

Résumé

Le principe de la fermentation contrôlée repose sur la mise en évidence de la corrélation entre l'intégrale de la courbe de température et la qualité du cacao. L'évolution de la température est enregistrée par un processeur et comparée à des valeurs préétablies pour chaque type de cacao. Le processeur déclenche automatiquement les opérations de brassage ou active des signaux dans le cas d'opération non automatisée. Le séchage par conduction en atmosphère contrôlée est, quant à lui, piloté par des capteurs reliés à un autre processeur qui déclenche le brassage, la ventilation et l'extraction d'air. L'objectif de ce séchoir est de diminuer l'acidité volatile du cacao et d'abaisser la consommation d'énergie.

Abstract

The controlled fermentation principle is based on the correlation between the temperature curve integral and cocoa quality. The temperature is recorded by a computer and compared with predetermined values for each type of cocoa. The computer then automatically triggers turning or transmits sound or light signals in the case of non-automatic operations. Conduction drying in a controlled atmosphere is driven by probes connected up to another computer that triggers turning, ventilation and air extraction. The aim of the dryer is to reduce volatile acidity and lower energy consumption.

Resumen

El principio de la fermentación controlada fundamentase en la puesta en evidencia de la correlación entre la integral de la curva de temperatura y la calidad del cacao. La evolución de la temperatura se registra mediante un procesor y se compara con valores preestablecidos para cada tipo de cacao. El procesor desencadena automáticamente las operaciones de mezcla o desencadena y activa señales en caso de operación no automatizada. El secado por conducción en atmósfera controlada está, por su parte, dirigido por captosres juntados con otro procesor que desencadena la mezcla, la ventilación y la extracción de aire. El objetivo de este secador es disminuir la acidez volátil del cacao y reducir el consumo de energía.

Exposé présenté au cours de la journée scientifique organisée par la mission technologie du Cirad, le 31 janvier 1995 : post-récolte du cacao et séchage du caoutchouc.

Traitement du cacao par fermenteur et séchoir intégrés

Barel M.

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Actuellement, le traitement post-récolte du cacao est de plus en plus souvent réalisé par des groupements de petits planteurs ou dans des plantations industrielles.

Ce traitement comporte deux opérations principales qui conditionnent la qualité du produit : la fermentation, puis le séchage. La fermentation élimine la pulpe qui entoure les graines, et surtout, permet le développement, au sein des cotylédons, des précurseurs de l'arôme, indispensables à la qualité du cacao. Le séchage rend possible la bonne conservation du cacao en abaissant sa teneur en eau de 55 à 7 %. Il participe également à l'élimination de l'acide acétique formé au cours de la fermentation.

Dans ce contexte, le CIRAD-CP⁽¹⁾ a lancé l'étude d'une chaîne intégrée fermenteur-séchoir, dont les prototypes sont en cours d'expérimentation.

Le fermenteur

La qualité d'un cacao découle en très grande partie de la conduite de la fermentation ; l'optimisation de cette opération favorisera la production d'un cacao de qualité suivie, qui correspond aux critères recherchés par les utilisateurs.

Actuellement, la fermentation est effectuée de façon empirique et aléatoire et dépend souvent du savoir-faire du producteur.

La reproductibilité d'une qualité souhaitée exige la maîtrise des événements essentiels de la fermentation : brassages et arrêt du processus.

Ce travail a été divisé en deux volets : la mise au point d'un principe de fermentation contrôlée, puis l'utilisation de ce

principe pour automatiser la fermentation, de façon à pouvoir remplacer une main-d'œuvre trop souvent rare en période de récolte.

Principe de la fermentation contrôlée

Le premier objectif de cette étude a été de définir un paramètre qui permette de contrôler la fermentation. L'utilisation de sondes telles que des électrodes de pH ou de capteurs d'oxygène était difficile puisque le milieu, très hétérogène, présente simultanément des phases solide, pâteuse et liquide.

Une excellente corrélation a été mise en évidence entre l'intégrale de la courbe de température et la qualité du cacao, telle que définie par ses critères physico-chimiques et organoleptiques habituels (figure 1). La température, paramètre facile à mesurer, a été choisie pour contrôler la fermentation.

La température est l'image des réactions microbiennes qui se déroulent dans la pulpe (figure 2) : fermentation alcoolique en anaérobiose, sous l'action de levures, puis fermentation bactérienne, aérobie, en présence de bactéries acétiques, qui oxydent l'alcool formé en acide acétique.

La première phase correspond à la fermentation alcoolique, peu exothermique, puisqu'une molécule de sucre transformée libère 93,3 kJ. Puis la température augmente brusquement. C'est la fermentation acétique qui libère 496 kJ par molécule d'alcool oxydée.

(1) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement-département des cultures pérennes.

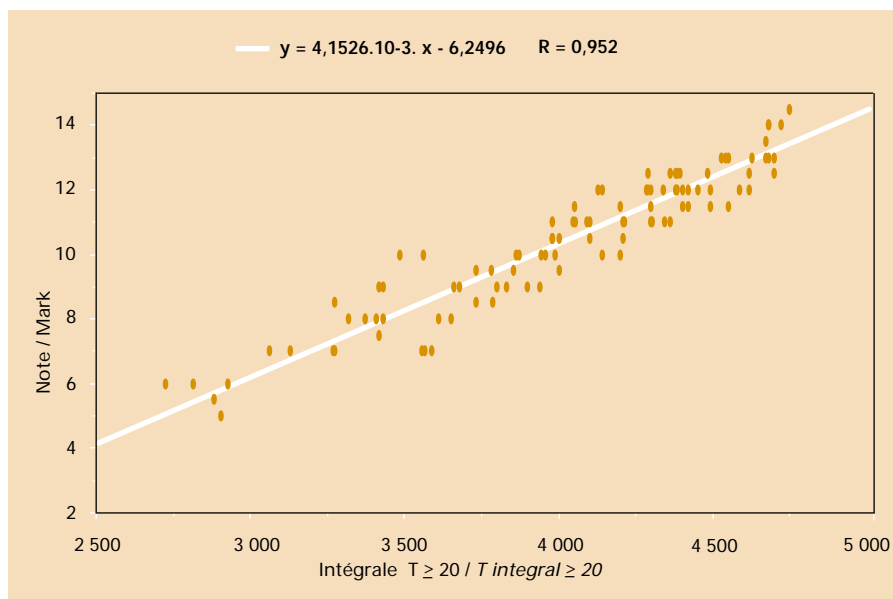


Figure 1. Partie linéaire de l'expression de la qualité du cacao en fonction de l'intégrale de la courbe de température. / Linear part of the expression of cocoa quality as a function of the temperature curve integral.

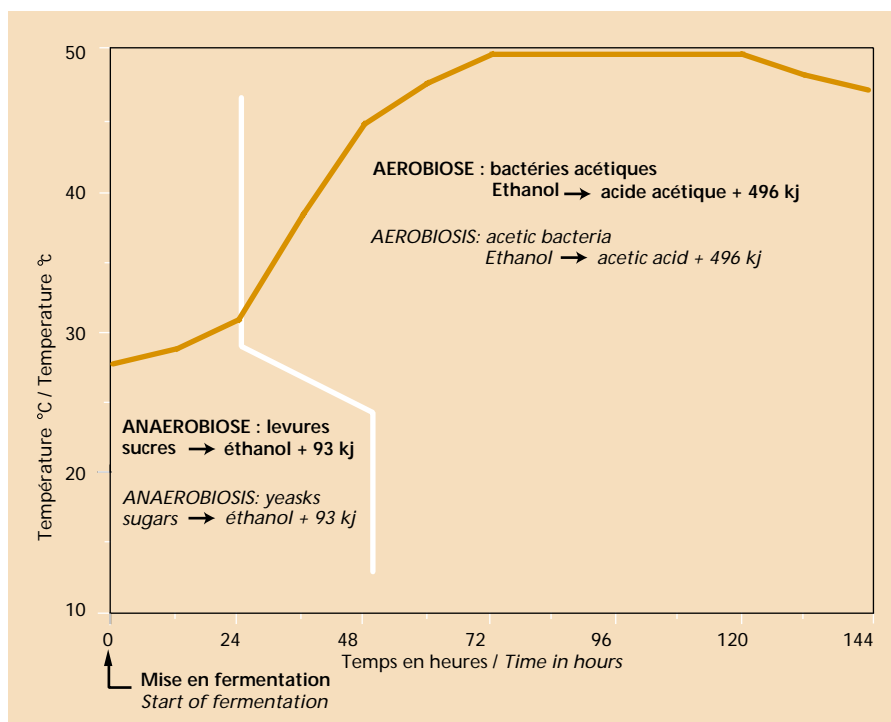


Figure 2. Courbe théorique de température de la fermentation du cacao. / Theoretical temperature curve for cocoa fermentation.

La phase aérobie doit être favorisée par un premier brassage, effectué juste au moment où elle commence. Si ce brassage intervient trop tard, la fermentation s'étouffe, et l'intégrale de la courbe de température a une valeur trop faible. A l'inverse, si le brassage intervient trop tôt, la fermentation alcoolique anaérobie est perturbée par l'introduction d'air. Des accidents de fermentation peuvent alors

avoir lieu, par exemple une fermentation lactique produisant de l'acide lactique, non volatil, qui rend le cacao irrémédiablement acide. Le moment auquel le premier brassage est réalisé est donc primordial.

Un capteur de température, placé dans la masse de cacao, transmet les informations à un processeur qui analyse l'évolution de cette température. La dérivée de

la température est suivie, et dès que son augmentation est confirmée, le processeur demande le premier brassage. Par ailleurs, des seuils de sécurité, fixés à 50 h pour le temps et à 35 °C pour la température, limitent la première phase en cas d'anomalie (figure 3).

Quand le premier brassage a eu lieu, la deuxième phase, aérobie, commence.

L'élévation de température est enregistrée par le processeur qui compare son évolution à une droite de rebut générée après un certain temps de stabilisation. La courbe de température doit s'élever suffisamment pour ne pas couper la droite de rebut. Si cela se produisait à cause d'une trop faible élévation de la température, le cacao serait déclaré de qualité inférieure, et le processeur demanderait son transfert vers des caisses de fermentation en bois, pour ne pas mobiliser le fermenteur avec du mauvais cacao. La fin de la fermentation est décidée par le processeur, lorsque l'intégrale de la courbe atteint une valeur fixée par expérience.

Cette valeur peut varier selon la destination du produit : plus faible pour un marché de type anglo-saxon, plus élevée pour les marchés belge ou français (qui produisent plus de 50 % de chocolat noir à fort arôme de cacao).

Là encore, un seuil de sécurité limite à huit jours (192 h) la durée de la fermentation. Si cette limite était atteinte, le cacao serait déclaré de qualité moyenne.

Applications du principe

Ce principe de fermentation contrôlée peut avoir plusieurs applications :

- le principe en lui-même, avec une sonde de température et le processeur miniaturisé peut être utilisé dans des installations existantes. Dans ce cas, à chaque séquence, le processeur actionne un signal sonore ou lumineux et les interventions sont effectuées manuellement ;
- le processeur peut également commander des vérins qui basculent les bacs de fermentation. C'est le cas du prototype à bacs, entièrement automatisé (figure 4). La fermentation alcoolique anaérobie se déroule dans le premier bac, dont seul le fond est percé de trous. La durée de cette phase étant brève (environ 24 h), le premier bac peut alimenter alternativement les bacs du deuxième niveau, complètement perforés, dans lesquels a lieu la fermentation acétique aérobie.

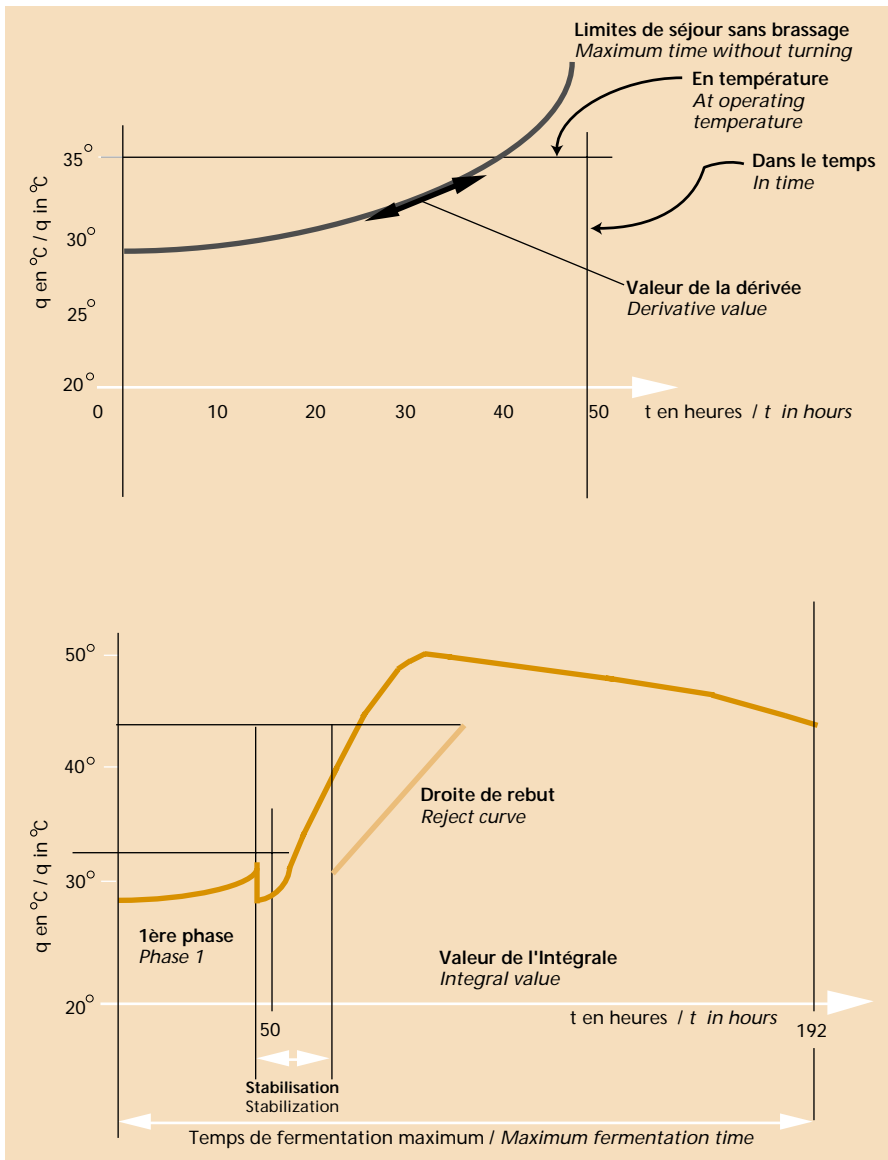


Figure 3. Traitement de la courbe de température pour les première et deuxième phases de la fermentation. / Processed temperature curve for the first and second stages of fermentation.

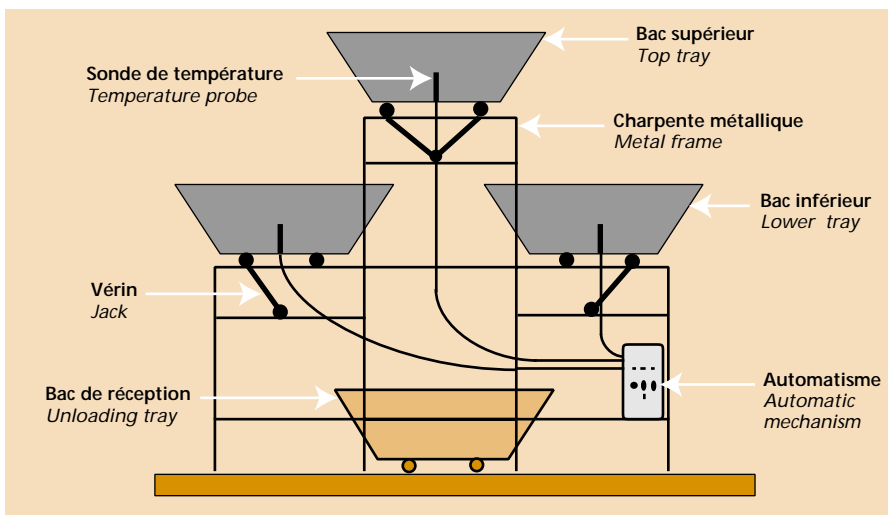


Figure 4. Schéma du fermenteur à bacs. / Diagram of the box fermentary.

Le prototype expérimenté est un module capable de traiter la production de 10 ha de cacaoyers (8 à 10 t). Le seuil de rentabilité d'une installation se situe autour de la centaine d'hectares ; dans ce cas, plusieurs modules doivent être juxtaposés et peuvent être alimentés automatiquement par un élévateur à godets monté sur rails. De même, l'évacuation du cacao vers les appareils de séchage peut être réalisée par une bande transporteuse ;

- enfin, le processeur peut commander, pour chaque brassage, la mise en route d'un moteur qui actionne un fermenteur cylindrique, dont l'intérieur est muni de doigts de brassage. L'ensemble de ce fermenteur rotatif (figure 5) est semi-automatique, puisque les opérations de chargement et de déchargement doivent obligatoirement être faites à la main.

Le fermenteur à bacs et le fermenteur rotatif ont été testés au Togo, à la station de Zozokondji, pendant deux campagnes.

Les analyses des échantillons prélevés ont montré une excellente reproductivité des critères observés, et une qualité de cacao supérieure au témoin, fermenté en caisses en bois traditionnelles.

Des deux prototypes, le fermenteur cylindrique semi-automatique est celui qui a donné les meilleurs résultats, essentiellement en raison de la meilleure homogénéisation de la masse de cacao.

Le séchoir

Tous les efforts déployés pour produire un cacao de bonne qualité sont vains, si le séchage qui suit la fermentation n'est pas maîtrisé.

Un séchage solaire donne, dans la plupart des cas, de bons résultats, mais nécessite de grandes surfaces. Le séchage artificiel devient nécessaire, dès que les quantités à traiter sont importantes. Il est actuellement réalisé sous flux d'air chaud. Il a pour avantages : rapidité et simplicité d'organisation, économie de main-d'oeuvre et de surface, obtention d'un produit très homogène, inexistence de risques de réhumidification, donc de fèves moisies. Cependant, il conduit à des produits de forte acidité volatile et exige un apport d'énergie important.

L'objectif de cette étude est de garder les avantages du séchage artificiel, tout en diminuant les inconvénients.

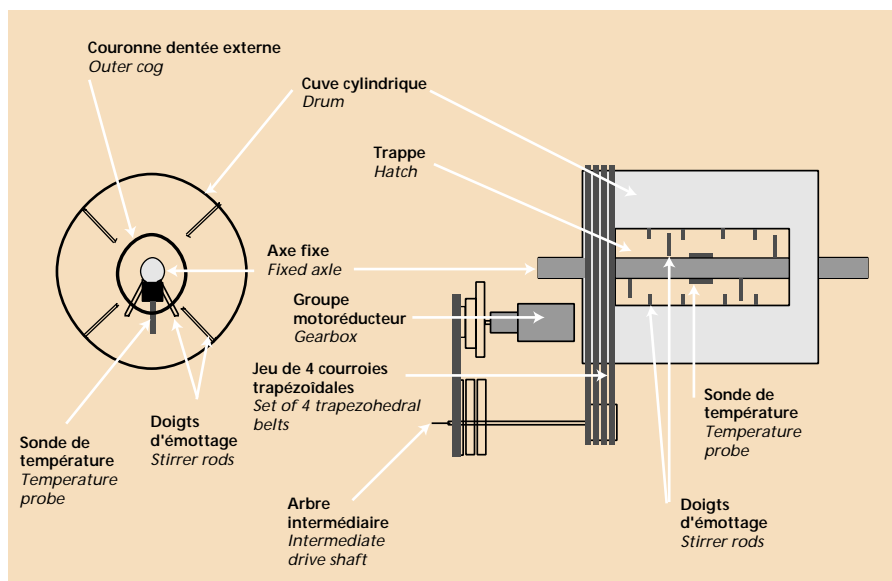


Figure 5. Schéma du fermenteur rotatif. / Diagram of the rotary fermentary.

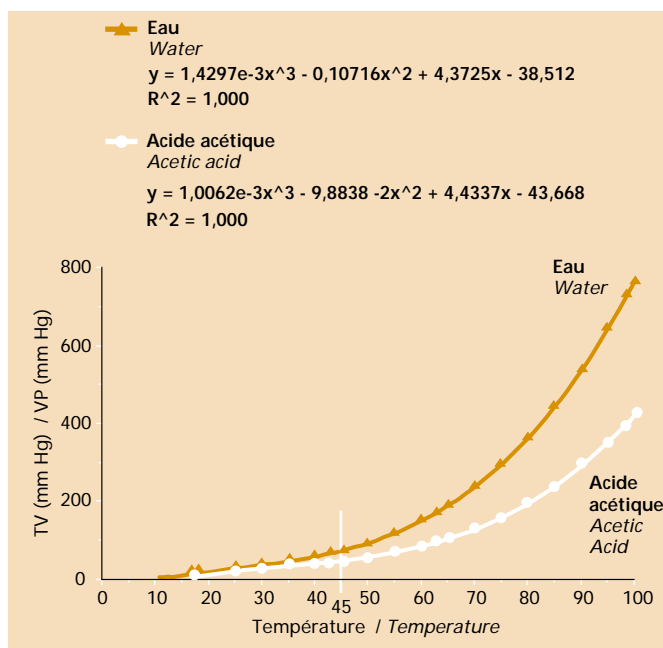


Figure 6. Evolution des tensions de vapeur (TV) de l'eau et de l'acide acétique en fonction de la température. / Water vapour pressure (VP) and acetic acid as a function of temperature.

Caractéristiques physiques du séchage

Le séchage du cacao présente la particularité d'éliminer deux composés : l'eau et l'acide acétique qui s'est formé au cours de la phase aérobie de la fermentation.

Les courbes de l'évolution de la tension de vapeur de l'eau et de l'acide acétique en fonction de la température divergent notablement à partir de 45 °C (figure 6). L'eau s'évapore en priorité, déposant en périphérie de la graine les substances dissoutes qui forment une sorte de croûte interne. Cette croûte freinera le départ de l'acide acétique, quand celui-ci s'évaporerà à son tour. Ce phénomène a été mis

en évidence par M. Jacquet : tout séchage artificiel réalisé à forte température conduit à des cacaos acides. Les chocolatiers savent traiter de tels cacaos, mais le coût de ce traitement est élevé et les cacaos acides sont, de ce fait, très dépréciés (figure 7).

Dans les séchoirs par convection, le flux d'air chaud qui lèche les fèves provoque une déshydratation rapide de la pulpe qui reste autour des graines. Une croûte externe se forme et fait barrière à l'élimination de l'eau et de l'acide acétique. Ce phénomène entraîne une consommation importante d'énergie pour une faible vaporisation. L'élimination de

ces croûtes a nécessité l'étude des cinétiques et des transferts de l'eau et de l'acide acétique à l'intérieur de la graine. Un prototype de séchoir a été conçu. Il est présenté ci-dessous.

Séchoir prototype

Principe de fonctionnement

Le séchoir prototype fait appel à deux innovations : le séchage par conduction (au lieu de la convection) et le séchage en atmosphère fermée.

Le séchage par conduction a été choisi à la suite d'une étude réalisée au Gabon qui a montré que la qualité des cacaos obtenus par ce procédé est très satisfaisante. Dans ce type de séchage, les fèves ne sont plus chauffées par l'air, mais directement par contact avec les échangeurs de chaleur et conduction de la chaleur à l'intérieur des graines. Ce sont elles qui transmettent ensuite la chaleur à l'air du séchoir. Cet air est donc plus froid que les fèves et le gradient de température qui existe de l'intérieur vers l'extérieur des graines favorise l'évaporation des composés. Par ailleurs, l'effet de croûte externe est nettement diminué, du fait de l'absence de flux d'air, et la consommation énergétique s'en trouve réduite (figure 8).

Le système fermé permet de contrôler l'ambiance du séchoir et de travailler dans des conditions proches de l'équilibre entre l'humidité relative de l'atmosphère du séchoir et la teneur en eau du cacao. Cette quasi-saturation favorise le départ de l'acide acétique, comme dans le cas d'un entraînement par la vapeur. En outre, l'air qui est rejeté à l'extérieur est complètement saturé, ce qui conduit à d'appréciables économies d'énergie, estimées à 25 %.

Description du séchoir prototype

Le prototype est composé d'un tambour en stratifié résine époxy-fibre de verre (pour conserver la chaleur) et d'un axe fixe dans lequel passent les fluides et les câbles des capteurs (pour éviter les connexions et joints tournants). L'ensemble repose sur trois jeux de roulements, dont un côté est assujéti au moteur. Les radiateurs sont constitués d'ailettes en acier inoxydable, chauffées par un fluide caloporteur. L'énergie nécessaire est fournie au séchoir par le biais d'une installation adaptée aux conditions locales d'utilisation (fioul, gaz, bois, sous-produits...). Le brassage du

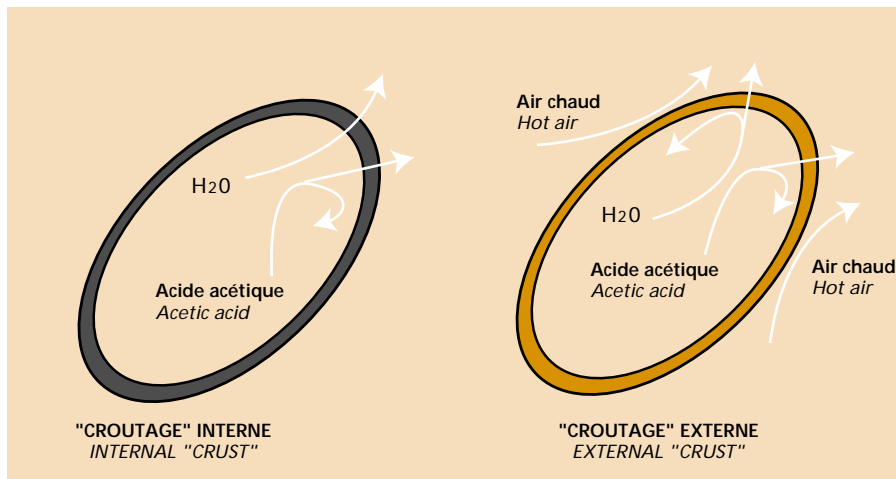


Figure 7. Les deux phénomènes de croûtage qui apparaissent lors du séchage du cacao à l'air chaud. / The two crusts that form during hot air drying of cocoa.

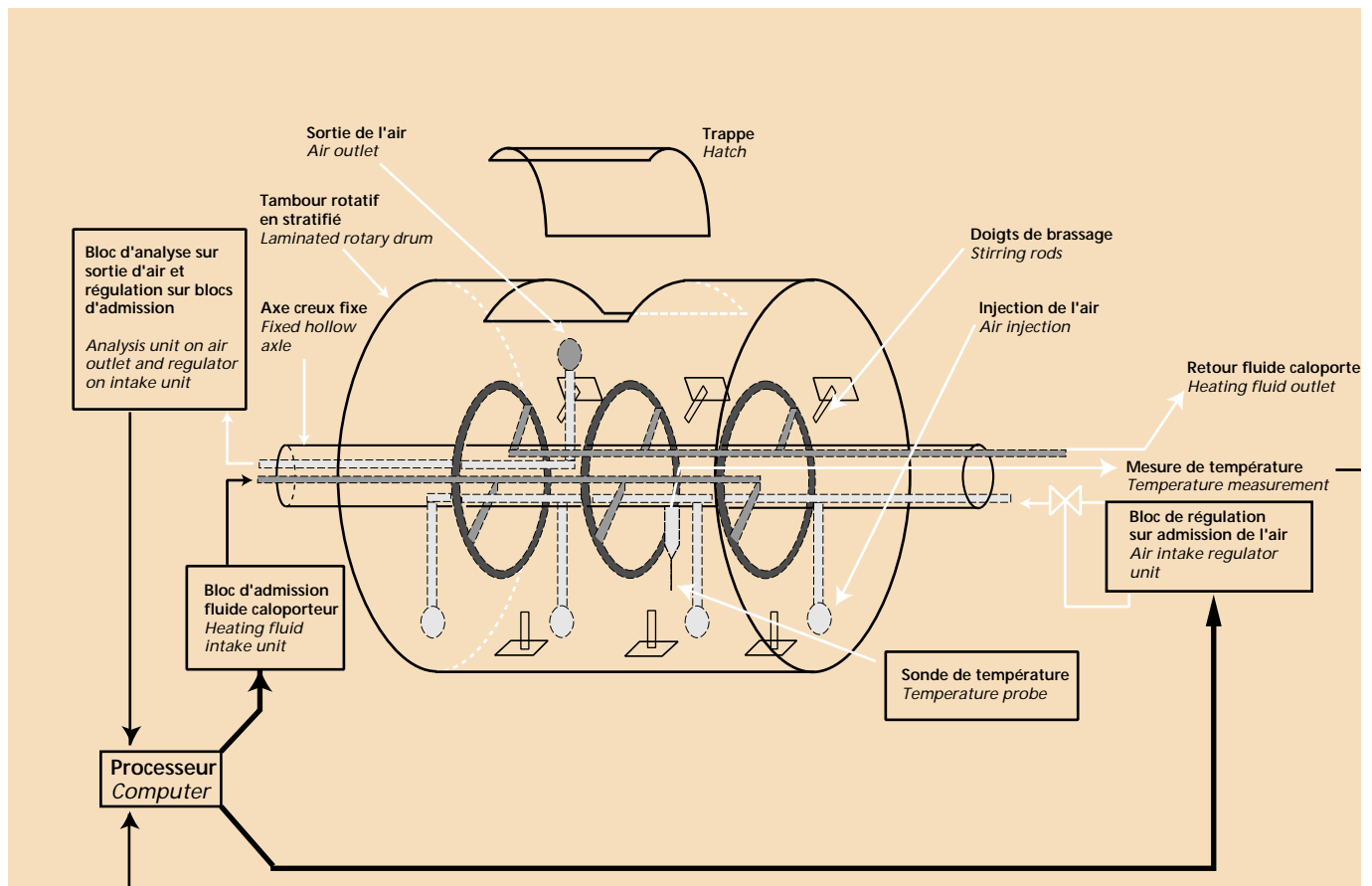


Figure 8. Schéma de principe du séchoir par conduction et en atmosphère contrôlée, pour le cacao. / Diagram of the apparatus for drying cocoa by conduction and in a closed system.

cacao est assuré par des flasques qui permettent une agitation douce. Cette agitation est modulable en fonction de l'avancement du séchage :

- en début d'opération, lorsque l'humidité relative est supérieure à 40 %, les fèves sont encore collantes et peuvent former des agglomérats qui entraînent une réduction de la régularité du séchage, en même temps qu'une augmen-

tation de la durée de l'opération (donc de la consommation énergétique). A ce stade, la vitesse de rotation, de l'ordre de 1 tr/min, provoque l'émottage du cacao, comme cela a été expérimenté avec le fermenteur ;

- en fin de séchage, les fèves deviennent plus fragiles. La programmation de la vitesse de rotation en fonction de l'humidité relative abaisse cette vitesse à

environ 0,2 tr/min, ce qui doit empêcher la formation de brisures.

Un ventilateur d'extraction, de débit réglable, permet le renouvellement de l'air ou éventuellement un séchage mixte conductif/convectif. L'air frais est amené par des tubes percés, soudés à la périphérie des radiateurs. L'air humide est évacué par les cheminées situées au dessus du niveau de cacao.

Les données suivantes sont relevées par différents capteurs :

- l'humidité relative et la température de l'atmosphère du séchoir,
- la température de la masse de cacao,
- la température du fluide caloporteur.

Tous ces capteurs sont connectés à un processeur qui décidera, grâce à huit jeux de paramètres, des différentes séquences d'extraction, de brassage et de températures à appliquer.

Ce prototype sera testé au Mexique pendant deux campagnes. Dans le programme d'expérimentation les températures de fonctionnement, les phases d'extraction, les vitesses de rotation et les durées de séchage seront définies. ■

Cette étude, entreprise en collaboration avec la SA Gauthier, a bénéficié de l'appui de l'Agence nationale pour la valorisation de la recherche, Paris (ANVAR), du ministère de la Recherche et du Conseil général de l'Hérault.

Bibliographie / References

- BAREL M., 1991. Unité de fermentation industrielle du cacao. Rapport final destiné au ministère de la Recherche et de la Technologie, Programme «Aliment 2000». Contrat n° 88 G 0168. Montpellier, France, CIRAD-IRCC, 26 p. (document interne).
- BAREL M., 1991. Contrôle physicochimique pour optimiser et automatiser l'opération de fermentation du cacao. Rapport annuel ANVAR. Montpellier, France, CIRAD-IRCC, 15 p. (document interne).
- CROS E., VILLENEUVE F., VINCENT J.C., 1982. Recherche d'un indice de fermentation du cacao. 1- Evolution des tanins et des phénols totaux de la fève. *Café Cacao Thé* 26 (2) : 109-113.
- CROS E., JEANJEAN N., 1995. Qualité du cacao influence de la fermentation et du séchage. *Plantations, recherche, développement* 2 (3) : 21-27
- DUNCAN R.J.E., GODFREY G., YAP T.N., PETTIPHER G. L., THARUMARAJAH T., 1989. Improvement of malaysian cocoa bean flavour by modification of harvesting, fermentation and drying methods : the Sime-Cadbury process. *Planter* 65 (758) : 157-173.
- GAUTHIER B., GUIRAUD J.P., VINCENT J.C., PARVAIS J.P., GALZY P., 1977. Remarques sur la flore de levures de la fermentation traditionnelle du cacao en Côte d'Ivoire. *Rev. Ferment. Ind. Aliment.* 32 (6) : 160-163.
- GORDON E. Les derniers carrés de chocolat. *Le Monde*, 17 avril 1985.
- GRIMALDI J., 1954. Etude d'un procédé individuel de fermentation du cacao au Cameroun. *In* : West African International Cocoa Research Conference, Tafo, Ghana, 12-16 déc. 1953. Londres, Grande-Bretagne, Crown agents for Oversea Governments & Administrations, p. 69-70.
- JACQUET M., VINCENT J.C., HAHN J., LOTODÉ R., 1980. Le séchage artificiel des fèves de cacao. *Café Cacao Thé* 24 (1) : 43-56.
- JACQUET M., 1989. Expérimentation d'un séchoir rotatif à tubes de vapeur pour le cacao, sur le bloc industriel d'Ebeigne (Oyem, République gabonaise). Montpellier, France, CIRAD-IRCC, 42 p. (document interne).
- LOPEZ A., QUESNEL V.C., 1972. Production of ethanol and acetic acid in the pulp during fermentation. St Augustine, Trinidad, Annual report on cocoa research, p. 52-60.
- MABETT T., 1987. How biotechnology can improve cocoa quality. *Coffee Cocoa Int.* 14 (3) : 57-59.
- NGANHOU J., LECOMTE D., DUMARGUE P., 1992. Heat and mass transfer through a thick bed of cocoa beans under stationary and transient inlet conditions. *In* : *Drying' 92. Part B. Proceedings of the 8th International drying symposium, IDS'92, Montréal, Canada, 2 - 5 août 1992.* Amsterdam, Pays-Bas, Elsevier, p. 1514-1523.
- OSTOVAR K., KEENEY P.G., 1973. Isolation and characterisation of microorganisms involved in the fermentation of Trinidad cocoa beans. *J. Food Sci.* 38 (4) : 611-617.
- PONTILLON J., 1984. La fabrication du chocolat. *Pour la Science* (86) : 58-66.
- ROELOFSEN P.A., 1958. Fermentation, drying and storage of cocoa. *Adv. Food Res.* 8 : 225-296.
- SANCHEZ VASQUEZ J.E., 1983. Etude de la fermentation du cacao. Essai de deux nouvelles techniques. Thèse de docteur ingénieur, école nationale supérieure d'agronomie, Montpellier, France, 163 p.

Cocoa processing using an integrated fermentary and dryer

Barel M.

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Cocoa post-harvest processing is increasingly carried out by smallholder groups or at commercial plantations. It comprises two main operations which govern the quality of the product : fermentation and drying. Fermentation removes the pulp surrounding the beans, and above all enables the development in the cotyledons of aroma precursors, which are essential for cocoa quality. Drying makes cocoa easier to store by reducing its moisture content from 55 to 7%. It also helps to remove the acetic acid formed during fermentation.

In view of this, CIRAD-CP launched a study of an integrated fermentary-dryer, and is currently testing prototypes.

The fermentary

Cocoa quality is highly dependent on the fermentation stage; optimum fermentation helps to produce consistently high quality cocoa that satisfies user demands.

Fermentation is currently a rather hit and miss business that often depends on the skill of the producer.

If a given quality is to be reproduced, the main factors of fermentation - turning and end-point - have to be mastered fully.

Our study was split into two stages: developing a controlled fermentation method and then implementing the method to enable automatic fermentation so as to remove the need for labour, which is often scarce at harvest time.

Principle of controlled fermentation

The first aim of the study was to define a parameter that can be used to control fermentation. It proved difficult to use probes such as pH electrodes or an oxygen meter, since cocoa mass is highly heterogeneous and contains solid, paste and liquid phases.

We detected an excellent correlation between the temperature curve integral and cocoa quality as defined by the usual physico-chemical and organoleptic criteria (figure 1). Temperature, which is easy to measure, was therefore chosen to control fermentation.

The temperature mirrors microbial reactions in the pulp (figure 2): anaerobic alcoholic fermentation under the effect of yeasts, followed

by aerobic bacterial fermentation in the presence of acetic bacteria, which oxidize the alcohol formed to produce acetic acid.

The first phase corresponds to alcoholic fermentation, which gives off little heat, since a molecule of sugar gives off 93.3 kJ when converted. The temperature then rises sharply during acetic fermentation, which gives off 496 kJ per molecule of alcohol oxidized.

The aerobic stage has to be stimulated by turning the beans right at the very beginning. If they are turned too late, fermentation is smothered and the temperature curve integral value will be too low. However, if they are turned too early, anaerobic alcoholic fermentation is hindered by the introduction of air. Fermentation incidents can then occur, such as lactic fermentation, which produces non-volatile lactic acid that makes the cocoa irreversibly acid. The point at which the beans are first turned is therefore crucial.

A temperature probe inserted into the cocoa mass transmits data to a computer which analyzes any changes. The temperature curve is monitored, and as soon as the rise in temperature is confirmed, the computer orders the beans to be turned. Moreover, safety thresholds - 50 h for the time and 35°C for the temperature - halt the first stage in the event of a malfunction (figure 3).

Turning the beans for the first time triggers the second, aerobic stage. The increase in temperature is recorded by the computer, which compares the trend with a reject curve generated after a certain stabilization period. The temperature curve should rise sufficiently for it not to cross with the reject curve. If it does coincide due to an excessively low temperature, the cocoa is classed as poor quality and the computer orders it to be transferred to wooden fermenting boxes so as not to monopolize the fermentary with poor quality cocoa. The end-point is determined by the computer once the curve integral reaches a predetermined value.

This value can vary depending on product destination: lower for English and American type markets, higher for the Belgian and French markets which produce over 50% dark chocolate with a strong cocoa flavour.

Here again, a safety threshold limits fermentation to 8 days (192 hours). If this threshold is reached, the cocoa is classed as medium quality.

Applying the principle

The controlled fermentation principle can be applied in several ways:

- the basic principle, with a temperature probe and a microcomputer, can be used in existing installations. In this case, at each stage, the computer triggers an audible or visible signal and the operations are carried out manually;
- the computer can also control jacks to tip the fermenting boxes, as in the entirely automatic prototype (figure 4). Anaerobic alcoholic fermentation takes place in the first box, of which only the bottom is perforated. This stage lasts just a short time (around 24 hours), hence the top box can feed the lower boxes alternately. Aerobic acetic fermentation takes place in these lower boxes, which are perforated on all sides.

The prototype tested is capable of handling the output from 10 ha of cocoa trees (some 8 to 10 t). The break-even point of processing installations is around a hundred hectares, and several modules would therefore have to be juxtaposed and fed automatically by a bucket elevator running on rails. Similarly, the beans could be sent to the drying apparatus on a conveyor belt;

- lastly, each time the beans are turned, the computer can trigger a motor to work a fermenting drum lined with stirrer rods. This rotary fermentary (figure 5) is semi-automatic, since it has to be loaded and unloaded by hand.

The box fermentary and the rotary fermentary were tested at the Zozokondji station in Togo for two seasons.

Analyses of samples taken revealed that the criteria observed were easily reproducible and that cocoa quality was better than the control fermented in traditional wooden boxes.

Of the two prototypes, the semi-automatic fermenting drum gave better results, primarily since the cocoa mass was more homogeneous.

The dryer

It is a waste of time trying to produce high quality cocoa unless drying, which follows on from fermentation, is mastered.

Sun drying generally gives good results, but takes up substantial amounts of space, and artificial drying is essential when processing large quantities of cocoa. Hot air drying is the current method. It has the following advantages:

Paper presented at the scientific workshop organized by the Cirad technology unit on 31st January 1995: cocoa post-harvest processing and rubber drying.

it is quick and easy to organize, saves labour and space, ensures a very homogeneous product and avoids any risks of moisture reabsorption, hence of mouldy beans. However, it produces cocoa with a high volatile acid content and is energy-intensive.

The aim of our study was therefore to keep the advantages of artificial drying whilst minimizing the drawbacks.

Physical characteristics of drying

Cocoa drying is unusual in that it removes two compounds: the water initially in the bean and the acetic acid formed during aerobic fermentation.

The curves for water vapour pressure and acetic acid as a function of temperature diverge markedly at 45 °C and above (figure 6). Water evaporates first, leaving a sort of crust of dissolved substances inside the bean, which hinders acetic acid evaporation.

This phenomenon was detected by M. Jacquet (1980): any type of artificial drying at high temperatures produces acid cocoas. Chocolate manufacturers know how to process such cocoas, but it is a costly business and acid cocoas fetch much lower prices as a result (figure 7).

In convection dryers, the hot air flowing over the beans rapidly dries out any remaining pulp. An external crust forms, hindering water and acetic acid evaporation. This phenomenon means that considerable amounts of energy are consumed for very little evaporation. To eliminate such crusts, studies were carried out of the kinetics of both water transfers and acetic acid transfers within the bean. A prototype dryer was designed, and is described below.

Prototype dryer

Operating principle

The prototype dryer makes use of two innovations: drying by conduction (rather than convection) and drying in a closed system.

Drying by conduction was chosen following a study in Gabon which showed that the cocoas produced were of high quality. In this type of drying, the beans are no longer heated by the air, but directly by contact with the heat exchangers and by heat conduction within the beans. It is the beans that then transmit heat to the air in the dryer. The air is therefore cooler than the beans and the temperature gradient from the centre to the surface of the beans favours compound evaporation. Moreover, external crust formation is kept to a minimum since there is no air flow, hence reducing energy consumption (figure 8).

Using a closed system makes it possible to control the atmosphere in the dryer and work under conditions close to an equilibrium between the relative humidity of the atmosphere in the dryer and the moisture content of the cocoa. This quasi-saturation favours acetic acid elimination, as is the case with steam distillation. Moreover, the air discharged is completely saturated, which enables substantial energy savings, estimated at 25%.

Description of the prototype dryer

The prototype comprises a drum made of laminated epoxy resin-glass fibre (heat insulator) and a fixed axle through which the probe cables and fluids are passed (to avoid the need for swivel joints and connections). The drum sits on six bearings (three each side), and one side is driven by the motor. The heat exchangers are stainless steel plates, heated by a fluid. The energy required for the dryer is supplied by an installation adapted to local conditions (heating oil, gas, wood, by-products, etc.). The cocoa is turned gently by plates, and the degree of stirring can be adjusted as the cocoa dries:

- at the start of the operation, when the relative humidity is over 40%, the beans are still sticky and can cling together, which makes drying less regular and increases the time taken

(hence energy consumption). At this stage, the speed of rotation, around 1 rpm, breaks up the lumps of beans, as seen with the fermentary.

- towards the end of drying, the beans become more fragile. The speed of rotation is programmed according to the relative humidity, and drops to around 0.2 rpm, which should avoid broken beans.

A programmable extractor fan is used to renew the air and can also combine conduction and convection drying. The fresh air is supplied through perforated tubes fixed to the edges of the heat exchangers. The damp air is discharged through shafts located above the level of the cocoa.

The following data are recorded by different probes:

- the relative humidity and temperature of the atmosphere in the dryer
- the temperature of the cocoa mass
- the temperature of the heating fluid.

All these probes are connected up to a computer which uses eight sets of parameters to determine the different extraction, turning and temperature sequences to be used.

The prototype is due to be tested in Mexico for two seasons, during which time the operating temperature, extraction phases, speeds of rotation and drying times will be defined. ■

This study, undertaken in conjunction with Gauthier SA, received financial support from *Agence nationale pour la valorisation de la recherche*, Paris (ANVAR), the French Ministry of Research and the *Conseil Général de l'Hérault*.