séchées au soleil durant trois jours, et finalement ramenées à un taux de siccité inférieur à 7 % sur séchoir type Samoa.

Calcul des rendements

Le rendement est fourni par la relation indiquée dans le premier chapitre. Il est obtenu sans tenir compte des débris de cabosses.

TABLEAU V
Rendements

Caractéristiques	R %
Cacao témoin	38,0
Cacao + 5 % débris finement hachés	40,4
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	38,3
Cacao + 10 % débris finement hachés	33,3
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	30,2

Les différences de rendements sont assez importantes ; l'addition de 10 % de débris de cabosses

conduit à une diminution appréciable de rendements.

Caractéristiques physiques du cacao marchand

Poids du litre

TABLEAU VI
Poids du litre de fèves

Caractéristiques	Poids du litre (g)
Cacao témoin	566,1
Cacao + 5 % débris finement hachés.	529,4
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	531,2
Cacao + 10 % débris finement hachés	518,5
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	492,5

Le poids du litre de fèves issues du cacao témoin est sensiblement plus important que celui des fèves ayant fermenté avec les débris de cabosses, ce qui est en bonne relation avec les différences de rendements constatées précédemment.

Nombre de fèves dans 100 g

TABLEAU VII
Nombre de fèves dans 100 g

Caractéristiques	Nombre de fèves dans 100 g
Cacao témoin	78
Cacao + 5 % débris finement hachés	80
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	83
Cacao + 10 % débris finement hachés	83
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	87

Poids moyen d'une fève

TABLEAU VIII
Poids moyen d'une fève

Caractéristiques	Poids moyen d'une fève (g)
Cacao témoin	1,289
Cacao + 5 % débris finement hachés..	1,243
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	1,238
Cacao + 10 % débris finement hachés	1,263
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	1,242

Tout indique que les fèves les plus denses sont les fèves témoins : poids du litre plus important, nombre moindre de fèves dans 100 g et surtout poids moyen d'une fève beaucoup plus élevé.

Examen à la coupe (cut-test)

Selon les résultats des examens à la coupe donnés dans le tableau IX, il est clair que la présence de débris de cabosses ne gêne en rien le bon déroulement de la fermentation et la qualité du cacao marchand. Au contraire, le nombre de fèves violettes a fortement diminué au profit des fèves brunes et des fèves demi-violettes dans le cas des fèves fermentées en présence de 10 % de débris de cabosses.

Caractéristiques chimiques du cacao marchand

Teneurs en cendres totales exprimées en ‰

Sur les fèves entières, l'inégalité des moyennes est significative et même hautement significative (niveau de probabilité 0,05 et 0,01).

Les conclusions sont identiques pour les cotylédons et les coques.

TABLEAU IX

Résultats des examens à la coupe exprimés en % de fèves

Caractéristiques	Brunes	Violettes	Demi-violettes	Ardoisées	Moisies	Mitées	Germées
Cacao témoin	25,5	52,5	21,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Cacao + 5 % débris finement hachés	27,7	52,7	19,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	24,3	51,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cacao + 10 % débris finement hachés	25,7	35,0	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	64,2	12,7	23,1	0,0	0,0	0,0	0,0

TABLEAU X
Teneurs en cendres totales

Caractéristiques	Fèves %	Coty- lédons %	Coques %
Cacao témoin	4,53	4,20	10,12
Cacao + 5 % débris finement hachés	4,28	4,36	11,81
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	4,34	3,23	10,75
Cacao + 10 % débris finement hachés	4,06	2,91	10,33
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	5,67	2,93	11,53

Teneurs en azote total en % par rapport à la matière sèche

TABLEAU XI
Teneurs en azote total

Caractéristiques	Fèves %	Coty- lédons %	Coques %
Cacao témoin	1,59	1,44	3,47
Cacao + 5 % débris finement hachés	1,91	1,49	2,79
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	2,13	2,12	3,80
Cacao + 10 % débris finement hachés	1,93	1,74	3,74
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	1,87	1,59	3,48

Les résultats obtenus sont hétérogènes et on ne peut pas conclure que le fait d'ajouter les débris de cabosses ait une influence sur la teneur en azote total. Ceci signifierait qu'il y a exosmose normale des polyphénols contenus dans les cotylédons et que les matières tannantes des débris de cabosses n'ont pas pénétré à l'intérieur des fèves.

Teneurs en azote ammoniacal en p.p.m. par rapport à la matière sèche

TABLEAU XII
Teneurs en azote ammoniacal

Caractéristiques	Fèves p. p. m.	Coty- lédons p. p. m.	Coques p. p. m.
Cacao témoin	369	268	484
Cacao + 5 % débris finement hachés	520	326	348
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	335	292	735
Cacao + 10 % débris finement hachés	287	328	454
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	312	274	449

Les conclusions tirées pour le dosage de l'azote total sont valables pour celui de l'azote ammoniacal.

Teneurs en matières oxydables par le permanganate de potassium

TABLEAU XIII

Teneurs en matières oxydables par le permanganate de potassium

Caractéristiques	Indices
Cacao témoin	9,66
Cacao + 5 % débris finement hachés	8,71
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	8,07
Cacao + 10 % débris finement hachés	7,85
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	8,11

Il résulte de ces observations qu'il existe une différence significative entre la teneur en matières oxydables des fèves fermentées normalement et celle des fèves fermentées en présence de débris de cabosses et de rachis.

Ceci confirme ce qui était avancé plus haut : les tannins des débris de cabosses n'ont pas pénétré à l'intérieur des fèves en fermentation et au contraire, l'exosmose des polyphénols s'est réalisée normalement.

Conclusions

L'addition de débris de cabosses et de rachis dans les masses de fèves en fermentation ne nuit en rien au déroulement du processus. L'élévation de température est même plus rapide que dans les fermentations normales si l'addition est de l'ordre de 10 %. La température maximum est atteinte plus rapidement.

Les rendements des fèves fermentées en présence de 10 % de débris de cabosses sont plus faibles (différences pouvant aller jusqu'à 10 %).

Le poids du litre de fèves et le poids moyen d'une fève sont supérieurs dans le cas de fèves témoins.

L'examen à la coupe donne des fèves de meilleure qualité dans le cas du cacao fermenté en présence de 10 % de débris de cabosses.

Il est difficile d'établir des différences chimiques statistiquement significatives entre fèves témoins et fèves traitées. Cependant, le dosage des matières oxydables par le permanganate de potassium est en faveur des fèves fermentées en présence de débris de cabosses (fermentation plus poussée).

INFLUENCE DU LAVAGE DES FÈVES FRAÎCHES ET DE LA PRÉSENCE DE DÉBRIS DE CABOSSES ET DE RACHIS SUR LA FERMENTATION

Dans les deux premiers chapitres, l'influence de chacun des traitements (lavage des fèves fraîches et présence des débris de cabosses) a été étudiée séparément.

Dans cette troisième partie, les deux traitements ont été cumulés en vue d'analyser les répercussions éventuelles sur la fermentation, leur action n'étant pas forcément additive.

Du point de vue pratique, ceci correspondrait à une séparation imparfaite par flottation des fèves fraîches et des débris de cabosses, à la suite d'un écabossage mécanique.

Conduite de l'expérience

Comme précédemment, les cabosses bien mûres d'origine Forastero et Trinitario sont ouvertes manuellement après 24 h. Les fèves sont irriguées par un puissant jet d'eau et malaxées dans une cuve à fond perforé. Les bacs de fermentation sont remplis de 250 kg de fèves fraîches (pesées avant lavage) et de débris de cabosses correspondant à 5 et 10 % de ce poids. La fermentation est celle pratiquée habituellement à la Station de Nkoemvone (brassage des fèves après 48 et 96 h, ensuite toutes les 24 h), mais la durée n'est que de six jours. Après décuvage, les fèves sont laissées à ressuyer durant 24 h, mises à sécher trois jours au soleil et ensuite sur séchoir Samoa jusqu'à ce que le taux d'humidité soit ramené en dessous de 7 %.

Evolution de la température au cours de la fermentation

L'élévation de température du cacao témoin a été plus rapide que celle des cacaos des autres bacs,

surtout de ceux qui contenaient 5 % de débris de cabosses. La vitesse d'élévation de la température des fèves mélangées à 10 % de débris est comprise entre celle du témoin et celle des fèves contenant 5 % de débris. Il n'y a toutefois pas de modification dans la valeur du maximum de température.

Séchage - Humidité

Le séchage a eu lieu en trois étapes successives :

— un ressuyage de 24 h de façon à permettre aux réactions biochimiques internes de se poursuivre ;

— un séchage solaire d'une durée de trois jours, qui permet rapidement de diminuer fortement la teneur en eau et de continuer à développer les qualités organoleptiques des cacaos ;

— un séchage artificiel au four Samoa qui permet d'éliminer rapidement les quelques points d'eau restants.

Rendements

TABLEAU XIV
Rendements

Caractéristiques	Rendement %
Cacao témoin	42,4
Cacao + 5% débris finement hachés	40,4
Cacao + 5% débris grossièrement hachés	32,4
Cacao + 10% débris finement hachés	34,4
Cacao + 10% débris grossièrement hachés	38,4

Dans tous les cas où le cacao subit un traitement, on note une diminution de rendement qui peut aller jusqu'à 10 %. On doit donc admettre qu'il y a une perte en matière sèche par rapport au témoin.

Caractéristiques physiques du cacao marchand

Poids du litre, nombre de fèves dans 100 g, poids moyen d'une fève

Les moyennes générales des résultats obtenus sont colligées dans le tableau XV.

On constate que le traitement subi par les fèves durant la fermentation paraît affecter les qualités physiques du cacao marchand. Le poids moyen du litre est de loin plus important pour le témoin que pour les échantillons issus de fèves traitées.

TABLEAU XV

Caractéristiques physiques du cacao marchand

Caractéristiques	Poids du litre (g)	Nombre de fèves dans 100 g	Poids moyen d'une fève (g)
Cacao témoin....	566,1	78	1,289
Cacao + 5 % débris finement hachés	513,2	88	1,139
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés ...	465,8	77	1,323
Cacao + 10 % débris finement hachés	501,9	84	1,186
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés....	512,9	88	1,144

Pourcentage de cotylédons

Les teneurs en cotylédons ne varient guère avec le traitement. On ne peut considérer qu'il y ait des différences entre fèves témoins et fèves traitées.

Indice de gonflement

TABLEAU XVI

Indice de gonflement

Caractéristiques	Indice de gonflement
Cacao témoin	101,7
Cacao + 5 % débris finement hachés	99,0
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	100,5
Cacao + 10 % débris finement hachés	99,2
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	100,5

Le traitement appliqué aux fèves fraîches semble jouer sur le gonflement final des fèves marchandes. Dans tous les cas de traitement, le gonflement est moindre.

Examen à la coupe (cut-test)

Dans le tableau XVII, les fèves ardoisées, mitées et moisies ne sont pas signalées, leur pourcentage étant nul (0,0 %).

TABLEAU XVII

Examen à la coupe (% de fèves)

Caractéristiques	Brunes	Demi-violettes	Violettes	Germées
Cacao témoin	74,3	18,7	7,0	0,0
Cacao + 5 % débris finement hachés	45,3	23,3	29,0	2,3
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	57,2	25,5	16,2	1,0
Cacao + 10 % débris finement hachés	51,7	25,0	20,3	3,0
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	83,3	9,0	6,7	1,0

Les résultats de cet examen à la coupe sont très hétérogènes quant aux fèves brunes et violettes.

Dans l'ensemble, les fèves traitées donnent un nombre inférieur de coupes à coloration brune, bien que les fèves issues du traitement à 10 % de débris donnent des résultats aussi satisfaisants que les fèves témoins.

Dans tous les cas de fèves traitées, il faut noter la présence de fèves germées. Nous avons vu dans la première partie que ce phénomène était dû au lavage, l'eau provoquant un phénomène de gonflement mécanique sur le germe.

Caractéristiques chimiques du cacao marchand

Teneurs en cendres totales

Seules les moyennes des résultats rapportés à la matière sèche figurent dans le tableau XVIII.

TABLEAU XVIII

Teneurs en cendres totales

Caractéristiques	Fèves entières %	Cotylédons %	Coques %
Cacao témoin	3,30	2,62	10,08
Cacao + 5 % débris finement hachés	4,08	2,66	9,75
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés..	3,43	2,88	9,81
Cacao + 10 % débris finement hachés	3,79	2,54	10,36
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés..	3,24	2,66	10,90

Les résultats sont hétérogènes d'un échantillon à l'autre, mais on ne peut conclure à l'influence du traitement sur la teneur en cendres totales du cacao marchand.

Teneurs en azote total

Les moyennes des résultats sont exprimées en pourcentage par rapport à la matière sèche.

De nouveau, on constate une hétérogénéité des résultats. Les moyennes des teneurs en azote total sur les fèves entières présentent des différences significatives entre elles. Les fèves traitées ont des teneurs en azote total supérieures à celles des fèves témoins, mais connaissent des écarts importants.

TABLEAU XIX

Teneurs en azote total

Caractéristiques	Fèves entières %	Coty-lédons %	Coques %
Cacao témoin	1,78	1,47	3,59
Cacao + 5 % débris finement hachés	2,09	1,77	3,66
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés.	1,92	1,50	3,35
Cacao + 10 % débris finement hachés	1,82	1,53	2,96
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés.	1,82	1,58	3,40

Teneurs en azote ammoniacal

Les moyennes des teneurs en azote ammoniacal sont exprimées en p.p.m. par rapport à la matière sèche.

TABLEAU XX

Teneurs en azote ammoniacal

Caractéristiques	Fèves entières p. p. m.	Coty-lédons p. p. m.	Coques p. p. m.
Cacao témoin	434	369	597
Cacao + 5 % débris finement hachés	242	217	400
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés ..	343	253	340
Cacao + 10 % débris finement hachés	286	276	365
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés ..	366	343	300

La teneur en azote ammoniacal des cacaos traités est inférieure à celle du témoin, que ce soit sur cotylédons, coques ou fèves entières. On sait que la teneur en azote total diminue avec l'état

d'avancement de la fermentation. De même, en fonction du degré de fermentation, il y a augmentation de la quantité d'ammoniaque dans les amandes par endosmose, mais également par protéolyse et libération de NH_3 à partir des acides aminés et des amides.

Nous sommes donc avec les cacaos traités dans une phase moins avancée de fermentation.

Teneurs en matières oxydables par le permanganate de potassium

Les indices d'oxydation moyens sont repris dans le tableau XXI par rapport à la matière sèche.

TABLEAU XXI

Teneurs en matières oxydables par le permanganate de potassium

Caractéristiques	Indice d'oxydation
Cacao témoin	8,07
Cacao + 5 % débris finement hachés	7,36
Cacao + 5 % débris grossièrement hachés	7,03
Cacao + 10 % débris finement hachés	7,83
Cacao + 10 % débris grossièrement hachés	7,64

Les différences entre moyennes sont significatives au niveau de probabilité 0,05.

Conclusions

L'effet des traitements cumulés du lavage des fèves fraîches et de la présence de débris de cabosses et de rachis a retardé le déclenchement de la fermentation alcoolique, mais par la suite ce retard a été comblé et finalement le maximum des températures est atteint plus rapidement par ces fèves.

Les rendements des cacaos traités sont inférieurs au témoin.

Le poids moyen du litre et le poids moyen d'une fève sont inférieurs pour les cacaos traités.

Le gonflement des fèves est légèrement inférieur par rapport au témoin.

La qualité des fèves à la coupe est moindre pour les fèves traitées, mais c'est surtout la présence de fèves germées qui gêne. Cette germination est due au lavage.

Les tests chimiques indiquent une fermentation moins poussée dans le cas des cacaos traités, sauf pour les teneurs en matières oxydables.

RÉSULTATS DES DÉGUSTATIONS DES CHOCOLATS ISSUS DES ESSAIS PRÉCÉDENTS ET INTERPRÉTATION STATISTIQUE

La préparation et la dégustation des chocolats ont été assurées par le personnel du laboratoire de technologie de l'I. F. C. C. à Nogent-sur-Marne (utilisation du test triangulaire).

Le système de classement par point est le suivant :

1. Echelle des goûts et saveurs

Cotation 0	absence
Cotation 1	très faible
Cotation 2	faible
Cotation 3	net
Cotation 4	prononcé
Cotation 5	très prononcé

2. Echelle de l'appréciation synthétique

Cotation 1	très bon
Cotation 2	bon
Cotation 3	acceptable
Cotation 4	médiocre
Cotation 5	mauvais

L'analyse statistique porte sur l'influence de l'adjonction de débris de cabosses et de rachis dans la masse en fermentation avec ou sans lavage des fèves fraîches sur la qualité finale du chocolat.

Analyse des notes de synthèse

Les notes de synthèse, cotées de 1 à 5 comme ci-dessus, présentent une grande variation sur un même échantillon selon les dégustateurs. Ceux-ci ayant des goûts essentiellement variables, leurs appréciations étant plus ou moins nuancées s'étendent sur la gamme complète ou sur une partie de l'échelle et dans ce cas, ce segment a une position par rapport à la moyenne variant avec leur sévérité.

On ne peut donc analyser directement les cotations, car on aboutirait à des variances résiduelles

trop grandes empêchant toute différence, quelle qu'elle soit, d'être significative.

Il est possible d'éliminer partiellement ces causes de variation en utilisant comme donnée, non plus la cote mais le rang d'un échantillon suivant le dégustateur.

A l'aide d'une formule complexe, la distribution des rangs est transformée en une distribution de valeurs, normale, de moyenne nulle et de variance unitaire (4). Sur ces valeurs transformées, il est alors possible d'effectuer une analyse de variance classique.

Description succincte du traitement subi par les échantillons :

49/65. Témoin, sept jours de fermentation avec brassages après 48 et 96 h, ensuite toutes les 24 h; séchage mixte (solaire + artificiel);

50/65. Traitement identique, mais avec adjonction lors de la fermentation de 12,5 kg de débris de cabosses finement hachés ;

51/65. Traitement identique, mais avec adjonction de 12,5 kg de débris de cabosses grossièrement hachés ;

52/65. Traitement identique, mais avec adjonction de 25 kg de débris de cabosses finement hachés ;

53/65. Traitement identique, mais avec adjonction de 25 kg de débris de cabosses grossièrement hachés.

Les échantillons 54/65, 55/65, 56/65, 57/65, 58/65 ont subi respectivement les mêmes traitements que 49/65, 50/65, 51/65, 52/65 et 53/65, mais avec un lavage préalable des fèves avant fermentation.

Les échantillons sont au nombre de dix et numérotés de 49/65 à 58/65.

Les douze dégustateurs sont numérotés de 1 à 12.

Dans le tableau XXII ne sont consignées que les notes accordées par les différents dégustateurs.

TABLEAU XXII
Notes de synthèse

E	D											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
49-65	3,0	2,0	4,0	3,0	3,0	4,0	3,5	2,0	3,5	3,0	3,0	2,0
50-65	3,5	4,0	5,0	4,0	4,0	5,0	2,5	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0
51-65	3,0	3,0	5,0	4,0	2,0	4,0	2,0	2,0	3,5	4,0	4,5	3,5
52-65	3,5	3,5	4,0	4,0	2,0	3,0	2,5	2,0	2,5	5,0	2,0	3,0
53-65	4,0	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	2,5	5,0	1,5	4,0	3,0	4,0
54-65	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	5,0	2,0	5,0	2,0	3,0
55-65	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	3,0	2,0
56-65	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0	4,0	1,5
57-65	4,0	2,5	4,0	2,0	4,5	2,0	3,5	5,0	1,5	5,0	4,0	1,5
58-65	4,0	1,0	2,0	2,0	3,5	1,0	3,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0

L'égalité des variances est acceptée au niveau de probabilité 0,05 (test de HARTLEY, rapport des variances extrêmes 6,54 pour une valeur tabulée $\neq 8$).

Trois facteurs sont contrôlés :

- le dégustateur (D) 12 ;
- l'influence des débris (A) (cinq traitements : témoin (1), 5 (2) et 10 % (4) de débris de cabosses finement hachés ; 5 (3) et 10 % (5) de débris de cabosses grossièrement hachés) ;
- le lavage (B) (deux traitements : avec ou sans lavage).

TABLEAU XXIII

Analyse de la variance

Source de variation	S. C. E.	D. L.	C. M.
Totale	86,423 1	119	
Facteur A	2,556 1	4	0,639 0
Facteur B	5,333 2	1	5,333 2
Facteur D	0,000 0	11	
Interaction A \times B	10,000 0	4	2,500 0
Interaction A \times D	27,108 1	44	0,616 1
Interaction B \times D	11,460 2	11	1,041 8
Résiduelle	29,965 5	44	0,681 0

S. C. E. : somme des carrés des écarts.

D. L. : degré de liberté.

C. M. : carré moyen.

	Calculé	Table 5 %	Table 1 %
FA	0,94	2,58 N. S.	3,49
FB	7,83	4,06 S.	7,25 H. S.
FA \times B	3,67	2,58 S.	3,78
FA \times D	0,90	1,65 N. S.	
FB \times D	1,53	2,01 N. S.	

N. S. : Non significatif.

S. : Significatif.

H. S. : Hautement significatif.

Il ressort que le mélange à la masse en fermentation des débris de cabosses aux doses de 5 à 10 %, que ceux-ci soient finement ou grossièrement hachés, ne donne pas de différence significative dans les goûts.

Par contre, le lavage préalable des fèves améliore nettement le goût.

Par ailleurs, on constate que l'interaction A \times B est significative. Les plus gros écarts entre les moyennes apparaissent dans le cas de l'adjonction de 12,5 kg de débris finement hachés et de 25 kg de débris grossièrement hachés. Cette interaction n'est pas significative au seuil 1 %. On peut raisonnablement ne pas en tenir compte.

Analyse des cotations

Nous ne reproduisons pas ici les tableaux de cotations, ce qui serait fastidieux pour le lecteur et ne donnons que les conclusions.

Analyse des cotations « amertume »

L'adjonction de débris de cabosses et le lavage n'ont pas d'influence sur l'amertume.

Analyse des cotations « astringence »

Le lavage des fèves préalable à la fermentation diminue nettement l'astringence du chocolat.

Analyse des cotations « acidité »

Le lavage diminue très nettement l'acidité. La valeur calculée de F est de 39,86 pour des valeurs tabulées de 4,06 au niveau 5 % et de 7,25 au niveau 1 %.

Analyse des cotations « arôme »

Il n'y a pas d'influence de la part des traitements, sauf pour l'interaction A \times B (lavage et 10 % de débris), ce qui est inexplicable.

TABLEAU XXIV

Influence des traitements sur les qualités organoleptiques du chocolat

	Lavage (B)	Débris (A)	Interaction (A \times B)
Amertume	N. S.	N. S.	N. S.
Astringence	H. S.	N. S.	N. S.
Acidité	H. S.	H. S.	N. S.
Arôme	N. S.	N. S.	S. (non explicable)
Synthèse	H. S.	N. S.	S. (non explicable)

L'amertume et l'arôme ne sont pas influencés par les traitements. L'astringence est nettement atténuée par le lavage des fèves fraîches avant fermentation, ainsi que l'acidité.

L'acidité est influencée par la présence de débris, mais sans logique apparente.

La note de synthèse semble surtout dépendre de l'astringence et de l'acidité.

Conclusions

L'addition de débris de cabosses et de rachis aux masses de fèves en fermentation ne gêne pas le déroulement de la fermentation ; l'élévation de température est même plus rapide si la teneur est de l'ordre de 10 %. Les rendements sont cependant plus faibles ainsi que le poids moyen de la fève.

La fermentation des fèves semble plus poussée en présence de débris de coques ainsi qu'en attestent l'examen à la coupe et la teneur en matières oxydables. Cependant, on ne décèle aucune différence sur le goût du chocolat. Ce traitement ne constitue une gêne que dans la mesure où les rendements (cacao marchand/fèves fraîches) diminuent, surtout pour une teneur de l'ordre de 10 % en débris.

Le lavage ne nuit pas au processus de fermentation. Les seuls griefs que l'on peut faire à ce traitement sont la légère diminution des rendements et la présence de 4 % de fèves germées à la suite du gonflement du germe (action purement mécanique). Par contre, l'amélioration du chocolat résultant de ce traitement est très nette et est marquée par une forte atténuation de l'astringence et de l'acidité.

INFLUENCE DE LA DURÉE DE FERMENTATION ET DE LA FRÉQUENCE DES BRASSAGES SUR LA QUALITÉ DU CACAO

Deux des plus importants facteurs qui influencent la fermentation du cacao sont la durée de celle-ci et la fréquence des brassages. La doctrine recommandée au Cameroun consiste jusqu'à présent en une fermentation de six jours avec brassage des fèves tous les deux jours.

Il est toutefois bien difficile de fixer un programme général précis, car la fermentation dépend de nombreux facteurs, tels que l'origine génétique des fèves, l'état de maturité (quantité plus ou moins grande de sucres dans la pulpe), le volume de fèves, l'aération, les conditions climatiques, l'ensemencement de la pulpe par les micro-organismes, etc...

Dans cette étude, la durée de fermentation et la fréquence des brassages ont porté sur des masses de 250 kg de fèves fraîches et l'influence de ces deux facteurs sur la qualité finale du cacao a été étudiée.

Description de l'essai

L'essai a été mené durant cinq, six, sept et huit jours de fermentation sur des masses de 250 kg de fèves fraîches.

Les fréquences de brassages sont les suivantes : un premier brassage après 48 h, un second après 96 h ; ensuite un brassage toutes les 24 h.

La fermentation s'est déroulée en caisse cubique de 70 cm d'arête (parois en bois de 3 cm d'épaisseur) à la Station cacaoyère de Nkoemvone. Le fond est perforé d'une vingtaine de trous de 8 mm de diamètre pour permettre l'écoulement des jus et l'aération de la masse de fèves.

Après mise en place des fèves, on les recouvre par des feuilles de bananier.

Examens physiques et chimiques des fèves marchandes

Examen à la coupe (cut-test)

Les résultats sont exprimés en % dans le tableau XXV. Notons qu'il est parfois difficile de distinguer les fèves demi-violettes des fèves brunes ; aussi a-t-on porté également la somme des fèves répondant à ces caractéristiques.

L'examen a porté sur un échantillon moyen de trois cents fèves.

TABLEAU XXV

Examen à la coupe
(caractéristiques exprimées en %)

Caractéristiques	5 jours	6 jours	7 jours	8 jours
Brunes	31,3	61,3	37,3	54,3
	13,3	35,3	41,0	54,1
	22,3	48,3	39,1	54,2
Demi-violettes	41,1	26,3	32,7	29,6
	32,3	39,7	50,0	36,5
	36,7	33,0	41,3	33,0
Violettes	26,9	10,3	27,3	12,6
	54,3	23,7	8,0	7,6
	40,6	17,0	17,6	10,3
Ardoisées	—	—	—	—
	—	—	—	—
	0,0	0,0	0,0	0,0
Brunes + 1/2 violettes	59,0	81,3	80,4	87,2

Les différences entre cinq et six jours de fermentation sont nettes. Le nombre de fèves brunes augmente fortement et le nombre de fèves violettes diminue pour 24 h supplémentaires de fermentation.

Entre six et sept jours, les différences sont peu sensibles. Une durée de huit jours de fermentation augmente encore le nombre de fèves brunes et la teneur en fèves violettes est abaissée, mais les différences bien que sensibles sont faibles.

Aucune fève violette compacte n'a été décelée. On peut considérer que six jours de fermentation constituent une durée minimum pour obtenir une fermentation convenable.

Évolution des pourcentages des différentes parties histologiques des fèves

TABLEAU XXVI

Evolution des pourcentages des parties histologiques des fèves

Parties histologiques	5 jours	6 jours	7 jours	8 jours
Amande	86,5 86,9 86,7	87,4 87,2 87,3	86,6 86,2 86,4	87,3 87,0 87,1
Coque	12,5 12,0 12,2	12,0 12,2 12,1	12,8 12,5 12,6	12,4 12,3 12,3
Germe	0,9 0,8 0,8	0,7 0,8 0,7	0,7 0,7 0,7	0,7 0,7 0,7

Il n'apparaît aucune variation des teneurs en l'une quelconque des parties histologiques de la fève de cacao au cours de la fermentation.

Évolution des matières oxydables

TABLEAU XXVII

Indice des matières oxydables par le permanganate de potassium sur matière sèche

5 jours	6 jours	7 jours	8 jours
8,43 8,25 8,34	7,85 8,36 8,10	7,98 8,18 8,08	7,71 8,35 8,03

Les teneurs en matières oxydables diminuent en fonction de la durée de fermentation, mais les différences entre six, sept et huit jours sont faibles. De nouveau, une durée de six jours de fermentation doit être considérée comme minimum.

Quelques caractéristiques physiques

Il est bien difficile de tirer des conclusions de ces résultats, les différences n'étant pas significatives.

Cependant pour le gonflement, il semble que les meilleurs résultats soient obtenus pour six et sept jours de fermentation.

TABLEAU XXVIII

Caractéristiques physiques

Caractéristiques	5 jours	6 jours	7 jours	8 jours
Poids du litre en g	540,4 533,9 537,1	504,5 534,4 518,4	520,1 530,9 525,5	511,6 510,1 510,8
Poids de 100 fèves en g	133,7 149,0 141,3	144,8 135,1 139,9	135,5 138,7 137,1	146,3 139,6 142,9
Nombre de fèves dans 100 g	74 67 70	70 75 72	76 73 74	69 72 70
Indice de gonflement	101,1 n. d. 101,1	112,6 103,0 107,8	109,9 110,6 110,2	92,5 107,5 102,5

n. d. : non déterminé.

Évolution des teneurs en azote ammoniacal des fèves

TABLEAU XXIX

Teneurs en azote sur matière sèche exprimées en p.p.m.

Répétitions	5 jours	6 jours	7 jours	8 jours
1	158	171	208	307
2	137	128	222	261
\bar{X}	147	149	215	284

Des différences importantes apparaissent le septième jour de la fermentation. Au cours de celui-ci, il se produit une protéolyse qui provoque la formation d'azote ammoniacal et d'autre part, il y a endosmose d'ammoniaque. L'augmentation de cette forme d'azote peut donc constituer un indice du degré d'avancement de la fermentation. Une durée de sept jours semble convenir, car si elle est supérieure, il y a risque de fermentation anormale avec formation de goûts et d'odeurs désagréables.

Tests organoleptiques sur chocolat

Description de la méthode utilisée

Lors de l'essai de dégustation, on a combiné la durée de fermentation avec deux modalités de traitement supplémentaire : séchage mixte et lavage des fèves avant fermentation.

L'expérience se présente donc ainsi :

— premier facteur contrôlé D = huit dégustateurs,

— deuxième facteur contrôlé C = six méthodes de préparation :

- 1) cinq jours de fermentation, séchage solaire,
- 2) six jours de fermentation, séchage solaire,
- 3) sept jours de fermentation, séchage solaire,
- 4) huit jours de fermentation, séchage solaire,
- 5) sept jours de fermentation, séchage solaire durant trois jours, ensuite au four Samoa,
- 6) sept jours de fermentation avec lavage préalable, séchage solaire, puis séchage au four Samoa.

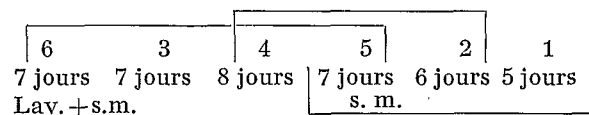
Pour chaque combinaison de ces deux facteurs, deux répétitions permettent une analyse factorielle.

Analyse de la note de synthèse

Le facteur C est hautement significatif, tandis que l'interaction C × D n'est pas significative.

Le test de KEULS (5) permet de séparer les différentes moyennes.

Le graphe suivant nous indique le classement par ordre décroissant de qualité :



s. m. = séchage mixte.

Les durées de sept et huit jours de fermentation ne présentent pas de résultats différents.

Les traitements sept jours de fermentation + lavage préalable + séchage mixte et sept jours de fermentation sont supérieurs à ceux comportant cinq à six jours de fermentation.

Une durée de huit jours de fermentation donne des résultats supérieurs à cinq jours de fermentation.

Analyse de la note « amertume »

Le facteur C est tout juste significatif.

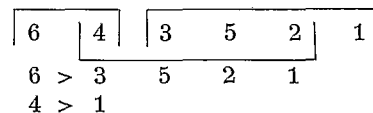
Le test de KEULS, un peu trop sévère, ne montre pas de différence significative. La méthode 4 (huit jours de fermentation) donne un résultat supérieur aux méthodes 1 et 2 (cinq et six jours de fermentation), mais le petit nombre de dégustateurs ne permet pas de les séparer nettement.

Analyse de la note « astringence »

L'interaction C × D est à la limite de la signification au seuil 5 % ; elle est secondaire.

Le traitement C est hautement significatif (FC = 6,74 pour une valeur théorique de 3,43 au seuil 1 %).

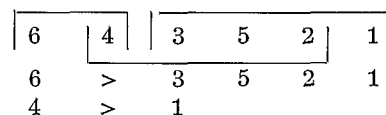
Le test de KEULS conduit au graphe suivant :



Analyse de la note « acidité »

Le traitement C influence l'acidité du cacao d'une manière hautement significative (valeur du F calculé = 5,32 pour une valeur théorique de 3,43 au seuil 1 %).

Le classement des moyennes par le test de KEULS donne :



Analyse de la note « arôme »

Le traitement C est hautement significatif (valeur calculée de F = 3,52 pour une valeur tabulée de 3,43 au seuil 1 %).

L'arôme obtenu avec le traitement 6 est supérieur à celui des traitements 1, 2 et 4, mais est identique à celui des traitements 3 et 5.

En résumé, les graphes obtenus donnent :

	Traitements						
Amertume	4	6	3	5	1	2	S.
Astringence	6	4	3	5	2	1	H. S.
Acidité	6	4	3	5	2	1	H. S.
Arôme	6	5	3	4	2	1	H. S.
Synthèse	6	3	4	5	2	1	H. S.

Toutes les caractéristiques sont influencées par la durée de fermentation d'une façon hautement significative, sauf l'amertume (S), et l'ordre est sensiblement le même à chaque fois.

Le traitement 6, comprenant sept jours de fermentation, un lavage préalable des fèves fraîches et un séchage mixte, se révèle le meilleur système. C'est surtout le lavage qui influence la qualité, comme on l'a démontré antérieurement, par diminution de l'astringence et de l'acidité.

Des durées de fermentation de cinq et six jours sont des minima. La durée convenant le mieux est celle de sept jours.

Conclusions

Une durée de sept jours de fermentation est l'optimum à réaliser pour obtenir un cacao de qualité. En dessous de cette durée, les qualités physiques, chimiques et organoleptiques vues ci-

dessus baissent. Au-delà, bien que huit jours de fermentation donnent un cacao convenable, le risque de développement de moisissures s'accroît et la perte en matière sèche augmente. De plus, un cacao trop fermenté se conservera moins bien (apparition plus rapide de fèves moisies).

INFLUENCE DE LA FRÉQUENCE DES BRASSAGES LORS DE LA FERMENTATION SUR LA QUALITÉ DU CACAO

L'aération des fèves en fermentation est un facteur important du bon déroulement de celle-ci. Dans un essai orientatif, nous avons déjà montré combien le simple fait d'augmenter le nombre de trous dans les caisses de fermentation permettait une élévation de la température plus rapide et une amélioration très nette de la qualité du cacao marchand (6).

Si les levures travaillent en milieu anaérobie pour fournir de l'alcool à partir des sucres, la présence d'oxygène est cependant nécessaire à leur multiplication. La pulpe issue de la cabosse est stérile ; l'ensemencement se réalise à l'air libre par l'apport de micro-organismes présents dans l'air, sur les mains des hommes chargés de l'écabossage et surtout dans les cuves de fermentation. Une importante multiplication des levures doit être réalisée avant que celles-ci ne travaillent au catabolisme des sucres.

La transformation de l'éthanol en acide acétique nécessite également une phase oxydative. Enfin, les polyphénols subissent une oxydation pour donner des produits de dégradation qui se combineront avec ceux provenant des protéines. Une oxydation est donc indispensable à différents stades de la fermentation.

De plus, le brassage des fèves permet une suspension uniforme des microbes et la vitesse de transfert à la masse du produit à métaboliser peut ainsi être accélérée.

Description de l'essai

Dans le premier chapitre, une durée de sept jours de fermentation a été considérée comme optimum.

Dans cet essai, la durée de sept jours sera conservée ; on ne fera varier que les fréquences de brassage.

Quatre modes de brassage sont examinés (deux répétitions) :

- 1) brassage toutes les 24 h ;
- 2) brassage toutes les 48 h ;

3) brassage après 48 h et 96 h, ensuite toutes les 24 h ;

4) brassage après 24 et 48 h, ensuite toutes les 48 h.

Examens physiques et chimiques des fèves marchandes

Examen à la coupe

TABLEAU XXX
Examen à la coupe

T	Caractéristiques				
	Brunes	Demi-violettes	Violettes	Moisies	Mitées
1	12,5	35,0	52,4	0,0	0,0
	15,6	14,9	69,5	0,0	0,0
	14,0	24,9	60,1	0,0	0,0
2	16,3	36,9	46,8	0,0	0,0
	45,3	13,1	38,9	0,3	2,3
	30,8	25,0	42,8	0,1	1,1
3	22,7	26,4	50,8	0,0	0,0
	19,0	35,3	45,7	0,0	0,0
	20,8	30,8	48,2	0,0	0,0
4	10,6	23,3	65,8	0,0	0,3
	19,7	37,8	41,8	0,3	0,3
	15,1	30,5	53,8	0,1	0,3

Le traitement 1 semble donner une qualité moindre que les trois autres traitements, qui ont des résultats voisins. Le pourcentage de fèves violettes est élevé.

Comparaison des pourcentages des différentes parties histologiques des fèves

Il n'apparaît pas de différence bien nette entre les différents traitements.

TABLEAU XXXI
Pourcentage des différentes parties histologiques

T	1	2	3	4
Parties histologiques				
Amande	90,0 86,1	84,5 85,7	85,5 87,0	86,1 83,4
	88,0	85,1	86,2	84,7
Coque	13,4 12,1	14,2 13,0	13,9 12,1	13,7 13,2
	12,9	13,6	13,0	13,4
Germe	0,9 0,8	0,9 0,8	0,9 0,7	0,9 0,9
	0,8	0,8	0,8	0,9

Comparaison des teneurs en matières oxydables par le permanganate de potassium

TABLEAU XXXII
Teneurs en matières oxydables par le permanganate de potassium

1	2	3	4
8,1 8,8	7,0 8,0	6,4 8,0	4,5 7,7
8,4	7,5	7,2	6,1

Le traitement 4 donne une teneur moins élevée en matières oxydables par le permanganate de potassium, ce qui signifierait une fermentation plus poussée, puisqu'une plus grande partie des polyphénols a déjà été oxydée.

Caractéristiques physiques

TABLEAU XXXIII
Caractéristiques physiques

T	1	2	3	4
Caractéristiques				
Poids du l (g)	556,4 538,4	539,0 515,7	533,0 518,3	557,5 520,3
	547,4	527,3	525,6	537,9
Poids de 100 fèves (g)	113,1 122,7	117,1 117,6	122,2 127,7	120,1 117,0
	117,9	117,3	124,9	118,5
Nombre de fèves dans 100 g	88 81	85 86	82 76	90 84
	84	85	79	87
Indice de gonflement	102,9 155,5	103,5 151,5	119,9 163,5	145,8 157,6
	129,2	127,5	141,7	151,7

Les résultats sont très dispersés, aussi est-il difficile de tirer des conclusions valables quant aux différences éventuelles entre les modes de brassage.

Teneur en azote ammoniacal sur fèves

TABLEAU XXXIV
Teneur des fèves en azote ammoniacal

T	1	2	3	4
Répétitions				
1	148	185	253	274
2	193	172	225	282
\bar{X}	166	178	239	278

Les traitements 3 et 4 donnent des teneurs beaucoup plus importantes en azote ammoniacal que les traitements 1 et 2, ce qui signifierait une fermentation plus poussée, surtout pour le traitement 4 ; 1 et 2 ne sont pas différents.

Qualités organoleptiques du chocolat

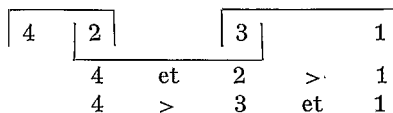
L'essai se présente de la façon suivante :

- Premier facteur contrôlé D = treize dégustateurs ;
- Deuxième facteur contrôlé E = quatre modes de brassage ;
- Deux répétitions.
- 1) Brassage toutes les 24 h ;
- 2) Brassage toutes les 48 h ;
- 3) Brassage après 48 et 96 h, ensuite toutes les 24 h (système utilisé à la Station cacaoyère de Nkoemvone) ;
- 4) Brassage après 24 et 48 h, ensuite toutes les 48 h.

Analyse de la note de synthèse

Les différences dues au facteur E sont hautement significatives ($F = 6,54$ pour une valeur tabulée de 4,20 au seuil 1 %).

Le test de KEULS permet de dresser le graphe suivant :



Le fait de brasser la masse toutes les 24 h après la 48^e et la 96^e h est défavorable. Il vaut mieux se contenter alors d'un brassage des fèves toutes les 48 h.

Il semble par contre qu'un premier brassage après 24 h soit favorable, quoique statistiquement on ne puisse séparer les méthodes 2 et 4.

Analyse de la note « amertume »

Les différences sont moins nettes que pour les appréciations générales. Seule la méthode 4 diminue significativement l'amertume par rapport à la méthode 1.

Analyse de la note « astringence »

Les traitements E sont hautement significatifs (F calculé = 4,89 pour une valeur tabulée de 4,20 au seuil 1 %).

Le graphe obtenu après le test de KEULS fait ressortir le mode de brassage 4 comme méthode permettant de diminuer l'astringence :

4	2	3	1
---	---	---	---

Analyse de la note « acidité »

De même que pour l'astringence, l'acidité est diminuée par le mode de brassage 4 d'une manière hautement significative :

4	2	3	1
---	---	---	---

Analyse de la note « arôme »

Il n'apparaît pas ici de différence significative.

En résumé :

	Modes de brassage				
Amertume	4	2	3	1	S.
Astringence	4	2	3	1	H. S.
Acidité	4	2	3	1	S.
Arôme					N. S.
Synthèse	4	2	3	1	H. S.

Seul l'arôme n'est pas modifié par les modes de brassage.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

En travaillant sur des masses de cacao de l'ordre de 250 kg de fèves fraîches et dans les conditions climatiques du Sud-Cameroun, on pourra adopter comme méthode de fermentation : une durée de sept jours, des brassages après 24 et 48 h, ensuite tous les deux jours, un séchage solaire.

En appliquant cette même méthode et en lavant les fèves fraîches avant fermentation dans les conditions vues précédemment, on obtient une qualité optimum du cacao par abaissement de l'astringence et de l'amertume. Cependant il y a diminution de rendement et apparition de fèves germées.

Cette méthode présente d'autant plus d'intérêt

que même un séchage mixte (trois jours de séchage solaire suivi d'un séchage artificiel) donne un cacao de grande qualité.

L'écabossage mécanique peut être envisagé sans risque notoire, l'addition de débris de cabosses et de rachis ne gêne pas le processus de fermentation et ne nuit pas à la qualité finale du cacao (physique, chimique et organoleptique).

Un système de séparation des fèves et des débris de cabosses par flottation peut même être utilisé, à condition d'avoir des fruits bien mûrs et de ne pas assurer un lessivage trop poussé des sucres et des acides organiques de la pulpe.

BIBLIOGRAPHIE

1. ROHAN (T. A.). — Le traitement des fèves de cacao destinées au marché. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Rome), 1964, p. 13.
2. CONWAY (E.). — Microdiffusion Analysis. 5^e éd., Crosby Lockwood (Londres), 1962, p. 16.
3. NEIRINCKX (G.), JENNEN. — *Bull. Agr. du Congo B.*, 1952, 43, p. 97.
4. FISHER (R. A.), YATES (F.). — *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, Oliver and Boyd, 1957, 6^e éd., p. 31 et 94.
5. KEULS. Cité par DAGNÉLIE. — *Cours de Statistique Mathématique*, vol. II, Gembloux, 1964, p. 500-504.
6. VINCENT (J.-C.). — Influence de l'aération sur la fermentation des fèves de cacao. Essais préliminaires. Non publié. Note dactylographiée. I. F. C. C.-Cameroun, juillet 1965.

VINCENT (J.-C.). — **Influence de différents traitements technologiques sur la fermentation du cacao et le goût du chocolat.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 4, oct.-déc. 1970, p. 303-322, tabl., réf.

La mécanisation de l'écabossage des fruits du cacaoyer s'impose, mais une étude préalable des facteurs technologiques de cette mécanisation susceptibles d'influencer la fermentation était nécessaire. Les résultats de cette étude effectuée au Cameroun sont présentés dans cet article.

Des essais portant sur la répercussion sur le processus de fermentation du lavage des fèves fraîches furent entrepris sur des masses de 250 kg. Dans une deuxième série d'essais, on a étudié l'influence de la présence de débris de cabosses et de rachis sur la fermentation. Dans une troisième série, on a analysé l'influence à la fois du lavage des fèves fraîches et de débris de cabosses et de rachis sur la fermentation, ce qui correspondrait pratiquement à une séparation imparfaite par flottation des fèves fraîches et des débris de cabosses à la suite d'un écabossage mécanique.

Dans une quatrième partie, les résultats des dégustations des chocolats préparés à partir de cacaos obtenus lors de ces essais et leur interprétation statistique sont exposés.

Enfin, un essai visant à étudier l'influence de la durée de la fermentation et de la fréquence des brassages sur la qualité du cacao a été effectué. Dans une dernière expérience, on ne fait varier que la fréquence des brassages.

Les résultats obtenus ont permis de conclure qu'en travaillant sur des masses de cacao de 250 kg de fèves fraîches et dans les conditions climatiques du Sud-Cameroun, on peut procéder à une fermentation de sept jours, avec brassages après 24 et 48 h, ensuite tous les deux jours et à un séchage solaire. En appliquant cette méthode et en lavant les fèves fraîches avant fermentation, on obtient un cacao de qualité optimum par abaissement de l'astringence et de l'amertume. L'écabossage mécanique peut être envisagé, l'addition de débris de cabosses et de rachis ne gênant pas le processus de fermentation et ne nuisant pas à la qualité finale du cacao. Un système de séparation des fèves et des débris de cabosses par flottation peut même être utilisé à condition que les fruits soient bien mûrs et que le lessivage des sucres et des acides organiques de la pulpe ne soit pas trop poussé.

VINCENT (J.-C.). — **Einfluss von verschiedenen technologischen Behandlungen auf die Kakaogärung und den Schokoladegeschmack.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 4, oct.-déc. 1970, p.303-322, tabl., réf.

Die Mechanisierung des Öffnen der Früchte des Kakaobaums drängt sich auf, aber eine Voruntersuchung der technologischen Faktoren, die fähig sind die Gärung zu beeinflussen, war notwendig. Die Ergebnisse dieser in Kamerun ausgeführten Untersuchung werden im vorliegenden Artikel dargelegt.

VINCENT (J.-C.). — **The influence of different technological treatments on the fermentation of cacao and the taste of chocolate.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 4, oct.-déc. 1970, p. 303-322, tabl., réf.

Although a mechanical process for pod breaking might be advantageous, a preliminary study of the technological factors involved that might influence fermentation was necessary. The results of such a study that was carried out in Cameroon are presented in this article.

Trials were conducted with 250 kg lots on the effects washing of the fresh beans had upon the processes of fermentation. In a second series of trials the influence of pod and rachis residues on fermentation was examined. In a third series the combined effects of washing the fresh beans and of the presence of rachis and pod debris on fermentation were analysed. This amounted in practice to an incomplete separation of the fresh beans from pod residues by flotation following a mechanical pod removal.

In the fourth part, the results of tasting tests of chocolates prepared from cacao obtained from these trials and their statistical interpretation are given.

A trial was then conducted to study the influence of the duration of fermentation and the frequency of stirring upon the quality of the cacao. In a final experiment only the frequency of stirring was varied.

From the results it was concluded that, working with 250 kg lots of fresh beans and under south Cameroon climatic conditions, a fermentation of seven days could be given with stirring after 24 and 48 hours and then every other day, followed by solar drying. Using this method and washing the fresh beans before fermentation, an optimum quality cacao was obtained with lower astringency and bitterness. Mechanical pod breaking can, therefore, be undertaken, the addition of pod and rachis debris having no adverse effect upon either the fermentation or the final quality of the cacao. A system for separating the debris from the beans by flotation might even be employed, on condition that the fruit is properly ripe and the washing away of sugars and organic acids from the pulp is not overdone.

VINCENT (J.-C.). — **Influencia de varios tratamientos tecnológicos sobre la fermentación del cacao y el gusto del chocolate.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 4, oct.-déc. 1970, p. 303-322, tabl., réf.

Es preciso sacar mecánicamente las almendras de cacao de las mazorcas que las contienen, pero era necesario estudiar previamente los factores tecnológicos de esta mecanización capaces de influir sobre la fermentación. Los resultados de dicho estudio efectuado en Camerún se presentan en este artículo.

Versuche die sich auf die Auswirkung des Gärungsprozesses des Waschens der frischen Bohnen bezogen, wurden mit Mengen von 250 kg unternommen. In einer zweiten Reihe von Versuchen wurde der Einfluss der Anwesenheit von Schoten- und Spindelüberresten auf die Gärung geprüft. In einer dritten Serie wurde zugleich der Einfluss des Waschverfahrens bei den frischen Bohnen und den der Schoten- und Spindelüberreste auf die Gärung analysiert, was praktisch einer unvollständigen Trennung durch Flotation der frischen Bohnen und der Schotenüberreste nach maschinellem Öffnen entspräche.

In einem vierten Teil werden die Resultate der Kostenproben von Schokolade, die aus dem gelegentlich dieser Versuche erhaltenen Kakao hergestellt wurde, sowie ihre statistische Auslegung dargelegt.

Ein Versuch endlich bezweckte den Einfluss der Gärungsdauer und der Häufigkeit der Rühraktion auf die Qualität des Kakaos zu untersuchen. In einem letzten Versuch variiert nur die Häufigkeit der Rühraktion.

Die erzielten Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass bei einer Bearbeitung von Kakaomassen von 250 kg frischer Bohnen und unter den klimatischen Verhältnisse Südkameruns eine Gärung von sieben Tagen mit Rühraktion nach 24 und 48 Stunden und sodann jeden zweiten Tag und eine Sontrocknung vorgenommen werden kann. Durch diese Methode und durch Waschen der frischen Bohnen vor der Gärung erhält man einen Kakao bester Qualität, indem man die Adstringenz und die Bitterkeit vermindert. Man kann das maschinelle Öffnen in Erwägung ziehen, da der Zusatz von Schoten- und Spindelüberresten den Gärungsprozess nicht stört und der Endqualität des Kakaos nicht schadet. Ein Trennungssystem der Bohnen und der Schotenüberreste durch Flotation kann sogar benutzt werden, vorausgesetzt dass die Früchte gut reif sind und das Waschen der Zucker und organischen Säuren der Pulpe nicht zu weit betrieben wird.

A los efectos de conocer la repercusión del lavado de las almendras frescas sobre el proceso de fermentación se hicieron ensayos sobre masas de 250 kg. En una segunda serie de ensayos se examinó la influencia de la presencia de residuos de mazorcas y de raquis sobre la fermentación. En una tercera serie se analizó el efecto a la vez del lavado de las almendras frescas y de los residuos de mazorcas y de raquis sobre la fermentación, lo que correspondería prácticamente a una separación imperfecta por flotación de las almendras frescas y de los residuos de mazorcas una vez sacadas de estas las almendras por vía mecánica.

En una cuarta parte se presentan los resultados de las cataduras de chocolates preparados a partir del cacao obtenido durante estos ensayos y la interpretación estadística de dichos resultados.

Por fin se realizó un ensayo al objeto de estudiar la influencia de la duración de la fermentación y de la frecuencia de los meneos sobre la calidad del cacao. En un último experimento sólo se ha variado la frecuencia de los meneos.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que con masas de cacao de 250 kg de almendras frescas y en las condiciones climáticas del sur Camerún se puede proceder a una fermentación de siete días, con meneos al cabo de 24 horas y 48 horas, sucesivamente cada dos días, y a un secado al sol. Aplicandose este método y lavandose las almendras frescas antes la fermentación, se obtiene un cacao de calidad óptima gracias a una disminución de su astringencia y amargura. Es posible sacar mecánicamente las almendras de las mazorcas, ya que los residuos de mazorcas y de raquis no ponen obstáculo al proceso de fermentación y no alteran la calidad final del cacao. Puede aun adoptarse un sistema de separación de las almendras y de los residuos de mazorcas por flotación a condición de que los frutos estén muy maduros y que la lixiviación de los azúcares y de los ácidos orgánicos de la pulpa no sea demasiado fuerte.