

224

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION
(ORSTOM)
CENTRE D'ADIOPODOUME

B.P. V51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire de Génétique

Opération conjointe ORSTOM-IRCC

UTILISATION DE L'AIR CHAUD PRODUIT PAR UN
CLIMATISEUR POUR LE SÉCHAGE D'ÉCHANTILLONS DE CAFÉ
EN CÔTE D'IVOIRE

D. LE PIERRES
F. LE ROY

COPYRIGHT ORSTOM

Décembre 1985

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 21.932 ext

Cote : B



RÉSUMÉ

Les études entreprises en Côte d'Ivoire par l'IRCC et l'ORSTOM sur les caféiers nécessitent pour leurs analyses, la préparation d'un grand nombre d'échantillons de café de taille variable et de bonne qualité. Le séchage solaire ou à l'étuve ne peut pas répondre de manière convenable à ces exigences ; c'est pourquoi dès 1979 a été mis au point une armoire ventilée, qui récupère l'air chaud évacué à l'extérieur par un climatiseur domestique pour le séchage des échantillons. Après un exposé critique du principe de séchage par entraînement appliqué au café, les auteurs mettent en relief les performances de leur méthode qui s'avère :

- économique en énergie et en main d'œuvre
- rapide avec une efficacité 71 fois supérieure au séchage solaire
- adaptée pour les préparations d'échantillons de bonne qualité nécessaires aux différentes analyses
- reproductible à volonté dans des conditions standardisables quelles que soient la nature des produits ou la saison pour avoir des échantillons sains de bonne qualité.

Cette technique, qui précise les conditions de séchage que devraient respecter les professionnels du café : planteurs ou industriels, peut être étendue à d'autres produits comme le cacao ou le riz.

Tableau I - Présentation des difficultés de séchage des récoltes en fonction de quelques caractéristiques climatiques en basse Côte d'Ivoire.

Moyennes * climatiques		Grande saison sèche				Grande saison des pluies				Petite saison sèche		Petite saison des pluies		AN
		Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	
H. d'insolation par jour		5,1	5,9	6,6	6,6	6,5	5,7	4,1	3,1	2,1	3,0	5,2	6,5	5,1
Nombre de jours de pluie		7	8	4	8	10	16	22	13	8	12	15	12	130
Température sous abri	Min. (°C)	22,3	22,3	23,2	23,5	23,5	23,2	22,6	21,9	21,5	22,1	22,1	22,7	22,6
	Max. (°C)	30,4	31,1	31,9	32,1	31,8	30,8	28,7	27,7	27,3	28,1	29,3	30,5	29,9
Pression de vapeur d'eau (mb)		29,7	28,4	29,7	29,9	30,2	30,2	28,8	27,0	26,5	27,0	28,3	29,4	28,7
Température de condensa- tion (°C) rosée		23,4	22,4	23,7	23,9	24,1	24,7	24,1	22,8	22,4	22,5	23,5	24,2	23,6

Rosée nocturne	++	+	++	++	++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	
Difficulté de séchage diurne													
Epoques de récolte du café													Robusta divers

* D'après : Données climatiques recueillies de 1948 à 1984 à Adiopodoumé (B.A. MONTENY - 1985)

INTRODUCTION

Le séchage des denrées agricoles, telles que le café, le cacao ou le riz, produites en zones intertropicales chaudes et humides est souvent difficile et imparfait. Cela nuit à leur conservation et à la valeur marchande de ces productions locales. Il est établi en basse Côte d'Ivoire que les principales difficultés de séchage proviennent des faibles durées d'insolation et de la réhumidification nocturne sur tous les mois de l'année (tableau I).

Dans le cadre du programme d'amélioration des caféiers, l'IRCC et l'ORSTOM préparent chaque année plusieurs milliers d'échantillons de café destinés à subir les mesures courantes de granulométrie, rendement en café marchand, taux de caféine, tests de dégustations, etc... Le besoin d'obtenir un grand nombre de lots de café vert, de façon reproductible et standardisée, et cela dans des conditions qui autorisent leur utilisation pour un grand éventail d'analyses, est donc vivement ressenti.

Traditionnellement ces échantillons sont préparés selon une des deux méthodes, voie sèche ou voie humide, rappelées par la figure 1 (2). Mais les exigences citées plus haut nous ont conduits à reconsidérer le schéma usuel, principalement dans sa phase de séchage solaire.

Nous présentons ici le procédé de séchage par air chaud de climatiseur mis au point à la Station IRCC de Divo en 1979. Nous verrons que ce système, outre sa commodité, a permis de résoudre de façon satisfaisante la majeure partie des problèmes posés.

CRITIQUE DE LA MÉTHODE DE PRÉPARATION D'UN ÉCHANTILLON

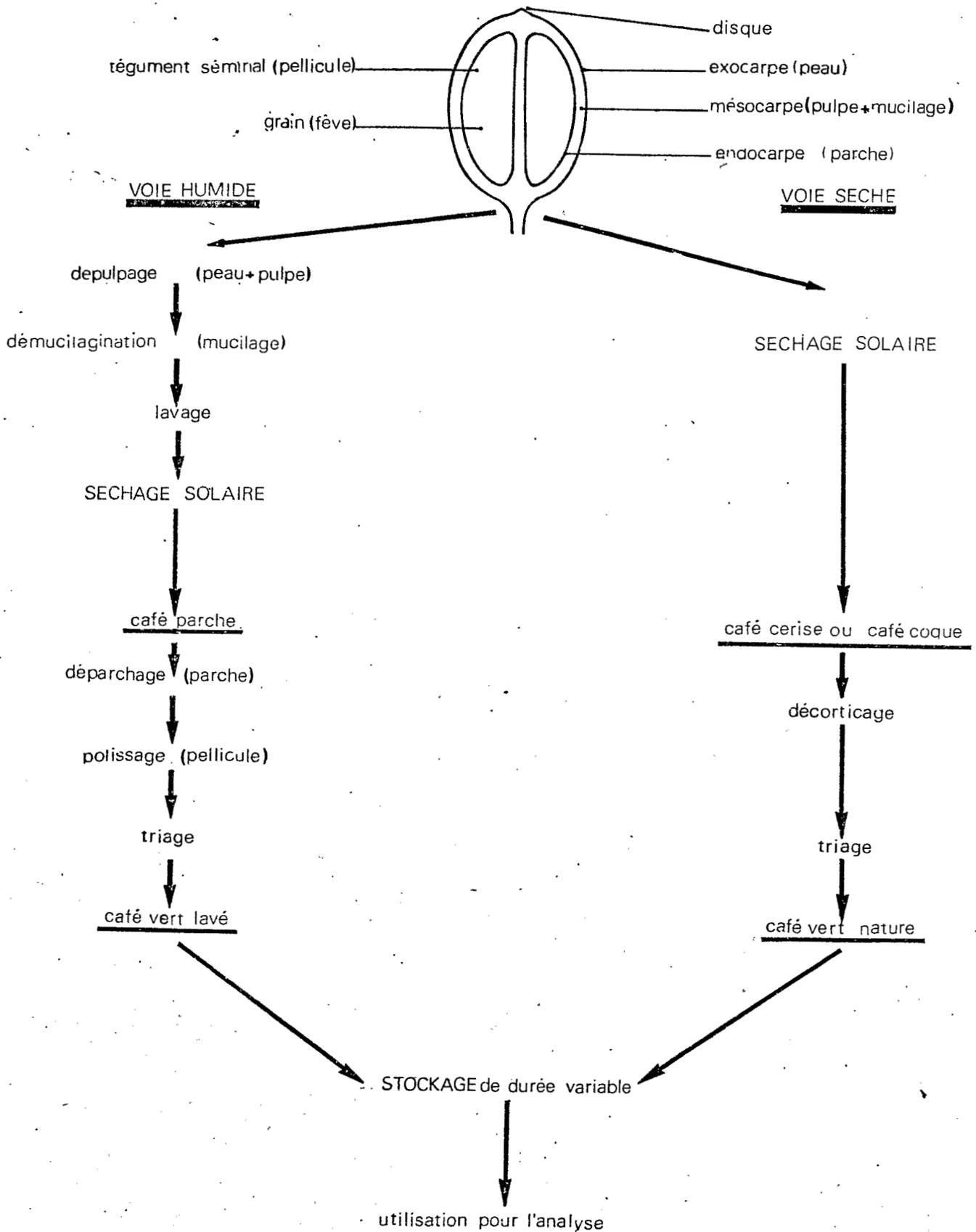
Comme tout produit biologique, le café évolue au cours du temps. Tout au long de sa transformation et de son stockage, il est le lieu des réactions chimiques, enzymatiques, d'attaques d'insectes ou de microorganismes qui vont modifier ses caractéristiques chimiques et physiques, ses qualités gustatives et son aspect.

AMORIM (H.V.) et al. (1) ont mis en évidence lors de la cueillette et de la manipulation des cerises, des réactions d'hydrolyse et d'oxydation dues à des enzymes endogènes du fruit et à l'action de microorganismes.

Selon VINCENT (J.C.) (9), CROS (E.) (5) et GUYOT (B.) (6) le stockage prolongé des cerises en tas, avant le dépulpage ou le séchage peut provoquer des fermentations alcooliques. La présence d'alcool peut alors initier la synthèse des esters responsables du défaut connu sous la dénomination fèves "puantes".

Au cours du trempage des cafés verts, on a pu montrer la diffusion de divers constituants, sels minéraux, sucres, caféine ou acide chlorogénique, dont les teneurs décroissent au cours du séjour sous l'eau. Toujours au cours du trempage, des fèves puantes peuvent apparaître en raison d'une surfermentation (6). WOTTON (A.E.) (13) montre qu'au cours de cette phase, le métabolisme respiratoire se poursuit, entraînant la dégradation de sucres simples en CO_2 et H_2O .

Figure 1 : Illustration des opérations technologiques classiques conduisant à la préparation des échantillons (inspirée de (2)).



Au cours du séchage, un certain nombre de phénomènes annexes à l'élimination de l'eau se produisent.

Le café subit alors une élévation de température qui favorise les réactions dites de Maillard. A notre connaissance ces réactions n'ont pas été spécifiquement étudiées chez le café. Cependant, on peut prévoir qu'elles s'effectuent à une allure maximale pour les fortes teneurs en eau du produit ; cette allure croissant avec la température d'après LONCIN (7).

Lorsque le séchage a lieu à l'air libre, le café est soumis à un fort rayonnement qui peut induire des modifications physico-chimiques ; les transformations des pigments du café vert, en particulier, ont été démontrées par GIBSON (A.) (5). Par ailleurs, J. ZULUAGA VASCO et R. TABACCHI (14) ont montré que la pulpe des cerises de café séchées au soleil s'enrichissait en phénols totaux et, en tannins.

La phase de stockage est une période longue, c'est au cours de celle-ci, si les conditions d'humidité relative sont trop élevées, que deviennent perceptibles certaines réactions à cinétique lente. Parmi celles-ci, citons les réactions enzymatiques sous l'effet de peroxydases, amylases et protéases endogènes, et au rang des réactions non enzymatiques, le blanchissement externe. Par ailleurs, c'est au cours du stockage que les risques de dommages par les insectes et les moisissures sont les plus grands, occasionnant des pertes en matière sèche et l'apparition de mauvais goûts. WILBAUX (R.) et HAHN (D.) (12), CORTE DOS SANTOS (A.) *et al.* (3) ont montré l'influence de l'activité de l'eau sur le déroulement de ces phénomènes.

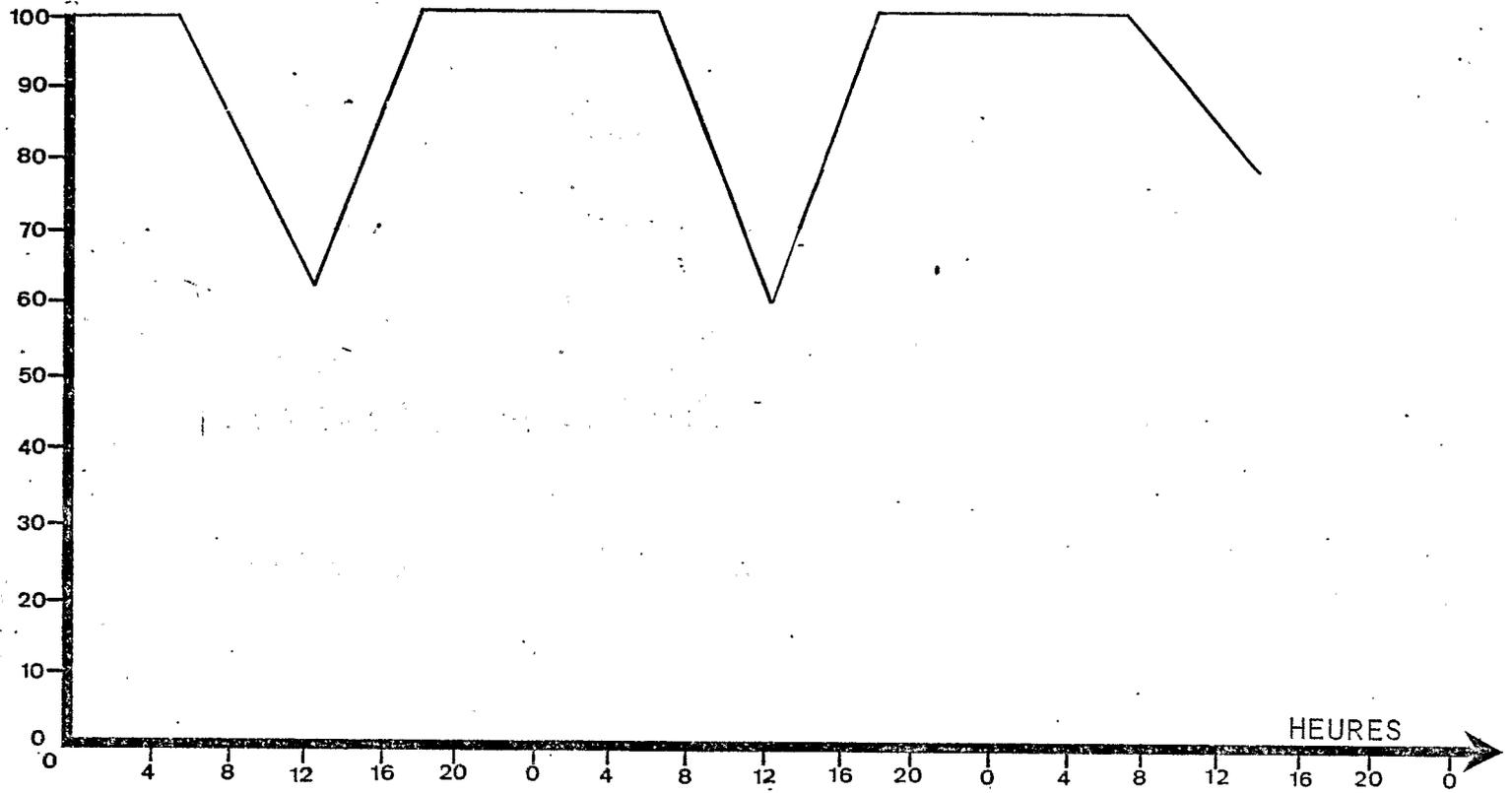
Dans la pratique, un stockage à une humidité relative de l'air de 65 % permet de conserver les qualités commerciales. Mais semble-t-il, il faut abaisser cette valeur jusqu'à 50 % pour obtenir la stabilité des populations microbiennes, de la couleur et des qualités organoleptiques. Cela ne signifie pas que dans de telles conditions le café soit stable. En particulier, les réactions enzymatiques sont toujours actives (11).

De plus une déshydratation poussée peut avoir une action fortement stimulante sur l'oxydation des produits lipidiques (7).

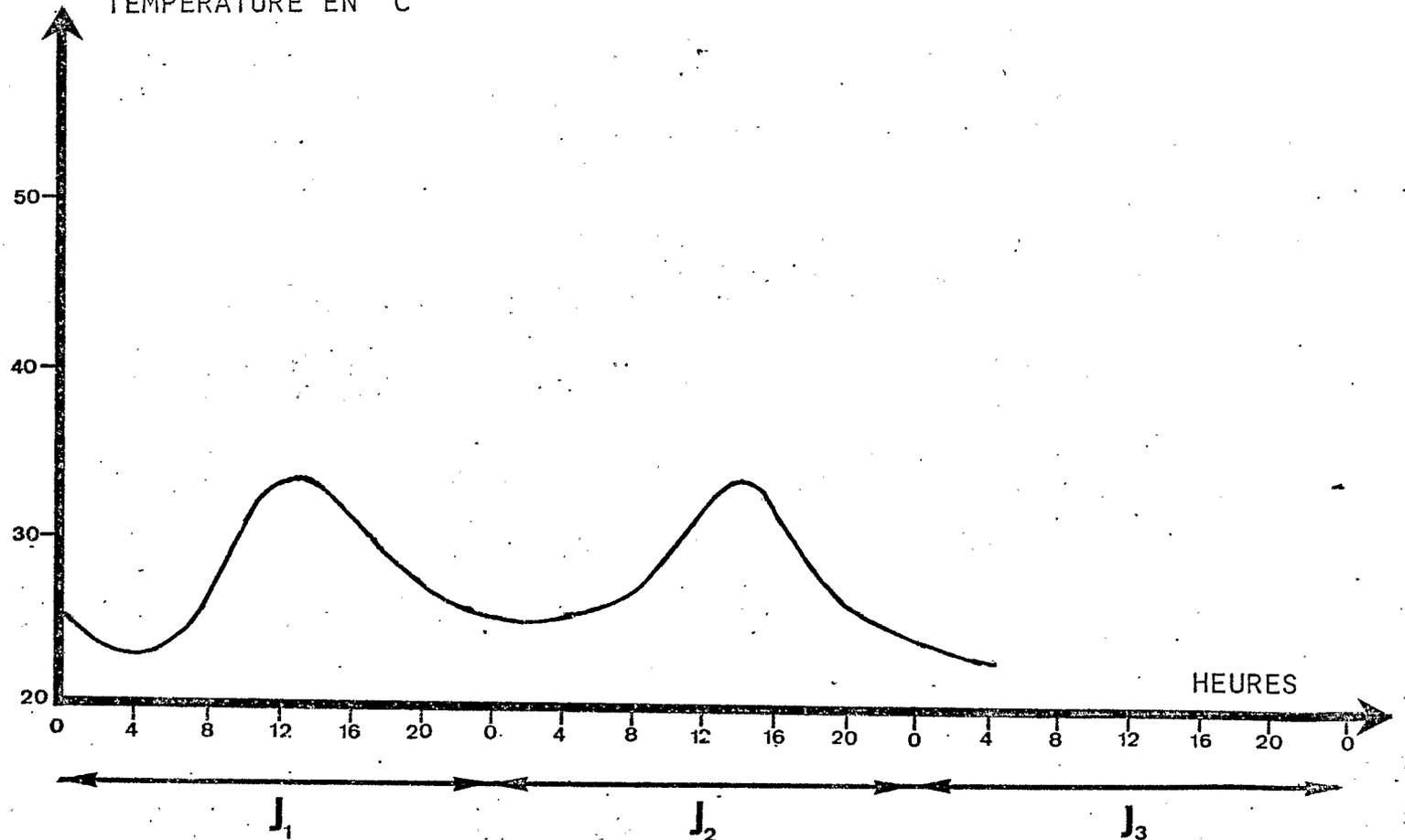
Sans être exhaustive, cette liste démontre que les caractéristiques physico-chimiques du café subissent des modifications non négligeables entre la cueillette et le moment où l'échantillon parvient au laboratoire d'analyses. En outre, ces modifications sont fonction des événements survenus au cours de la vie de l'échantillon. Il est donc souhaitable de rendre le traitement des échantillons le moins dégradant possible et de le standardiser. De ce point de vue, les techniques usuelles de cueillette, dépulpage et fermentation sous eau ne posent pas de problèmes. Pour de petites quantités, il est possible de réduire au minimum les délais entre cueillette, dépulpage et mise en fermentation et d'effectuer cette dernière opération avec une durée et une qualité d'eau constantes.

Graphique I : Enregistrement des conditions d'humidité relative et de température ambiante sur trois jours.

% D'HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR



TEMPÉRATURE EN °C



En revanche, le séchage solaire n'est nullement adapté à ces exigences. En effet, dans les régions intertropicales chaudes et humides le séchage est long et souvent imparfait. Le tableau I qui présente les moyennes de quelques données climatiques recueillies en basse Côte d'Ivoire montre que pendant les mois de récolte de café la réhumidification nocturne par la rosée et les faibles durées d'insolation rendent difficile l'obtention de produits sains et de qualité de séchage homogène. Par ailleurs, le séchage solaire étant évidemment non reproductible, il ne peut être question de standardisation du traitement technologique du café, lorsqu'on utilise cette méthode.

La cryodessiccation citée par certains auteurs : GIBSON (A.) (5) et JULUAGA VASCO (J.), serait sans doute la seule technique de séchage neutre. Elle est rapide, assure un séchage poussé et s'effectue dans des conditions défavorables aux réactions parasites. Cependant, c'est une technique coûteuse et qui peut apparaître comme un luxe dans le cas des analyses courantes effectuées. D'autre part, le café séché selon cette technique est impropre à la dégustation (5).

Un simple séchage par convection correspond mieux aux besoins définis par l'étude bibliographique qui précède.

Nous savons que le séchage doit se dérouler à température moyenne pour ne pas favoriser les réactions de Maillard, tout en plaçant rapidement le café dans un état de siccité poussée afin de limiter les phénomènes chimiques et biologiques évoqués plus haut. Une étuve électrique peut bien sûr assurer de telles fonctions. Cependant, la masse d'échantillons à traiter pose rapidement le problème de la capacité de séchage, à moins de multiplier le nombre des étuves.

Il nous a semblé plus judicieux d'utiliser la chaleur dissipée par le serpentin de condensation d'un climatiseur. L'air ainsi réchauffé est une source de calories gratuites et abondantes dont les caractéristiques coïncident avec nos besoins, comme nous le verrons dans la suite de cet article.

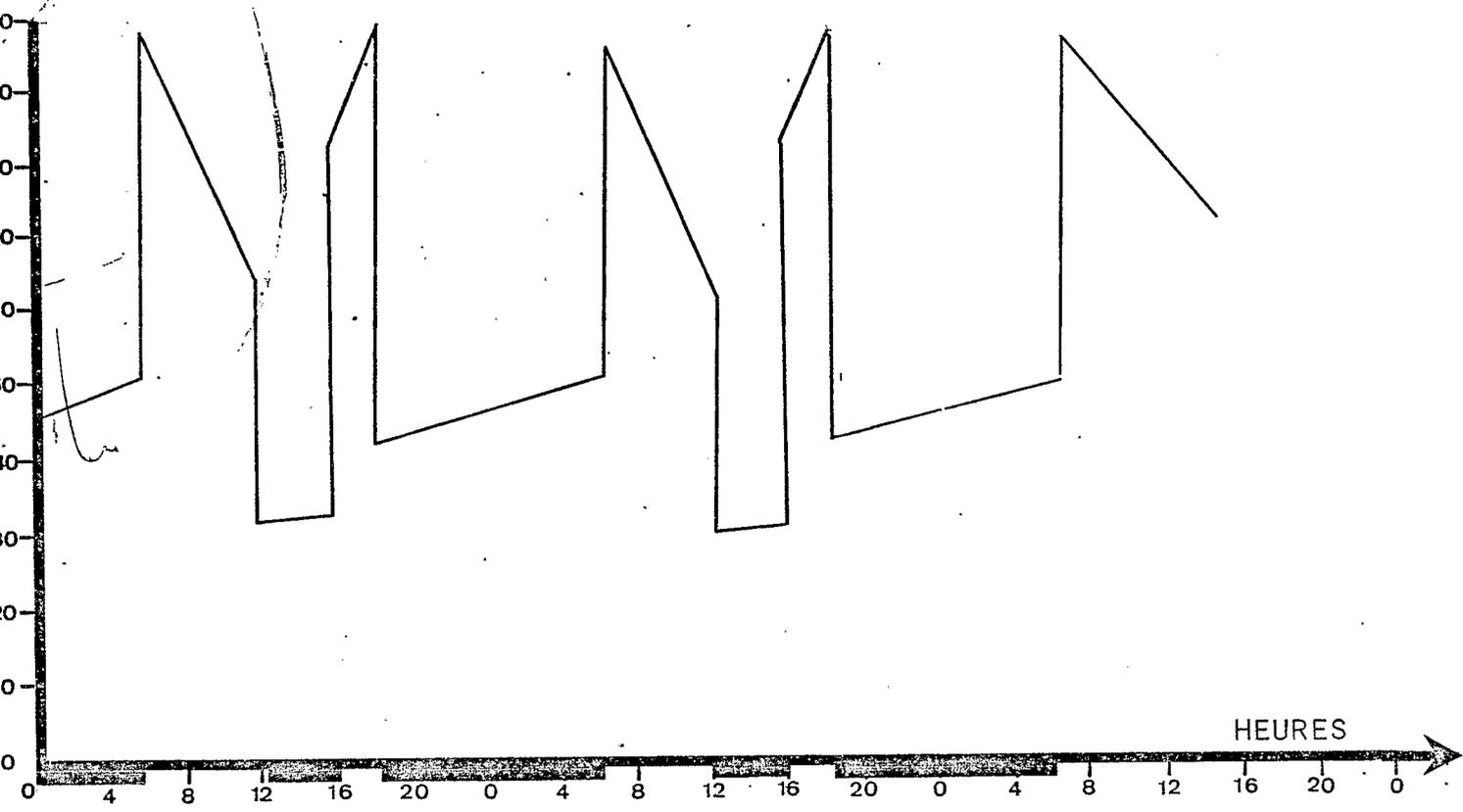
CARACTÉRISTIQUES DE L'AIR RECHAUFFÉ PAR UN CLIMATISEUR

Cette étude a été menée en janvier 1985 sur la Station IRCC de Divo. Les conditions de température et d'humidité relative au cours de la journée sont représentées par les courbes A et B du graphique I.

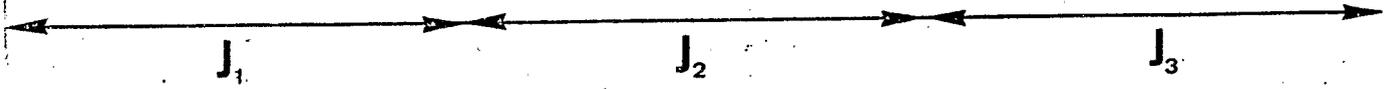
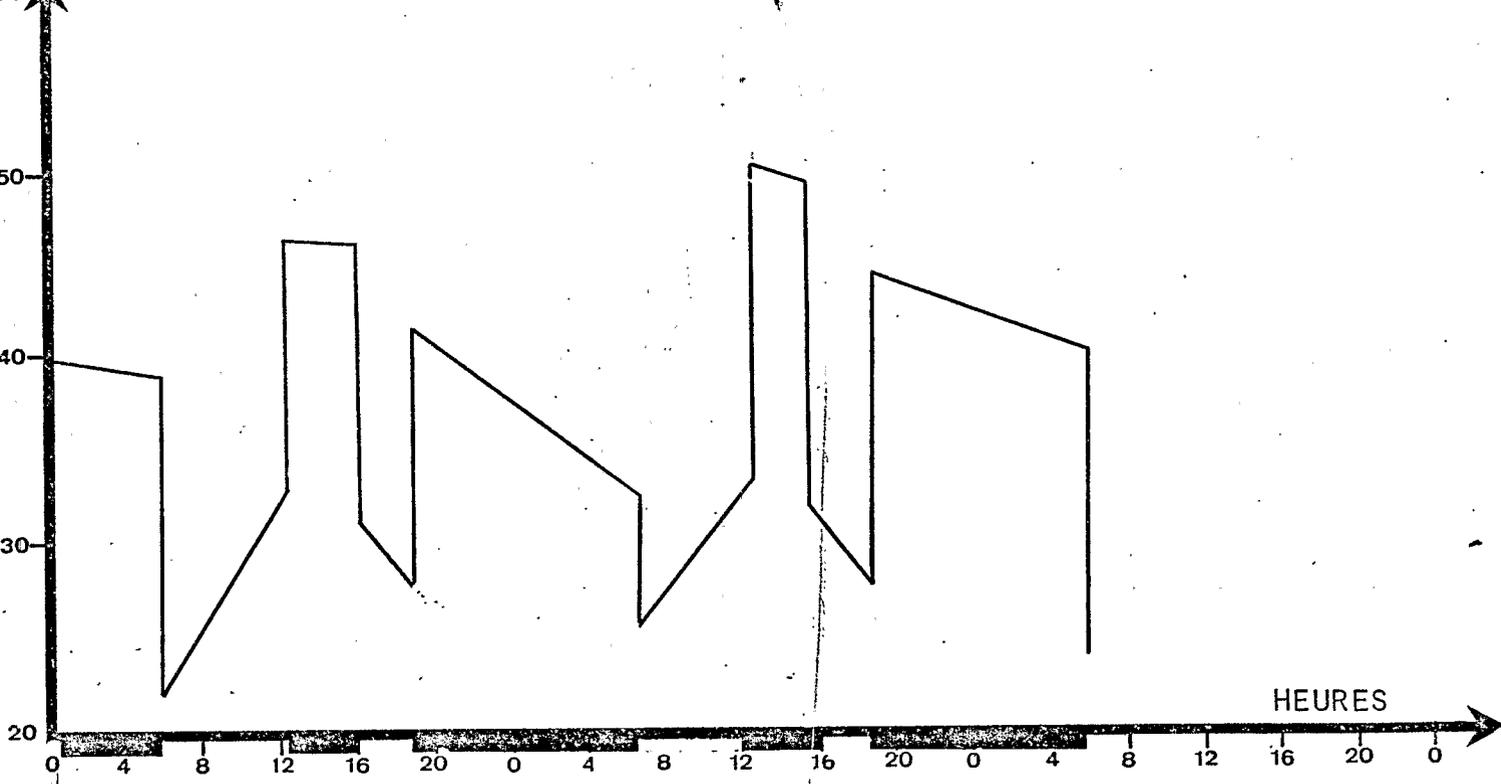
Le climatiseur que nous avons utilisé assure le conditionnement à 25°C d'un laboratoire, d'environ 70 m³. Ses caractéristiques sont les suivantes : modèle classique, de 1,66 kW (2,25 CH) de puissance, débitant 0,25 m³ d'air chaud par seconde vers l'extérieur à la vitesse de 2 m.s⁻¹, ce qui correspond approximativement à une puissance dissipée de 4,9 kW. Après passage sur le serpentin de condensation, l'air réchauffé est canalisé dans une armoire en contreplaqué de 2 x 1,20 x 0,30 m (cf. photo), où il circule à la vitesse de 0,5 m.s⁻¹ de haut en bas grâce à une ventilation forcée située à la base. La fourniture

Graphique II : Enregistrement des conditions d'humidité relative et de température dans l'armoire sur trois jours.

% D'HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR



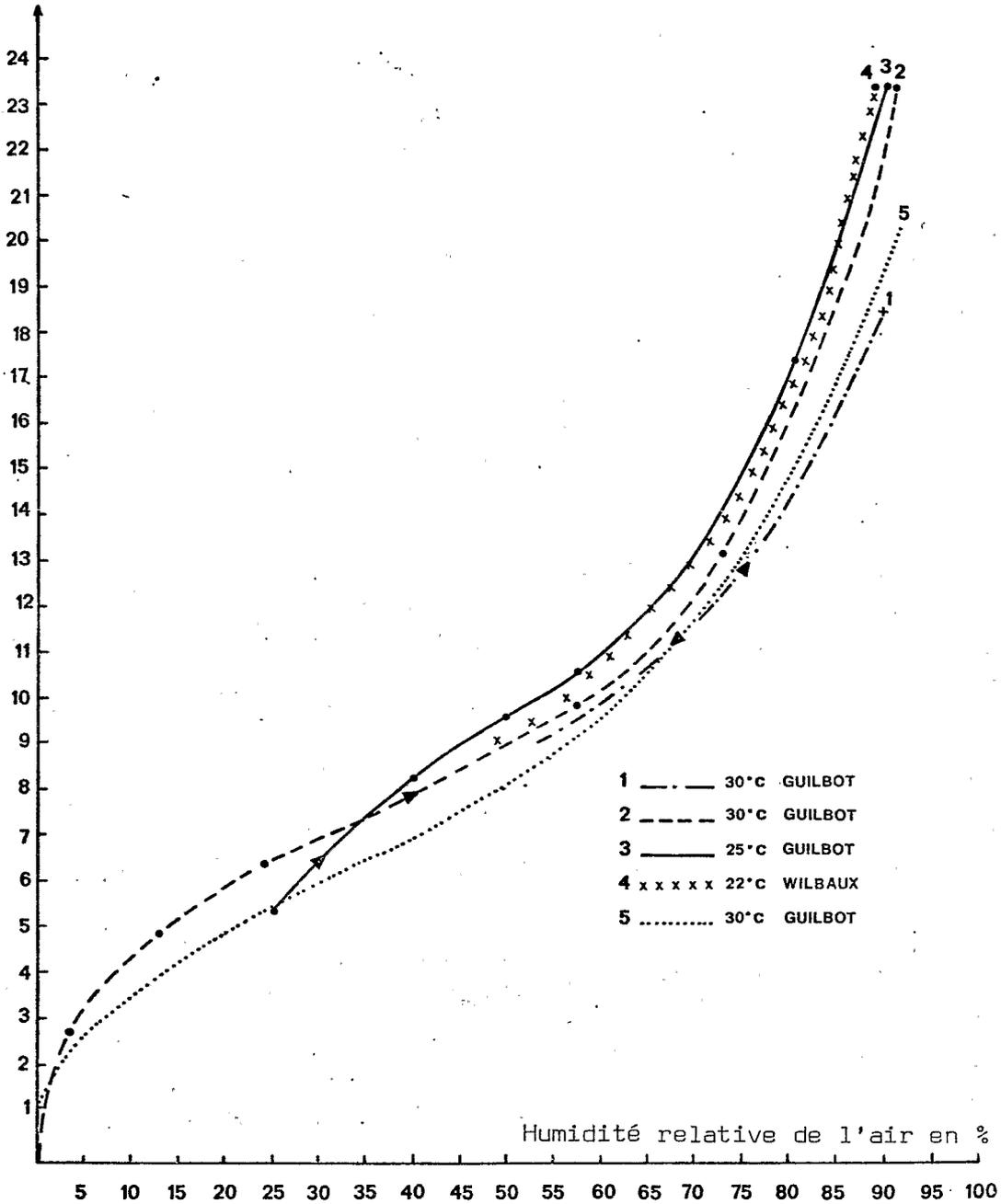
TEMPÉRATURE EN °C



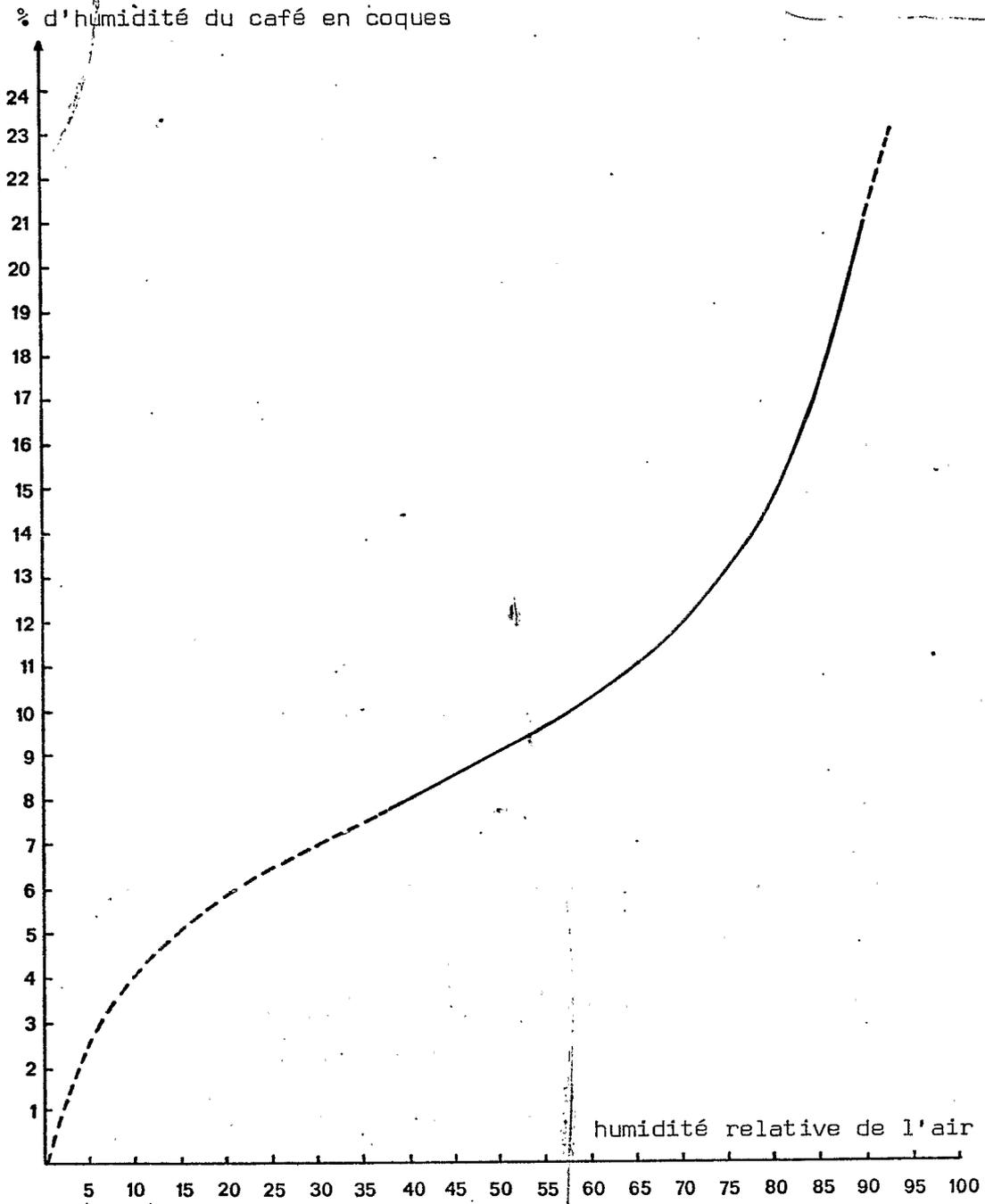
NB : Périodes de fonctionnement du groupe électrogène

Graphique III : Courbes de sorption/désorption du Café Robusta vert (graphique tiré de 12).

% d'humidité du café marchand



Graphique IV : Courbe de sorption établie sur des coques de café à 29°C (Document IFCC Nogent le 18.3.69).



du courant est assurée par un groupe électrogène qui fonctionne de 12h30 à 16h et de 18h30 à 7h, soit 15 heures de climatisation par jour.

Nous avons enregistré les courbes de température et d'humidité à l'intérieur de l'armoire (courbes A et B du graphique II.).

Lorsque le climatiseur fonctionne, l'hygrométrie de l'air ainsi réchauffé est maintenue la nuit entre 40 et 50 % à la température de 42°C, et l'après-midi entre 30 et 35 % pour une température de 48°C. Hors des périodes de fonctionnement les conditions à l'intérieur et à l'extérieur de l'armoire sont similaires.

L'air réchauffé par le climatiseur devient donc utilisable pour le séchage par entraînement jusqu'à une activité de l'eau notée a_w^* de 30 % à 48°C. Pour le café en coques ou vert en grains, une telle valeur correspond sur les courbes de sorption à des teneurs en eau inférieures à 7 %, soit un séchage poussé (11) qui est illustré par les graphiques III et IV.

APPLICATION DU PROCÉDÉ AU SÉCHAGE DU CAFÉ

Nous avons utilisé l'armoire pour sécher des échantillons de café en cerises et en parches de 0,7 kg environ. Les échantillons sont disposés dans des casiers en bois de 30 x 10 x 5 cm dont le fond en moustiquaire laisse passer l'air. Les casiers sont empilés sur 16 niveaux (numérotés de 1 à 16 à partir du bas) à raison de 12 par étage.

SECHAGE DE CERISES DE CAFE

Les cerises utilisées sont issues de plants Robusta de la Station de Divo. Leur teneur en eau initiale rapportée à la masse totale est de 59 %. L'évolution de la teneur en eau du café a été suivie par la perte de poids au cours du temps de deux échantillons fixes de chacun des niveaux 2, 8, 14 et 16. Par ailleurs, nous avons mesuré l'hygrométrie et la température au sommet et à la base de l'armoire.

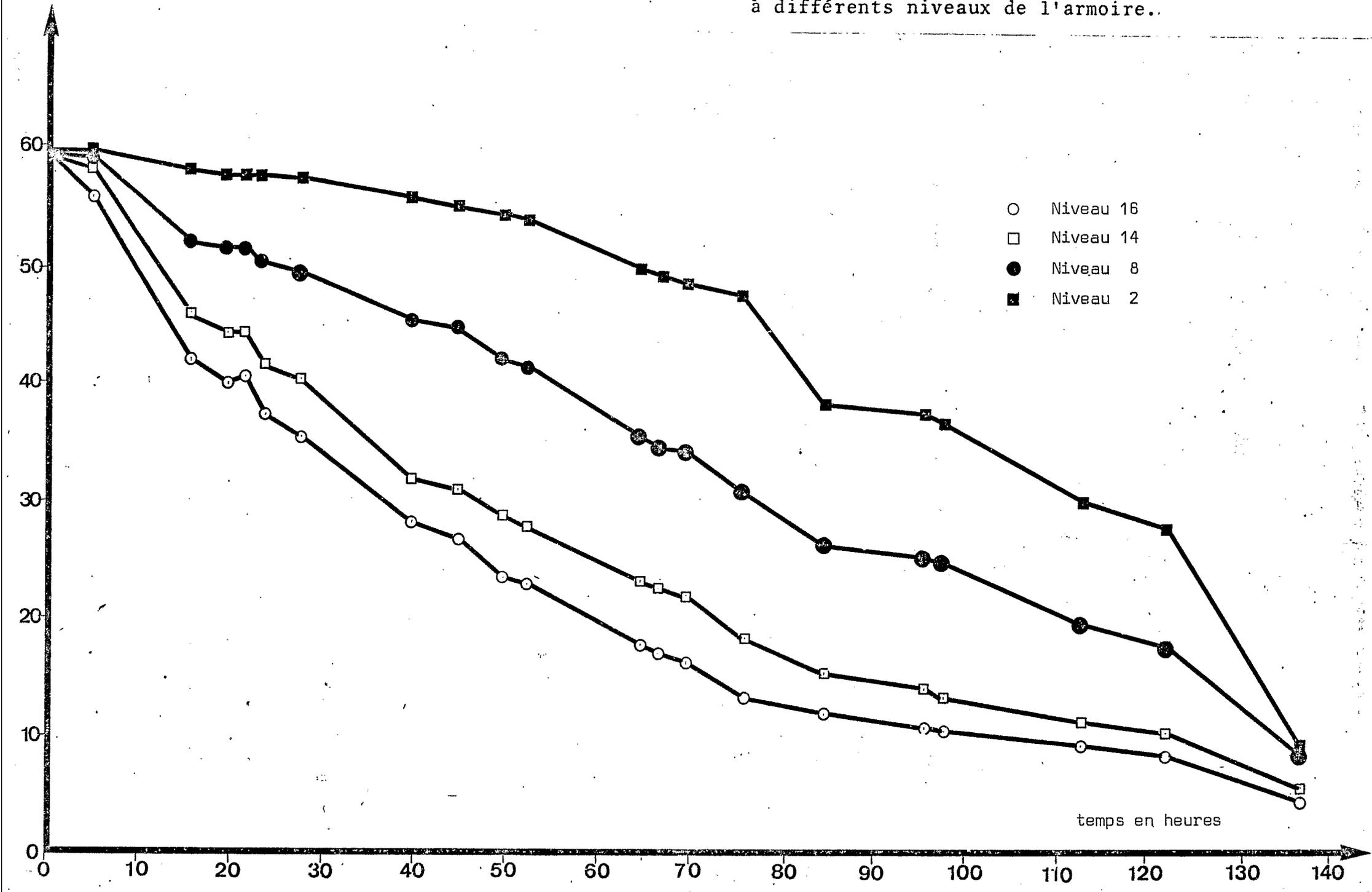
Les résultats sont consignés sur les courbes des graphiques V, VI et VII.

Le séchage dans l'armoire permet d'atteindre des teneurs en eau de l'ordre de 5 %. Cela est légèrement inférieur aux 7 % escomptés, mais cette valeur était lue sur une courbe de sorption du café coque à 29°C, or au cours du séchage, le produit est à une température de l'ordre de 40°C. L'écart constaté peut s'expliquer

* a_w selon LONCIN (7) l'activité de l'eau d'un produit est égale au rapport entre la pression partielle de l'eau dans un gaz en équilibre avec ce produit et la pression de vapeur d'eau à la même température. Ce rapport est aussi par définition le degré hygrométrique ou humidité relative du gaz. L'activité de l'eau est donc égale à l'humidité relative d'équilibre.

% teneur en eau sur matière humide

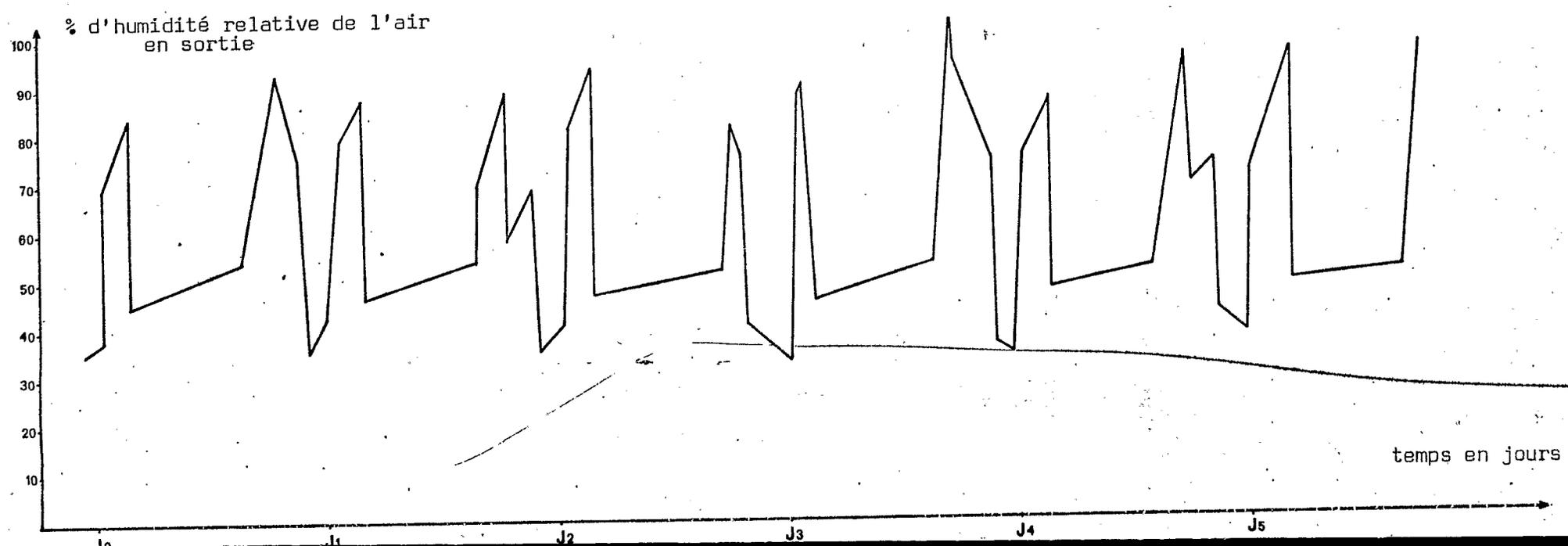
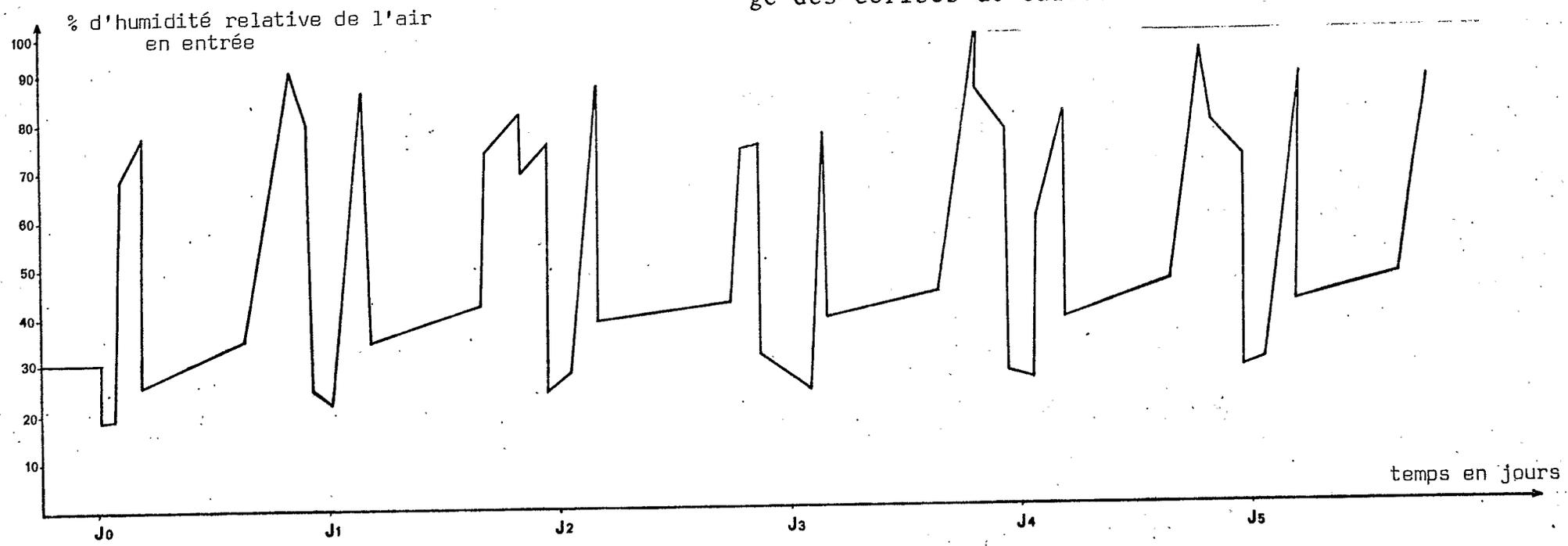
Graphique V : Evolution de la teneur en eau des cerises de café à différents niveaux de l'armoire..

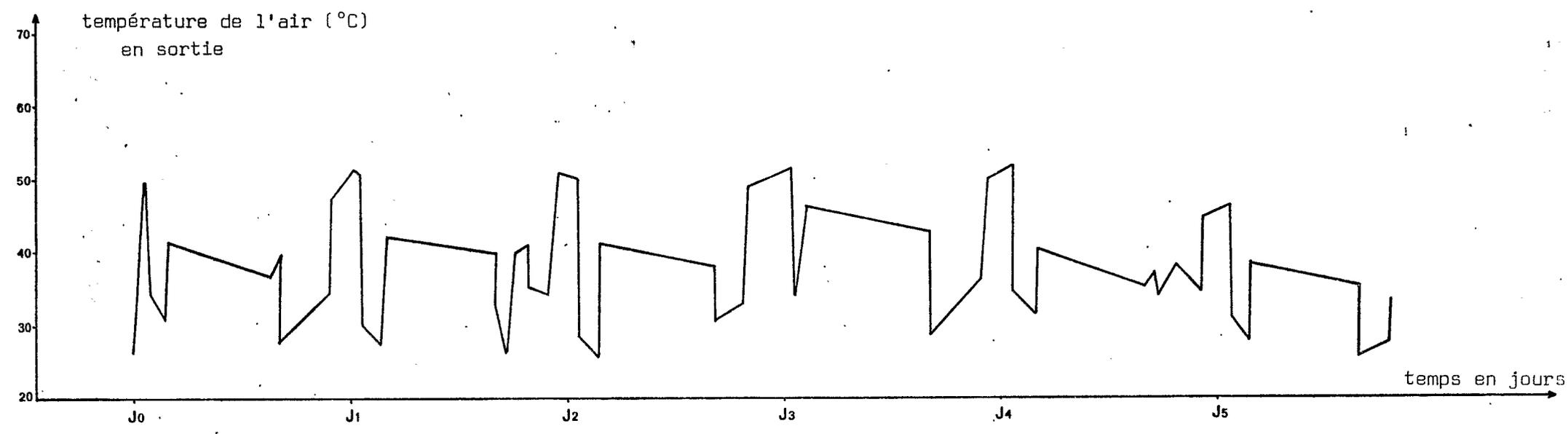
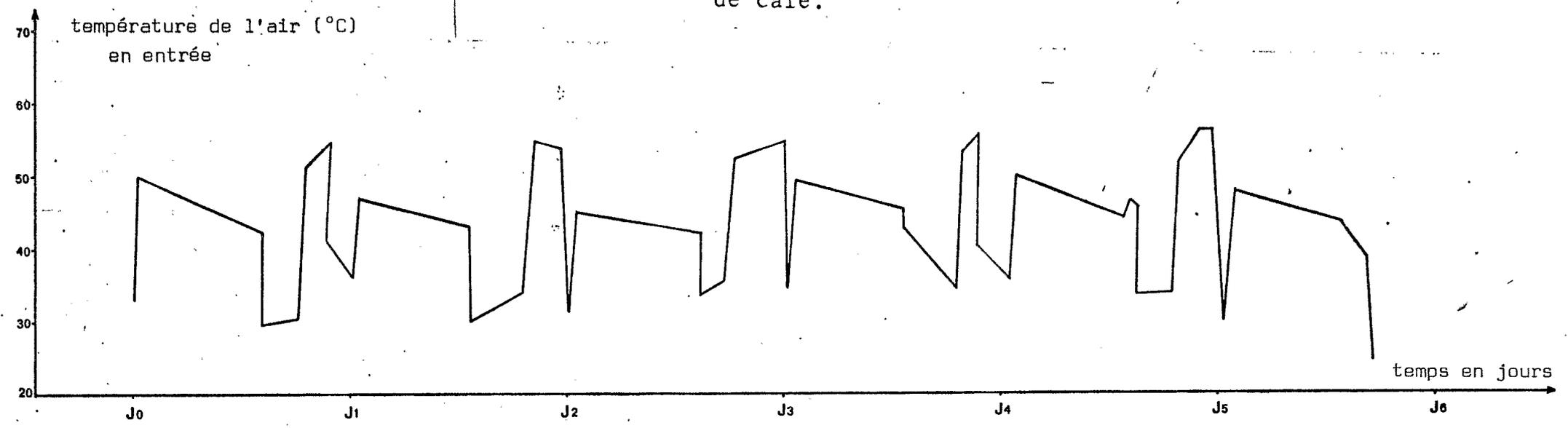


temps en heures

Graphique VI :

Enregistrement de l'humidité relative de l'air en entrée et en sortie de l'armoire, durant le séchage des cerises de café.





par le léger accroissement de l' a_w avec la température (7). On note par ailleurs que les interruptions de fonctionnement ne s'accompagnent pas de reprises d'humidité de la part du café.

L'allure de séchage des échantillons varie avec leur situation dans l'armoire. Les courbes de séchage des niveaux supérieurs présentent une allure prévisible asymptotique (la vitesse de séchage décroît au cours du temps), alors que pour les échantillons situés en bas, la courbe est convexe (le séchage s'accélère au cours du temps).

Dans le tableau II, nous avons porté les durées nécessaires pour atteindre les seuils d' a_w de 90, 65, et 50 % que nous avons choisis car, comme on le verra par la suite, ces valeurs correspondent respectivement : à la modification de la vitesse de séchage, au seuil à atteindre pour le café marchand, et au seuil à atteindre pour le café destiné à l'analyse. On note que les écarts maxima sont enregistrés pour le seuil de 90 % et que le décalage va en s'amenuisant lorsque le séchage est avancé.

A chaque instant, l'allure de séchage du café est donnée par la formule : (7)

$$[H_2O] = A \cdot \beta p (p' \cdot a_w - p) \quad 1$$

avec :

- $[H_2O]$ allure de vaporisation en kg d'eau
- A surface d'échange
- βp coefficient de transfert de l'eau à sécher, du corps vers l'air, exprimé en fonction de la pression de vapeur d'eau. (Ce coefficient dépend de α , coefficient de transfert de chaleur entre le produit et l'air et de ΔH enthalpie de vaporisation de l'eau à la température du produit)
- p' pression de vapeur de l'eau à la température à laquelle se trouve la matière
- a_w activité de l'eau à la surface de la matière
- p pression partielle de l'eau dans l'air de séchage.

Lorsqu'il y a égalité entre la quantité de chaleur transférée au produit et l'énergie utilisée pour la vaporisation de l'eau, on peut écrire :

$$[H_2O] = A \frac{\alpha}{\Delta H} (\theta_{\text{air}} - \theta_{\text{produit}}) \quad 2$$

$$\text{avec } \begin{cases} \theta_{\text{air}} & \text{température de l'air de séchage} \\ \theta_{\text{produit}} & \text{température du produit} \end{cases}$$

Dans ces conditions, on dit que la saturation de l'air est adiabatique ; l'enthalpie exprimée en kJ par kg d'air sec reste constante. L'air se met en équilibre avec la matière dans la couche limite. Cet air possède la même température que le produit et une a_w égale à son humidité relative. On peut donc prévoir la température à laquelle se stabilise le produit (7).

Tableau II : Temps nécessaire pour atteindre les seuils d'activités (a_w) de l'eau de 90 ; 65 et 50 % (café en cerises).

		$a_w = 90 \%$	$a_w = 65 \%$	$a_w = 50 \%$
NIVEAU 1	Temps total	60 h	81 h	98 h
	temps de fonctionnement	41 h	55 h	66 h
NIVEAU 3	Temps total	73 h	105 h	122 h
	Temps de fonctionnement	48 h	71 h	82 h
NIVEAU 9	Temps total	110 h	130 h	134 h
	Temps de fonctionnement	74 h	88 h	92 h
NIVEAU 15	Temps total	128 h	134 h	136 h
	Temps de fonctionnement	86 h	92 h	94 h

Tableau III : Caractéristiques de l'air en entrée (E) et en sort (S) de l'armoire lues sur le diagramme de l'air humide.

Caractéristiques	10 h		72 h		96 h		110 h		120 h	
Humidité relative E - S	30 % - 50 %		30 % - 47 %		21 % - 32 %		45 % - 41 %		44 % - 50 %	
Température(°C) air E - S	45	39	49	46	52	50	43	36	46	37
Humidité E - S	28	28	32	31	33	33	32	26	34	27
enthalpie E - S (KJ/Kg air sec)	90	90	115	115	120	120	115	85	120	90

Les courbes de température et d'hygrométrie permettent de donner les caractéristiques de l'air en entrée et en sortie de l'armoire à différents instants (Tableau III).

A chacun de ces instants nous avons tracé le gradient d' a_w dans l'armoire (courbes du graphique VIII) grâce aux courbes d'évolution de la teneur en eau et de sorption.

On constate qu'en $t = 96$ h le séchage est encore globalement adiabatique, alors qu'une partie du café se trouve à une a_w de 0,5. En accord avec ce résultat, nous supposons que nous sommes dans le domaine d'application de l'équation 2 pour $a_w > 0,5$. Lorsque le café répond à cette condition, nous avons porté sa température d'équilibre sur les courbes du graphique VIII. Pour faire apparaître la grandeur (θ air - θ produit) nous avons également tracé le gradient de température d'air que nous avons supposé rectiligne.

Après $t = 96$ h, on voit que l'enthalpie de l'air chute. La part du café, dont $a_w < 0,5$, ne sèche plus adiabatement. La perte de chaleur sensible de l'air n'est pas compensée, par l'apport de chaleur latente due à l'évaporation de l'eau du produit. Le café est alors porté à une température plus élevée que celle attendue. Ce phénomène peut s'expliquer par la formation en surface d'une croûte de cellules desséchées et peu perméables à l'eau.

Au cours de notre expérience durant la phase isenthalpique les facteurs susceptibles de faire varier $[H_2O]$ dans le temps et l'espace sont :

- (θ air - θ produit) : écart de température entre le produit et l'air
- α : qui croît avec (θ air - θ produit) et la vitesse de l'air
- ΔH : qui est fonction de θ produit. Il est raisonnable, sur le domaine de θ produit observé, de considérer ΔH constante
- A : surface d'échange entre l'air et le produit sera considérée constante.

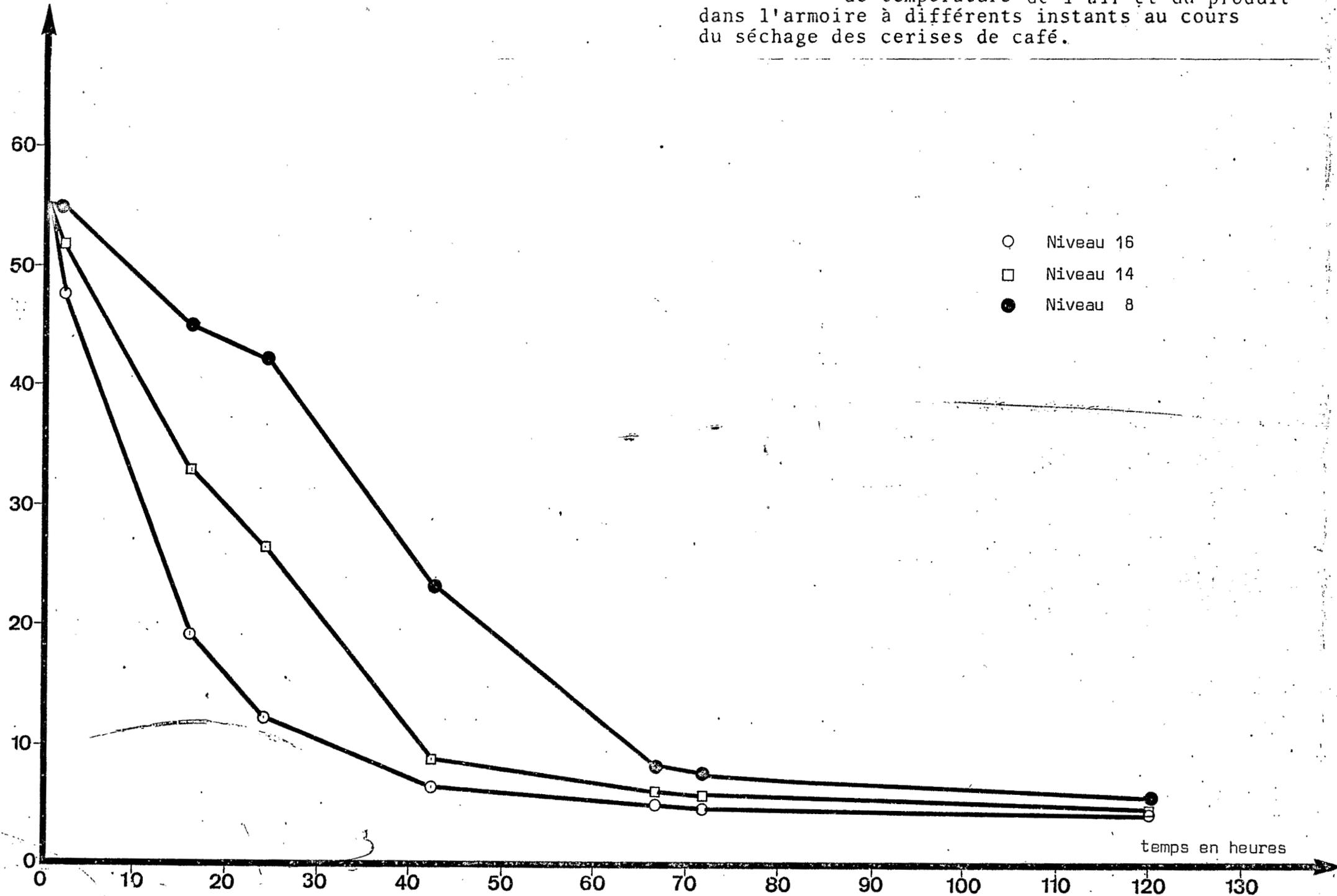
A un niveau donné, on supposera dans un premier temps que la vitesse de circulation d'air est la même à tout moment. Ainsi, l'examen du seul écart (θ air - θ produit) doit nous permettre d'expliquer les variations de $[H_2O]$ au cours du temps.

Au début de l'expérience, la vitesse de séchage décroît vers les étages inférieurs. Cette observation est en accord avec le graphique VIII-1 qui montre que (θ air - θ produit) décroît vers le bas, à cela s'ajoute la diminution de la vitesse de l'air au fur et à mesure de sa course, fait baisser α . Il en résulte, entre les étages inférieurs et supérieurs, des différences dans la forme des courbes de séchage que nous allons maintenant interpréter.

%

teneur en eau sur matière humide

Graphique VIII: Gradients - d'activité de l'eau
- de température de l'air et du produit
dans l'armoire à différents instants au cours
du séchage des cerises de café.



Considérons les variations de l'écart ($\theta_a - \theta_p$) pour l'étage 2

temps (H)	10	72	96	110	128
$\theta_a - \theta_p$ (°C)	11	14	17	11	10

Selon ce tableau, on devrait voir croître $[H_2O]$ jusqu'à $t = 96$ heures pour ensuite diminuer jusqu'à 128 heures.

Le résultat attendu ne coïncide pas avec l'observation en fin d'expérience. Nous devons donc revenir sur une de nos hypothèses.

En effet, aux étages supérieurs, le café à sécher occupe un moindre volume, il offre donc moins de résistance à l'écoulement de l'air.

Aux étages inférieurs l'augmentation de la vitesse de l'air peut compenser (en majorant α) la chute de l'écart ($\theta_a - \theta_p$). Toutefois en fin de séchage on retrouve une courbe d'allure asymptotique, comparable à celle des étages supérieurs.

SECHAGE DU CAFE EN PARCHE

Le café à sécher a été préparé selon la voie humide. Les cerises ont subi un dépulpage mécanique, puis une fermentation sous eau propre de 24 h, suivie d'un lavage manuel. Le café en parches ainsi obtenu a une humidité initiale de 55 % environ.

Nous avons suivi l'évolution de la teneur en eau aux niveaux 16, 14, et 8.

Le graphique IX montre l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps.

Les résultats sont du même type que précédemment. Le taux d'humidité atteint est de l'ordre de 5 %. On retrouve l'allure des courbes déjà observée pour les cerises de café.

A la lecture du tableau IV, on voit que le séchage est beaucoup plus rapide que dans le cas précédent. Cela s'explique par une moindre hygroscopicité du café parche.

AVANTAGES DU PROCÉDÉ

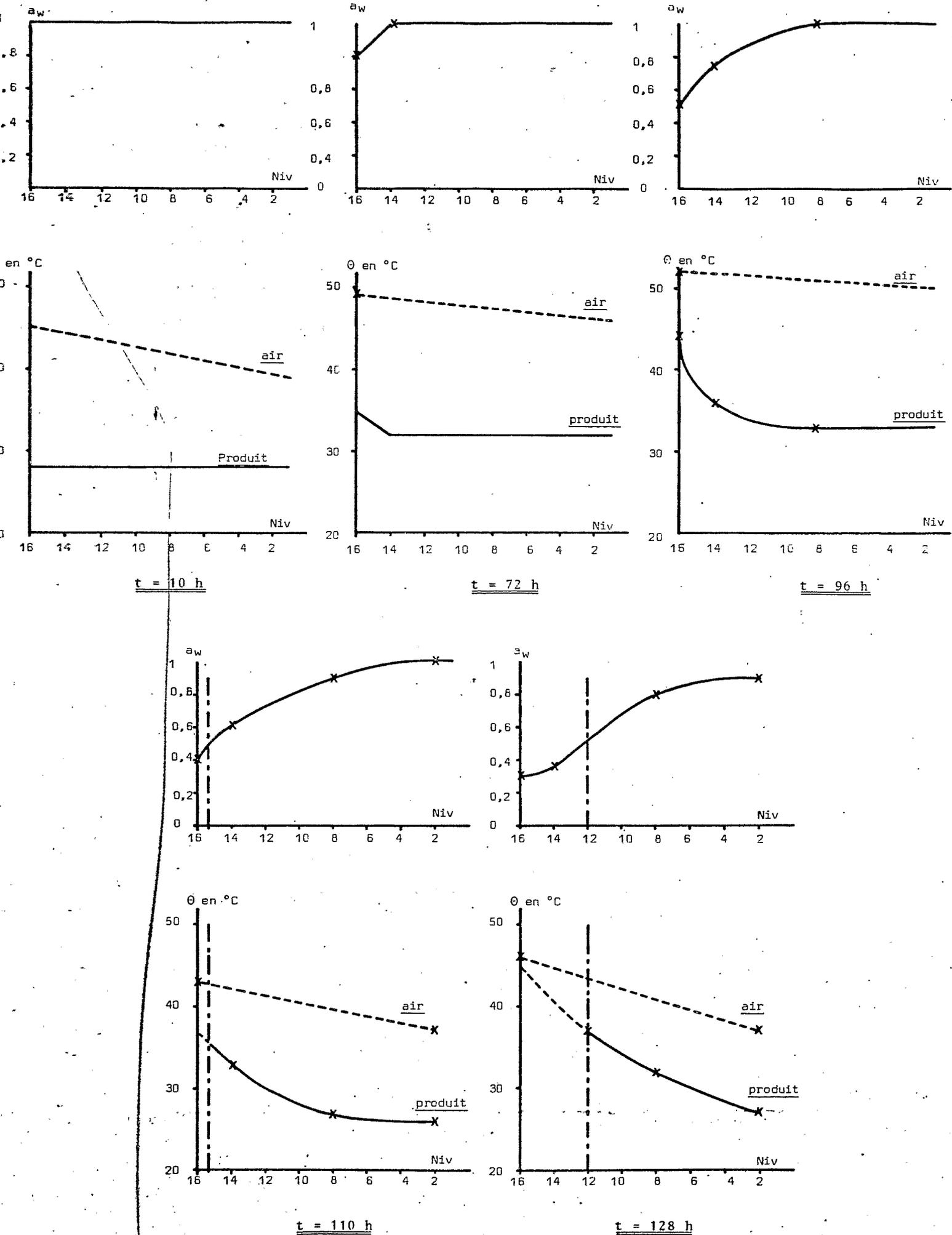
Le séchage par air chaud de climatiseur est un procédé :

- peu dégradant car très rapide aux températures douces.

Nous savons que le café est particulièrement fragile dans une limite comprise entre 100 et 65 % d' a_w . Pour le café coque la période sensible est de 134 h, au maximum, soit 92 h de fonctionnement continu. Pour le café en parches, ces valeurs sont respectivement de 62 et 44 h. La période pendant laquelle le café est vulnérable aux attaques biologiques est donc courte. Entre 65 et 50 % d' a_w le café n'est sensible qu'à des transformations à cinétique lente. Or, durant le séchage dans l'armoire cette période est très courte 17 h maximum pour le café coque, et 5 h pour le café en parche.

L'échauffement du café au cours du séchage est peu important, la température n'excède pas 50°C. Les réactions de Maillard sont donc nettement moins favorisées que dans le séchage en étuve à haute température. Dans l'armoire le café est à l'abri des dégradations de type photochimique. Par ailleurs, la circulation de

Graphique IX : Evolution de la teneur en eau du café en Parches à différents niveaux de l'armoire (Niv).



l'air interdit le déclenchement de fermentations alcooliques à l'intérieur des couches de café en cours de séchage et élimine le risque d'apparition de fèves puantes.

- suffisamment poussé pour autoriser un bon stockage.

La limite d' a_w : 50 % peut être aisément franchie (cela correspond à des teneurs en eau de 8 % pour le café vert en grains et 10 % pour le café coque). Cette valeur, nous l'avons vu est le seuil de stabilité des populations microbiennes et des qualités organoleptiques. Elle doit être atteinte pour des échantillons destinés à l'analyse. Ce mode de séchage accompagné d'un stockage adapté dans un local à 50 % d'humidité relative permet de stocker les échantillons dans d'excellentes conditions. Nous avons ainsi résolu le problème d'engorgement de notre laboratoire en période de pointe de récolte, les mesures de matière sèche ou de granulométrie pouvant être désormais différées sans dommages.

- économiques.

Comparé aux structures traditionnelles, le procédé requiert de l'électricité pour le fonctionnement d'un petit ventilateur (200 W) et d'un climatiseur. Ce dernier fournit gratuitement de l'air chaud car il est destiné à la climatisation d'un local et permet d'économiser une puissance de 4 KW comme source chaude. De plus, s'y ajoutent des économies non négligeables :

- . de main d'œuvre évaluée à environ une quinzaine d'heures par lot de 192 échantillons de 0,7 kg grâce à la suppression des manipulations de rangements nocturnes, d'expositions journalières au soleil et de brassage,
- . de surface et de temps provenant d'une meilleure efficacité du séchage. Ceci est démontré dans le tableau V où on compare les efficacités obtenues d'après les données de WILBAUX par séchage solaire (11) à nos résultats. Il apparaît clairement dans ce tableau que l'efficacité du séchage dans l'armoire ventilée à l'air chaud est 71 fois supérieure à celle du séchage solaire.

- reproductible.

Contrairement au séchage solaire, le traitement dans l'armoire est reproductible à volonté, sans mélange ou perte accidentelle d'échantillons dû à des causes diverses (coup de vent, animaux, etc...). Cela va permettre grâce à la maîtrise complète du système de séchage de programmer à la demande, la confection d'échantillons de qualité standard quel que soit leur nombre, leur taille et leur nature. Cependant, comme les durées de séchage peuvent varier du simple au double suivant la situation dans l'armoire, le traitement ne peut pas être considéré homogène dans toute l'armoire. Il convient donc de déterminer les écarts admissibles en fonction de la finesse exigée pour chaque type d'analyse et d'améliorer le système en conséquence.

CONCLUSION

Nous avons donc conçu un séchoir à usages multiples qui permet de préparer des échantillons de café sains et stabilisés pour diverses analyses courantes dans des conditions standardisa-

Tableau IV : Temps nécessaire pour atteindre les seuils d'activité (a_w) de l'eau de 50 ; 65 et 90 % (café en parches).

		$a_w = 90 \%$	$a_w = 65 \%$	$a_w = 50 \%$
Niveau 1	Temps total	15 h	28 h	33 h
	Temps de fonctionnement	13 h	18 h	23 h
Niveau 3	Temps total	30 h	40 h	42 h
	Temps de fonctionnement	20 h	26 h	28 h
Niveau 9	Temps total	47 h	62 h	65 h
	Temps de fonctionnement	31 h	44 h	46 h

Tableau V : Comparaison de l'efficacité du séchage au soleil et dans l'armoire à air chaud (efficacité en $\text{Kg.j}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ de café humide).

SECHAGE	CAFE EN COQUES		CAFE EN PARCHES	
	efficacité	état stable	efficacité	état stable
solaire $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$	0,7	12 - 13 % en 15 jours	1,4	12 - 13 % en 7 jours
armoire à air chaud	50	7 % en 5 jours	100	7 % en 2,5 jours

bles. Ainsi, depuis plusieurs années, nous avons pu bénéficier de cette installation pour réaliser un grand nombre d'échantillons nécessaires aux études de génétique, d'agronomie et de technologie (rendement en café marchand, granulométrie, teneurs en caféine...) de diverses espèces de caféiers et de leurs hybrides. Par ailleurs, l'installation d'une rampe à U.V. bactéricide, à l'intérieur de l'enceinte de séchage, assurerait une asepsie partielle au sein de l'armoire.

Pour d'autres productions des régions tropicales chaudes et humides, comme le riz, le maïs ou le cacao, notre procédé est applicable en station de recherches pour la préparation d'échantillons.

Hormis ces cas particuliers les utilisations du système demeurent marginales. Cependant son intérêt réside dans son caractère exemplaire, car il met en pratique les conditions de séchage que doit respecter tout planteur ou industriel pour l'obtention d'un café de bonne qualité.

BIBLIOGRAPHIE

1. AMORIM (H.V.), CRUZ (A.R.), ANGELO (A.J.), DIAS (R.M.), MELO (M.), TEXEIRA (A.A.), GUTTIEREZ (L.E.), ORY (R.L.) -1977- Biochemical, physical and organolepticol changes during raw coffee quality deterioration. ASIC (Paris), 8ème Colloque, Abidjan, pp. 183-186.
2. CHARRIER (A) -1982- L'amélioration génétique des cafés La Recherche - Septembre 1982- Volume 13, pp 1006-1016.
3. CORTE DOS SANTOS (A.), HAHN (D.), CAHAGNIER (B.), DRAPRON (R.), GUILBOT (A.), LEFEVRE (J.), MULTON (J.L.), POISSON (J.), TRENTESAUX (E.) -1971- Etude de l'évolution de plusieurs caractéristiques d'un café ARABICA au cours d'un stockage expérimental effectué à cinq humidités relatives différentes. ASIC (Paris), 5ème Colloque, Lisbonne, pp. 304-314.
4. CROS (E.), GUYOT (B.), VINCENT (J.C.) -1979- Profil chromatographique de la fraction volatile du café. Différence entre cafés verts sain et puant. Influence de la torrefaction sur le grain et la boisson. Café Cacao Thé (Paris), Vol. 23, n° 3, pp. 193-202.
5. GIBSON (A.) -1971)- Photochemical aspects of drying East African Arabica Coffees. ASIC (Paris), 5ème Colloque, Lisbonne, pp. 246-258.
6. GUYOT (B.), CROS (E.), VINCENT (J.C.) -1982- Caractérisation et identification de la fraction volatile d'un café vert Arabica sain et d'un café vert Arabica puant. Café Cacao Thé (Paris), Vol. 26, n° 4, pp. 279-289. ASIC (Paris), 10ème Colloque, Salvador, pp. 253-269.
7. LONCIN (M.) -1976- Génie Industriel Alimentaire, aspects fondamentaux. MASSON (Paris), 285 p.
8. MONTENY (B.A.) -1985- Données climatiques recueillies à la Station ORSTOM Adiopodoumé de 1948 à 1984. Rapport multigraphié, ORSTOM, 45 p.
9. VINCENT (J.C.), BAREL (M.), CHALLOT (F.) -1975- Contribution à l'étude des fèves défectueuses du café vert. ASIC (Paris), 7ème Colloque, Hambourg, pp. 133-140.
10. VINCENT (J.C.), GUENOT (M.C.), PERRIOT (J.J.), GUEULE (D.), HAHN (J.) -1977- Influence des différents traitements technologiques sur les caractéristiques chimiques et organoleptiques des Cafés Robusta et Arabusta. ASIC (Paris), 8ème Colloque, Abidjan, pp. 271-284.

11. WILBAUX (R.) -1962- Les possibilités d'amélioration du café de la Côte d'Ivoire.
Café Cacao Thé (Paris), Vol. 6, n° 3, pp. 209-223.
12. WILBAUX (R.), HAHN (D.) -1966- Contribution à l'étude des phénomènes intervenant au cours de la conservation du café vert.
Café Cacao Thé (Paris), Vol. 10, n° 4, pp. 342-367.
13. WOTTON (A.E.) -1971- The dry matter loss from parchment coffee during field process.
ASIC (Paris), 5ème Colloque, Lisbonne, pp. 316-324.
14. ZULUAGA VASCO (J.), TABACCHI (R.) -1980- Contribution à l'étude de la composition chimique de la pulpe.
ASIC (Paris), 9ème Colloque, Londres, pp. 335-343.