

Réduction de l'acidité du cacao lors du séchage

Augier F.¹, Nganhou J.³, Barel M.¹, Benet, J.C.², Berthomieu G.²

¹Laboratoire de chimie-technologie, CIRAD-CP, maison de la technologie, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

²Laboratoire de mécanique et génie civil, université Montpellier II, 34095 Montpellier Cedex 5, France

³Laboratoire d'énergétique, ENSP, BP 8390, Yaoundé, Cameroun

Résumé

L'étude de l'évolution de l'acidité volatile du cacao est menée, au Mexique, à l'échelle de la graine, selon diverses techniques et conditions de séchage. Les fèves sont séchées dans une boucle thermodynamique, fonctionnant en mode convectif ou conductif. Une découpe originale permet d'analyser séparément cinq couches internes de la graine, du centre vers l'extérieur et de tracer les « profils » des teneurs en eau et en acidité volatile. Les résultats montrent une répartition non uniforme de l'acidité dans la graine. En conduction, l'acidité varie très peu. En convection, lors d'un séchage fort (60° C ou 80° C), la migration de l'acide acétique (principal acide volatil du cacao), est difficile à déceler. En revanche, un séchage plus doux (à 40° C) conduit à une diminution sensible de l'acide, tendant même vers un seuil ; d'où l'hypothèse de deux modes de liaison de l'acide dans la graine de cacao.

Abstract

A study of volatile acidity in cocoa was conducted in Mexico using cocoa beans dried in different ways and under different conditions. The beans were dried in a thermodynamic loop in convective or conductive mode. An original cutting method was used to enable separate analyses of five internal bean layers, from the centre to the outside, and to draw up moisture and volatile acid content "profiles". With conduction, acidity varied very little. In convective mode, with strong drying (60°C or 80°C), it was difficult to detect any transfer of acetic acid (the main volatile acid in cocoa). However, gentler drying (at 40°C) led to a substantial reduction in acid content, even tending towards a threshold, hence the hypothesis that there may be two types of acid bond in cocoa beans.

Resumen

En México, se lleva a cabo el estudio de la evolución de la acidez volátil del cacao, a nivel de la semilla, según distintas técnicas y condiciones de secado. Los granos se secan en un bucle termodinámico, que funciona en modo convectivo o conductivo. Un recorte original permite analizar por separado cinco capas internas de la semilla, del centro hacia fuera y trazar los « perfiles » de los contenidos de agua y de acidez volátil. Los resultados muestran una distribución no uniforme de la acidez en la semilla. En conducción, la acidez varía muy poco. En convección, en un secado fuerte (60° C o 80° C), resulta difícil identificar la migración del ácido acético (principal ácido volátil del cacao). En cambio, un secado más suave (en 40° C) lleva a una disminución sensible del ácido, tendiendo inclusive hacia un umbral; de allí la hipótesis de dos modos de enlace del ácido en la semilla de cacao.

Certaines plantations, de taille importante, ont acquis la réputation de produire un cacao « acide » et faiblement aromatique (Powell, 1958 ; Jacquet *et al.*, 1980). Plusieurs travaux de recherche ont tenté de répondre à ce problème de qualité. La plupart se sont intéressés à la fermentation (Lopez, 1983 ; Shepherd, 1986), au cours de laquelle l'acide acétique, principal responsable de l'acidité volatile du cacao, diffuse depuis la pulpe jusque dans la graine. Or, des travaux plus récents ont révélé que la présence de cet acide, dans les cotylédons, favorise le développement des précurseurs de l'arôme cacao (Biehl *et al.*, 1994 ; Jeanjean *et al.*, 1994 ; Voigt *et al.*, 1994). Il ne s'agit donc plus d'empêcher la pénétration d'acide acétique, indispensable pour l'obtention de l'arôme, mais plutôt de favoriser son élimination ultérieure, en profitant de l'évacuation de l'eau au cours du séchage (Barel, 1995).

Cette étude s'intéresse à l'évolution de l'acidité volatile du cacao en fonction de diverses techniques et conditions de séchage artificiel (figure 1).

Les essais ont eu lieu au Mexique, lors de la campagne cacaoyère d'octobre 1996 à mai 1997. Une boucle thermodynamique et un laboratoire d'analyses ont été installés dans les locaux de l'Institut Tecnológico de Villahermosa (Itvh), Etat de Tabasco (carte), par une équipe franco-mexicaine :

Cirad-Cp¹, Lmgc-Um II², Uam³ (Mexique) et Itvh (Mexique).

Matériels et méthodes

La boucle thermodynamique, comportant un module de convection et un module de conduction, est transportable. Elle peut, ainsi, étudier le séchage de produit frais (fèves de cacao fermenté) n'ayant subi ni conservation, ni transport. Sa capacité, d'environ 1 kg de fèves de cacao fermenté, permet d'exposer une petite quantité de produit à deux techniques de séchage. Le module « convection » soumet les fèves à une circulation d'air, dont la vitesse (V), l'humidité relative (HR) et la température (Tair) sont régulées avec précision. Une paire de plaques chauffantes constitue le module « conduction » ; les fèves, étalées sur ces plaques, sèchent par « contact » avec une surface dont la température (Tp) est régulée. L'évolution de la masse du produit peut être suivie par une balance placée sous l'un ou l'autre des modules.

Le laboratoire, équipé d'une étuve et de trois « extracteurs d'acidité volatile », peut

¹ Département des cultures pérennes du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

² Laboratoire de mécanique et génie civil de l'université Montpellier II.

³ Universidad Autónoma de México, Iztapalapa, México DF.

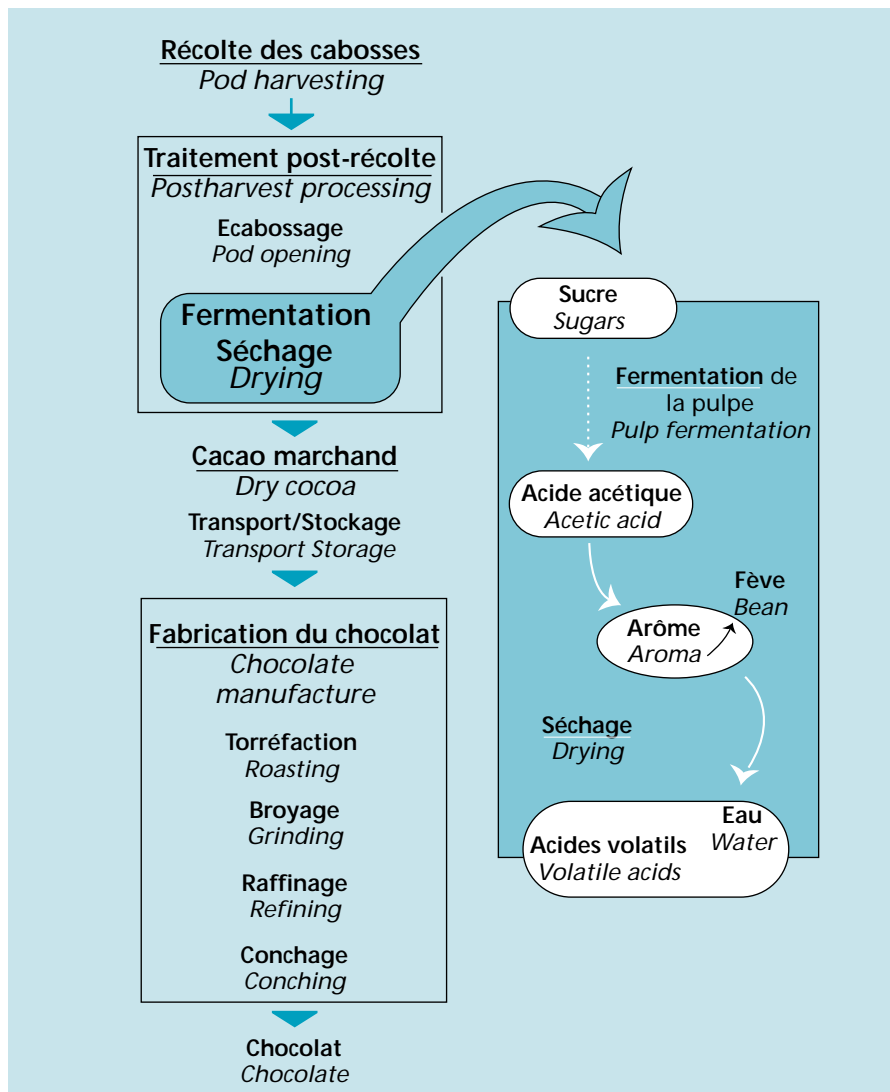


Figure 1. Schéma du processus complet de la transformation du cacao en chocolat avec position de la fermentation séchage. / Flow chart showing the entire process, from cocoa to chocolate, with the position of the fermentation-drying stage.

mener à bien les analyses des teneurs en eau et en acidité volatile des fèves de cacao.

Selon l'analyse souhaitée, deux types de prélèvements peuvent être effectués durant les essais de séchage par convection ou par conduction :

- un lot d'une dizaine de fèves pour obtenir les teneurs globales en eau et en acide ;
- un échantillon d'environ 50 fèves qui, distribué dans une machine spécialement conçue à cet effet (figure 2), révèle le profil des teneurs en eau et en acide au sein d'une fève moyenne.

Méthode d'analyse à l'échelle de la graine

Par un carottage, on prélève un cylindre de 6 mm de diamètre dans la fève (figure 3). En éliminant les effets de bords, les

transferts de matière peuvent alors être considérés comme unidirectionnels dans le sens de l'épaisseur, et symétriques par rapport au centre (cas de la convection). Un système de découpe a été mis au point ; il permet l'analyse de cinq couches internes de la fève, depuis le centre vers le bord. Les courbes de la figure 4 montrent un exemple d'évolution des profils de teneur en eau, à l'intérieur d'une demi-graine représentative des lots prélevés.

Méthode de mesure de l'acidité volatile

Cette méthode d'extraction, initialement conçue pour le vin, a été adaptée aux fèves sèches de cacao (méthode de Mothe Efter, modifiée Ircc⁴). Jusqu'à présent, elle n'avait jamais été utilisée sur les lieux

mêmes de production, avec du cacao non sec.

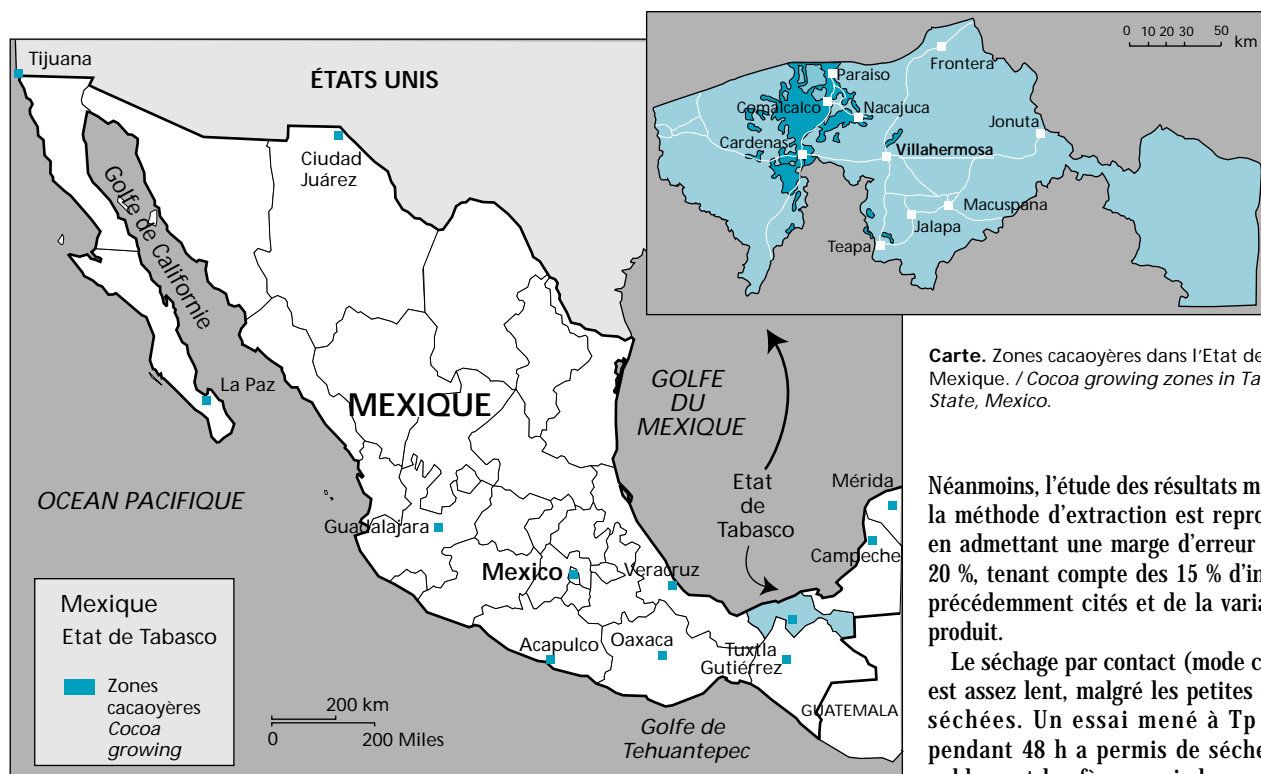
Une étude préliminaire, menée en France sur des fèves de cacao marchand, a montré que les extracteurs d'acidité exigent une taille d'échantillon minimale de 0,4 g de matière sèche pour que la mesure soit significative (Nganhou, 1996). Or, le découpage en tranches fines fournit des échantillons de très petites tailles, ce qui nécessite chaque fois 50 à 60 graines, le plus souvent humides. Ce nombre de fèves permet d'obtenir la quantité minimale de matière sèche, ce qui correspond à 0,9 g de masse humide versée dans l'extracteur et 1 g déposé dans l'étuve pour chaque mesure des teneurs.

Chaque profil comporte six points - la coque + cinq couches internes - obtenus par deux séries de trois extractions. Une extraction durant environ 45 minutes, il s'est avéré nécessaire de procéder à la conservation des échantillons après découpe, de manière à « découpler » séchage et analyse. Pour cela, de petites capsules hermétiques ont été construites à partir d'étuis de pellicules photos ; les tranches de cacao y sont rangées, puis placées au congélateur en attendant les analyses.

L'erreur sur la mesure de l'acidité volatile est, en grande partie, due à l'appréciation de la « fin » de l'extraction, c'est-à-dire la quantité de distillat recueilli. L'absorption par le distillat du CO₂ de l'atmosphère, qui contribue à acidifier le milieu, est un phénomène dépendant du temps d'extraction : plus on extrait longtemps, plus ce facteur indésirable a de l'importance. D'un autre côté, si l'on n'extrait pas assez, les valeurs obtenues seront inférieures aux teneurs réelles du cacao. Après quelques essais infructueux, nous avons toujours veillé à obtenir, le plus exactement possible, 300 ml de distillat, valeur qui correspond à un équilibre entre les deux tendances citées.

En vue de manipuler des grandeurs homogènes et de garder une référence constante, l'acidité est exprimée en « g acide/g cacao sec », et non en « ml de soude versée/g de cacao ». Les différents facteurs intervenant dans son calcul (titrage, normalité, teneur en eau, masse de cacao) donnent une incertitude relative de l'ordre de 15 %.

⁴ Institut de recherche sur le café et le cacao.



Carte. Zones cacaoyères dans l'Etat de Tabasco, Mexique. / *Cocoa growing zones in Tabasco State, Mexico.*

Néanmoins, l'étude des résultats montre que la méthode d'extraction est reproductible, en admettant une marge d'erreur d'environ 20 %, tenant compte des 15 % d'incertitude précédemment cités et de la variabilité du produit.

Le séchage par contact (mode conductif) est assez lent, malgré les petites quantités séchées. Un essai mené à $T_p = 60^\circ \text{C}$ pendant 48 h a permis de sécher convenablement les fèves, mais leur acidité est restée constante, et égale à 0,01 g/g (figure 6). Seule l'acidité contenue dans la coque, toujours plus importante que celle de la fève, a baissé.

Dans le cadre d'un autre essai en conduction, nous avons tenté de « tremper » le cacao avant séchage (figure 7). Les fèves sont immergées dans une marmite d'eau à température ambiante, pendant 4 h. Bien qu'à aucun moment la masse ne soit brassée, une partie de la pulpe est éliminée, ce qui a pour conséquence d'amoinrir, et donc de fragiliser la coque. Comme l'indique la figure 7, l'évolution de l'acidité va nettement dans le sens de la baisse, surtout au cours du trempage mais, aussi, pendant le séchage. Le tégument ainsi affaibli perdrait son rôle protecteur. La pratique du trempage serait une bonne solution pour éliminer l'acidité, si la présence d'une coque solide et épaisse (épiderme de la graine + pulpe résiduelle asséchée) n'était pas primordiale lors de la conservation du cacao. En effet, le tégument est très efficace contre l'attaque d'insectes ou de parasites, et pour conserver l'intégrité de la graine (Braudeau, 1969).

Une série d'essais de 8 h est menée en mode convectif, avec des paramètres de séchage fixes tout au long de l'essai dans la gamme des paramètres suivants : $T_{air} = 40, 60, 80^\circ \text{C}$; $HR = 30, 50, 70\%$; $V = 0,5$ et 1 m/s . La figure 5 illustre la tendance

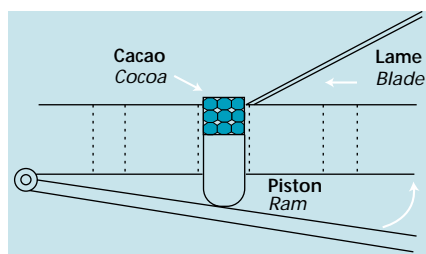


Figure 2. Schéma de principe de la machine à découper les fèves. / *Schematic diagram of the bean cutter.*

Résultats et discussion

Cette étude se limite à la teneur en acidité volatile, qui constitue un défaut important de la qualité du cacao.

Les courbes de la figure 5 révèlent l'évolution des profils d'acide, au cours d'un

séchage. Si l'acidité n'est pas répartie uniformément dans la graine, on remarque, en revanche, qu'elle reste constante au cours de cet essai.

La quantité d'acide acétique dans le cacao dépend du déroulement de la fermentation, qui lui-même est lié à de nombreux facteurs difficilement maîtrisables tels que la variété et la maturité du cacao, les conditions climatiques avant et au moment de la récolte, ou encore l'ensemencement des caisses de fermentation. L'hétérogénéité du produit fermenté est donc très grande, que l'on considère une caisse à un instant donné, ou bien sur toute la saison. Ainsi, les échantillons prélevés au cours d'un essai de séchage peuvent avoir subi une histoire fermentaire très différente, rendant très imprécise la méthode de mesure.

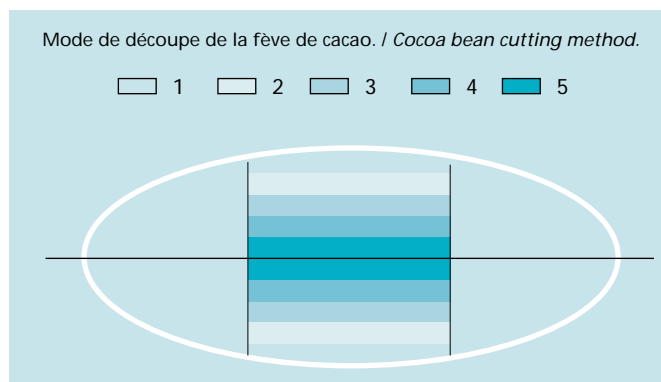


Figure 3. Mode de découpe de la fève de cacao. / *Cocoa bean cutting method.* Prélèvement d'un cylindre, découpe de 10 tranches, rabattement d'une moitié sur l'autre coupe transversale de la fève. / *Taking a core sample, cutting 10 slices, placing one half on top of the other; cross section of the bean.*

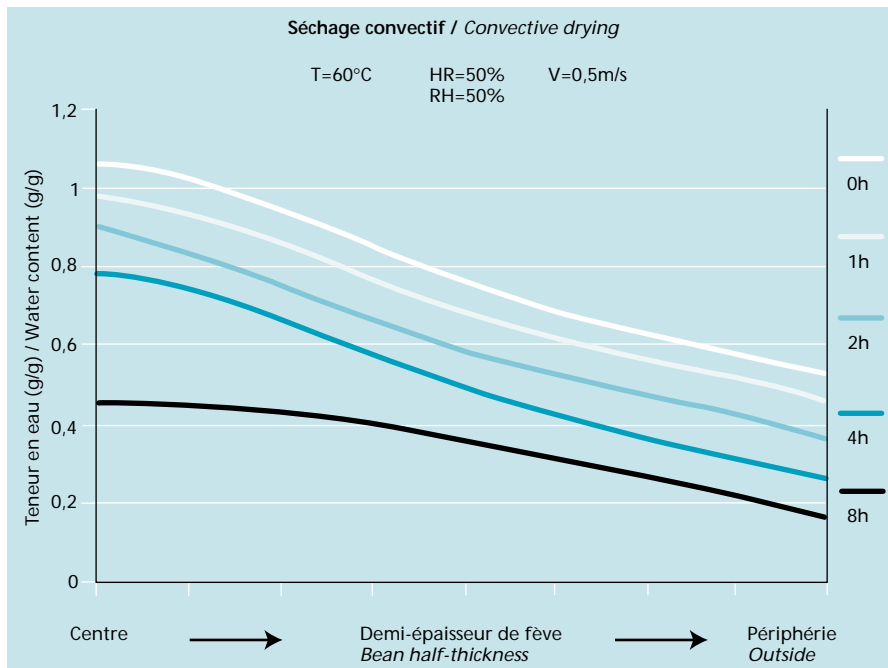


Figure 4. Variations des teneurs en eau en séchage convectif. Chaque profil est une courbe lissée obtenue à partir des cinq points expérimentaux. / Variations in moisture content during convective drying. Each profile is a smoothed curve obtained from five experimental points.

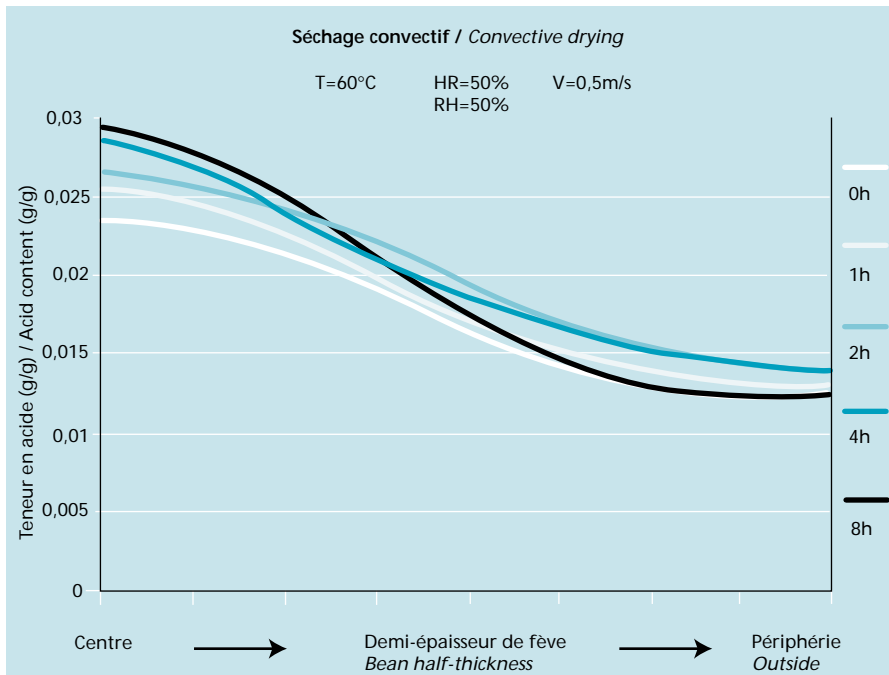


Figure 5. Variations des teneurs en acide en séchage convectif. / Variations in acid content during convective drying.

générale de cette série. On constate que les profils sont tous compris dans l'intervalle d'incertitude de 20 %, ce qui empêche de conclure à l'augmentation ou la baisse de l'acidité pendant la durée considérée. Quelles que soient les conditions de séchage, aucun essai en mode convection ne révèle de migration de l'acidité durant

les huit premières heures. Parmi ces essais, seuls ceux à 80° C permettent le séchage complet des fèves dans un temps aussi court. On peut alors confirmer l'hypothèse de Jacquet (1980) qu'un séchage « fort », ou mené rapidement, ne permet pas l'évacuation de l'acide acétique.

A la lumière de ces essais, des séchages plus longs, et donc plus doux, ont été préconisés. Le résultat est identique aux essais précédents pour du cacao séché 24 h à 60° C, qui garde toute son acidité. En revanche, une baisse sensible est constatée lorsqu'on suit un séchage complet (jusqu'à 0,1 g eau/g cacao sec) à 40° C (figure 8). L'évolution de la teneur globale en acide, au cours de 68 h de séchage, suit une courbe continuellement décroissante, depuis une valeur initiale de 0,019 g acide/g de cacao sec jusqu'à moins de 0,012 g/g. L'opération de séchage, en conditions modérées, peut donc être mise à profit pour réduire l'acidité du cacao.

On s'est attaché alors à suivre les profils d'acidité lors de séchages doux (40° C), pendant 30 h (figure 9). Les résultats montrent une nette baisse de l'acide acétique, jusqu'à environ 0,01 g/g. Mais lorsque l'acidité initiale du cacao est inférieure ou égale à cette valeur, elle reste constante tout au long du séchage, aussi doux soit-il. La valeur de 0,01 g/g semble être un « seuil » qui ne peut être franchi dans l'évacuation de l'acide, du moins au cours du séchage. L'hypothèse de deux « modes de liaison » de l'acide dans le cacao est probable, et cette valeur-seuil pourrait correspondre à la teneur de saturation du mode de liaison fort.

Conclusion

Éliminer une partie de l'acidité volatile du cacao n'est pas une utopie, si le séchage est réalisé dans les conditions adéquates : il faut qu'il soit doux (T = 40° C, HR = 70 %, V = 0,5 m/s) et d'une durée supérieure à 24 h. De cette manière, l'acidité peut être abaissée jusqu'à 0,01 g acide/g de cacao sec. Cette valeur peut correspondre à de l'acide fortement lié, plus difficile à extraire.

Si les graines sont immergées dans de l'eau avant le séchage, l'évacuation de l'acidité est plus rapide et efficace, mais la coque perd en partie sa capacité à protéger les cotylédons.

Les courbes de profil d'eau sont étudiées en parallèles, en vue de modéliser les transports de matière dans la fève de cacao au cours du séchage convectif. La modélisation du comportement de l'acide est plus délicate étant donnée la dispersion des résultats obtenus. Pour mieux comprendre les phénomènes régissant le transport d'acide dans le cacao, et afin de définir précisément un séchage de qualité, une seconde campagne d'essais s'avère nécessaire. ■

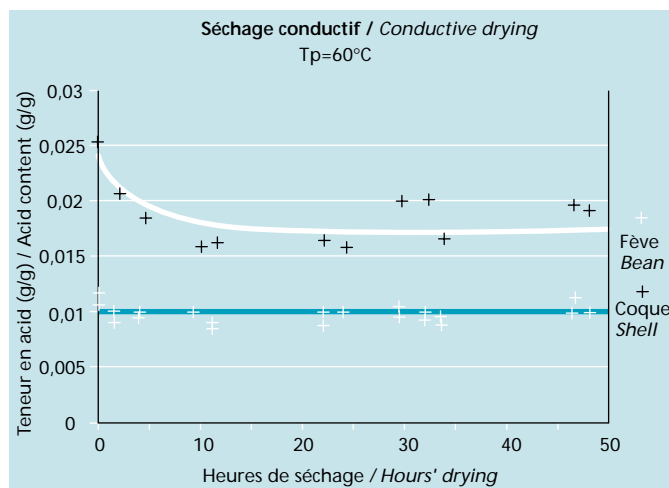


Figure 6. Variations des teneurs en acide en séchage conductif. / Variations in acid content during conductive drying.

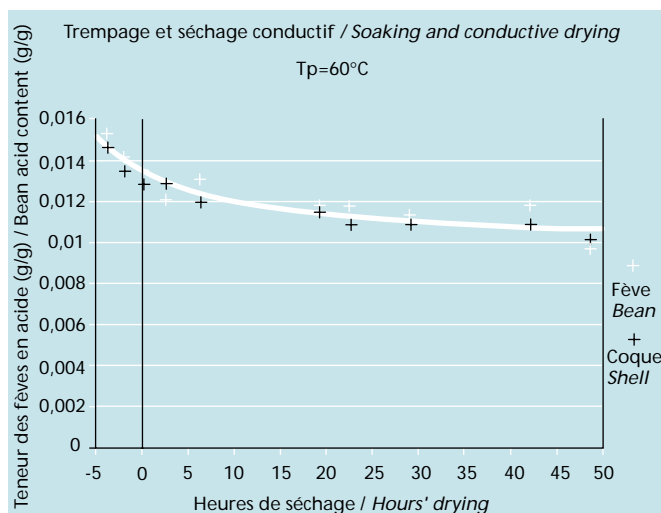


Figure 7. Evolution des teneurs en acide en trempage et séchage conductif. / Variations in acid content during soaking and conductive drying.

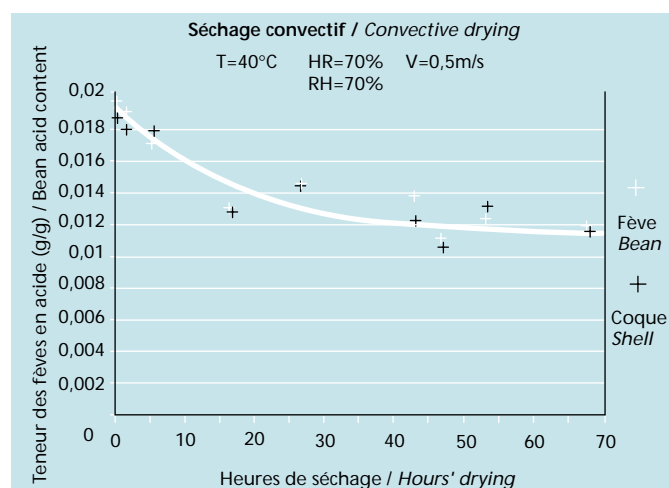


Figure 8. Evolution des teneurs en acide en séchage convectif prolongé. / Acid content trends during extended convective drying.

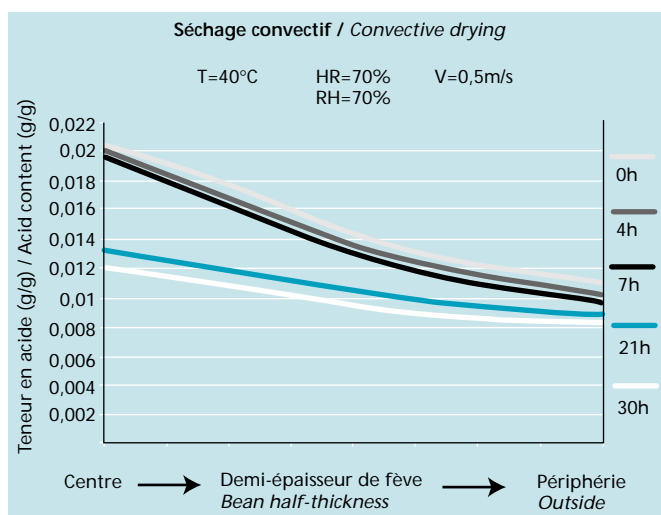


Figure 9. Evolution des teneurs en acide en séchage convectif doux. / Acid content trends during gentle convective drying.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements aux responsables et personnel de l'Instituto Tecnológico de Villahermosa dont la contribution a été déterminante quant à l'aboutissement de ce travail.

Bibliographie / References

- BAREL, M. 1995. Traitement du cacao par fermenteur et séchoir intégrés. *Plant. Rech. Dév.* 2 (5) : 35-42.
- BIEHL B., VOIGT J., HEINRICH H., SENJUK V., BYTOF G., 1994. pH-dependent enzymatic formation of oligopeptides and amino acids, the aroma precursors in raw cocoa beans. *In* : 11^e Conférence internationale sur la recherche cacaoyère, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 18-24 juillet 1993. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers' Alliance, p. 717-722.
- JACQUET M., HAHN J., LOTODÉ R., VINCENT J.C., 1980. Le séchage artificiel des fèves de cacao. *Café Cacao Thé* 24 (1) : 43-56.
- JEANJEAN N., CROS E., FLORI A., 1994. Cocoa flavour: correlation between non-volatile and volatile compounds. *In* : Malaysian International Cocoa Conference, Kuala Lumpur, Malaisie, 20-21 octobre 1994. Kota Kinabalu, Malaisie, Malaysian Cocoa Board, p. 296-308.
- LOPEZ A.S.F., 1983. Factors associated with cacao bean acidity and the possibility of its reduction by improved fermentation. *Rev. Theobroma* 13 (3) : 233-248.
- NGANHOU J., 1996. Mise au point d'une méthode de micro-analyse d'eau et d'acide acétique dans une fève de cacao en cours de séchage. Rapport de stage. Yaoundé, Cameroun, université de Yaoundé, 16 p. (document interne).
- POWELL B.D., 1958. The rapid artificial drying of cocoa beans and chocolate flavour. *Trop. Agr.* 35 (5) : 200-204.
- SHEPHERD R., 1986. Commercial production of low acid beans. *In* : Cocoa & coconuts. Progress and outlook, E. Pushparajah et Chew Poh Soon éd., Kuala Lumpur, Malaisie, Incorporated Society of Planters, p. 517-531.
- VOIGT J., HEINRICH H., VOIGT G., BIEHL B. 1994. Cocoa specific aroma precursors are generated by proteolytic digestion of the vincillin-like globulin of cocoa seeds. *Food Chem.* 50 : 177-184.

Reducing cocoa acidity during drying

Augier F.¹, Nganhou J.³ Barel M.¹, Benet, J.C.², Berthomieu G.²

¹ Laboratoire de chimie-technologie, CIRAD-CP, maison de la technologie, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² Laboratoire de mécanique et génie civil, université Montpellier II, 34095 Montpellier Cedex 5, France

³ Laboratoire d'énergétique, ENSP, BP 8390, Yaounde, Cameroon

Some large plantations have acquired a reputation for producing "acid", not very flavoursome cocoa (Powell, 1958; Jacquet *et al.*, 1980). Several research projects have attempted to solve this quality problem. Most have concentrated on fermentation (Lopez, 1983; Shepherd, 1986), during which acetic acid, the main cause of volatile acidity in cocoa, diffuses from the pulp to the bean. However, more recent work has shown that the existence of this acid in the cotyledon fosters the development of cocoa flavour precursors (Biehl *et al.*, 1994; Jeanjean *et al.*, 1994; Voigt *et al.*, 1994). The aim is therefore no longer to prevent penetration by acetic acid, which is essential for flavour, but to encourage its subsequent elimination by making use of moisture evacuation during drying (Barel, 1995).

This study looked at the variations in cocoa volatile acidity depending on various artificial drying techniques and conditions (figure 1).

The trials were conducted in Mexico during the October 1996 to May 1997 cocoa season. A thermodynamic loop and an analysis laboratory were set up at the Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH), Tabasco State (map) by a Franco-Mexican team: CIRAD-CP¹, LMGC-UM II², UAM³ (Mexico City) and ITVH (Mexico).

Materials and methods

The thermodynamic loop, comprising a convection module and a conduction module, was portable. It could therefore be used to study the drying of fresh products (fermented cocoa beans) without their being either stored or transported. Its capacity - around 1 kg of fermented beans - meant that a small quantity of product could be exposed to two drying techniques. The "convection" module subjected the beans to an air flow, whose velocity (V), relative humidity (RH) and temperature (T_{air}) were precision-set. The "conduction" module was a pair of hot-plates: the beans were spread on the plates and dried by contact with the surface, whose temperature (T_p) was regulated. Changes in product weight were monitored by placing a balance under one or other module.

¹ Tree Crops Department of the Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

² Mechanical and Civil Engineering Laboratory, University of Montpellier II.

³ Universidad Autónoma de México, Iztapalapa, Mexico City.

The laboratory, equipped with a drying oven and three "volatile acid extractors", was suitable for analysing the moisture and volatile acid contents of cocoa beans.

Depending on the analysis, two types of sample could be taken during drying by convection or conduction:

- a batch of around ten beans to determine overall moisture and acid contents;
- a sample of around 50 beans which, when placed in a special machine (figure 2), produced a profile showing moisture and acid contents in an average bean.

Bean analysis method

A 6 mm cylindrical core sample was taken from the bean (figure 3). By eliminating peripheral effects, matter transfer could thus be considered unidirectional through the thickness and symmetrical in relation to the centre (case of convection). A cutting system was developed, enabling an analysis of five internal layers of the bean, from the centre to the outside. The graphs in figure 4 give an example of moisture profile changes within a half-bean representative of the batches sampled.

Volatile acidity measurement method

This extraction method, initially developed for wine, was adapted to dry cocoa beans (Mothe Efer method, modified by IRCC⁴). It had never previously been used at a production site, on undried cocoa.

A preliminary study in France on dry cocoa beans showed that acidity extractors require a minimum sample size of 0.4 g of dry matter for significant measurements (Nganhou, 1996). However, cutting into fine slices produces very small samples, which calls for 50 to 60 beans each time, generally wet. This number of beans provides the minimum amount of dry matter, corresponding to 0.9 g of wet mass placed in the extractor and 1 g in the drying oven for each content measurement.

Each profile comprised six points - the shell + five internal layers - obtained by two sets of three extractions. As extraction took around 45 minutes, it proved necessary to store the samples after cutting, so as to "separate off" drying and analysis. To this end, small hermeti-

cally sealed capsules were made from photographic film; the cocoa slices were placed in them and transferred to the freezer pending analysis.

The errors encountered in measuring volatile acidity were primarily due to the appreciation of the "end" of extraction, i.e. the quantity of distillate collected. Absorption by the distillate of atmospheric CO₂, which contributes to acidification, depended on extraction time: the longer extraction lasted, the greater the effect of this undesirable factor. On the other hand, if extraction was insufficient, the values obtained were lower than the real contents in the cocoa. After a few failed trials, we consistently attempted to obtain as near to 300 ml of distillate as possible, which corresponded to a balance between the above two trends.

To be able to deal with uniform values and keep a constant reference, acidity was expressed in g acid/g dry cocoa" and not in "ml soda added/g cocoa". The different factors involved in calculation (titration, normality, moisture content, cocoa weight) meant that there was a degree of uncertainty of around 15%.

Results and discussion

This study was limited to a study of volatile acid content, which constitute a major cocoa quality defect.

The graphs in figure 5 show acid profile changes during drying. Although acidity was not uniformly distributed throughout the bean, it remained constant during our trial.

The amount of acetic acid in cocoa depends on fermentation, which is itself linked to numerous factors that are difficult to control, such as cocoa variety and maturity, climatic conditions before and during harvesting, or box filling. The fermented product is therefore highly heterogeneous, whether a box is considered at a given time, or over a whole season. The samples taken during a drying trial may thus have a very different fermentation background, making measurements extremely inaccurate. However, a study of our results showed that the extraction method was reproducible, assuming a margin of error of around 20% and allowing for the degree of uncertainty of 15% mentioned above and for product variability.

Contact drying (conduction method) was quite slow, despite the small quantities dried. A trial at T_p = 60°C for 48 h dried the beans satisfactorily, but their acidity remained constant, at

⁴ Institut de recherche sur le café et le cacao.

0.01 g/g (figure 6). Only the acidity in the shell, which was always higher than in the bean, fell.

In another conduction trial, we tried "soaking" the cocoa before drying (figure 7). The beans were immersed in a bowl of water at room temperature, for 4 h. Although the beans were never stirred, some of the pulp was removed, which thinned the shell and thus rendered it more fragile. As shown in figure 7, acidity fell substantially, particularly during soaking but also during drying. The weakened seed coat had therefore lost its protective role. Soaking would be a good way of eliminating acidity, if a solid, thick shell (seed coat + dried residual pulp) were not crucial for cocoa storage: the seed coat provides effective protection against insect and parasite attacks and keeps the bean whole (Braudeau, 1969).

A series of 8-h trials was carried out in convective mode, with fixed drying parameters throughout the trial, within the following ranges: $T_{air} = 40, 60, 80^{\circ}\text{C}$; $\text{RH} = 30, 50, 70\%$; $V = 0.5$ and 1 m/s . Figure 5 shows the overall trend for the series. The profiles are all within the 20% margin of error, which prevents any conclusions as to a fall or rise in acidity during the time considered. Irrespective of drying conditions, none of the convection trials revealed any transfer of acidity

during the first eight hours. Of the trials, only those at 80°C fully dried the beans in such a short time. This confirmed Jacquet's hypothesis (1980) that "strong" or rapid drying prevents acetic acid evacuation.

In the light of these trials, longer, hence gentler drying, was recommended. The result was identical to the previous trials for cocoa dried for 24 h at 60°C , which kept all its acidity. However, there was a substantial drop with full drying (to $0.1 \text{ g moisture/g dry cocoa}$) at 40°C (figure 8). Overall acid content trends over 68 hours' drying followed a consistently downward curve, from an initial value of $0.019 \text{ g acid/g dry cocoa}$ to under 0.012 g/g . Drying under moderate conditions is therefore a way of reducing cocoa acidity.

We then went on to monitor acidity profiles during gentle drying (40°C), for 30 h (figure 9). The results revealed a marked drop in acetic acid contents, to around 0.01 g/g . However, if the initial acidity of the cocoa was below or equal to this value, it remained constant throughout drying, however gentle. The value of 0.1 g/g would seem to be an acid evacuation "threshold" that cannot be crossed, at least during drying. It is likely that the acid in the cocoa has two types of bond and that the threshold value corresponds to saturation of the strong bonds.

Conclusion

It is not unrealistic to try to eliminate some of the volatile acidity in cocoa, provided drying conditions are appropriate: drying has to be gentle ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 70\%$, $V = 0.5 \text{ m/s}$) and take over 24 h. In this way, acidity can be reduced to $0.01 \text{ g acid/g dry cocoa}$. This value may correspond to the strongly bonded acid, which is more difficult to extract.

If the beans are soaked in water before drying, acidity is evacuated more quickly and more easily, but the shell loses some of its ability to protect the cotyledon.

The moisture profile curves were studied in parallel with a view to modelling matter transfer in cocoa beans during convective drying. It is more difficult to model acid performance, given the scattered results obtained. A second set of trials will be required to provide a better understanding of the phenomena governing acid transfer within cocoa and to define quality drying conditions more precisely. ■

Acknowledgements

The authors would like to thank the management and staff of the Instituto Tecnológico de Villahermosa for their crucial contribution to the success of their work.