

Cabines de conservation de fruits en conditions définies de température, d'humidité relative et de brassage de l'atmosphère

par **Cl. LEBLOND**

Centre national de la Recherche scientifique - Meudon

CABINES DE CONSERVATION DE FRUITS EN CONDITIONS DEFINIES DE TEMPERATURE, D'HUMIDITE RELATIVE ET DE BRASSAGE DE L'ATMOSPHERE

par **Cl. LEBLOND** (CNRS)

Fruits, Dec. 1970, vol. 25, n° 12, p. 901-910.

RESUME - Un modèle inédit de cabine de conservation, spécialement étudié pour recréer à très petite échelle les conditions physiques particulières propres à une chambre froide classique, a été conçu et réalisé dans notre laboratoire. Son originalité réside d'abord dans le mode de réglage de l'humidité relative de l'air, assuré par la capture de la vapeur d'eau émise par les fruits sur un

radiateur à ailettes refroidi avec des éléments thermoélectriques à effet Peltier. Par ailleurs, on peut régler à volonté le débit de l'air de brassage, en circuit fermé, ainsi que le renouvellement de l'air.

La cabine est équipée pour le contrôle de la température (thermo-couples) de l'humidité relative de l'air (sonde électrique) et pour le prélèvement à la seringue d'échantillons gazeux. Etanche aux gaz, elle peut être utilisée pour les expérimentations en atmosphère contrôlée.

Les conditions d'utilisation d'une batterie de cinq cabines et l'étude critique de l'homogénéité des conditions physiques réalisées complètent cette communication.

INTRODUCTION

La réalisation d'enceintes expérimentales capables d'assurer la conservation de petites quantités de fruits dans des conditions physiques définies a été tentée dans de nombreuses Stations de Recherches fruitières selon des conceptions souvent originales : WAGENINGEN (1) - DITTON LABORATORY - EAST MALLING - BELLEVUE (2) et (3) .

Si la plupart des enceintes expérimentales reproduisent correctement les conditions thermiques rencontrées en chambres froides, elles ne recréent que très imparfaitement les conditions d'humidité relative, de brassage et de renouvellement de l'air de ces mêmes chambres qui sont des caractéristiques physiques au moins aussi importantes que la température pour le comportement physiologique des fruits entreposés au froid. Il en résulte que les informations recueillies à partir d'expériences de laboratoire ne peuvent pas toujours être valablement extrapolées à l'échelle des conservations industrielles et cela, les chercheurs et les praticiens le savent bien.

Nous avons tenté de résoudre ce problème en concevant un modèle inédit de cabine de conservation, spécialement étudié pour recréer assez fidèlement les conditions physiques particulières propres à une chambre froide classique, et de dimensions suffisantes pour y loger un lot de fruits dont le comportement physiologique d'ensemble soit statistiquement valable, en un mot, en réalisant l'équivalent de modèles réduits de chambres froides.

DESCRIPTION TECHNIQUE

Le plan (fig. 1) et la photo 1 donnent un aperçu de l'encombrement et des particularités d'équipement de nos cabines.

• Nature des matériaux. Encombrement.

Ces cabines sont réalisées en aluminium pur afin de rester inoxydables malgré l'atmosphère très humide qui est maintenue à l'intérieur et présenter un bon coefficient d'échanges thermiques ; il faut en effet que les calories émises par les fruits soient facilement dissipées afin que la température à l'intérieur des cabines reste peu différente de la température ambiante extérieure.

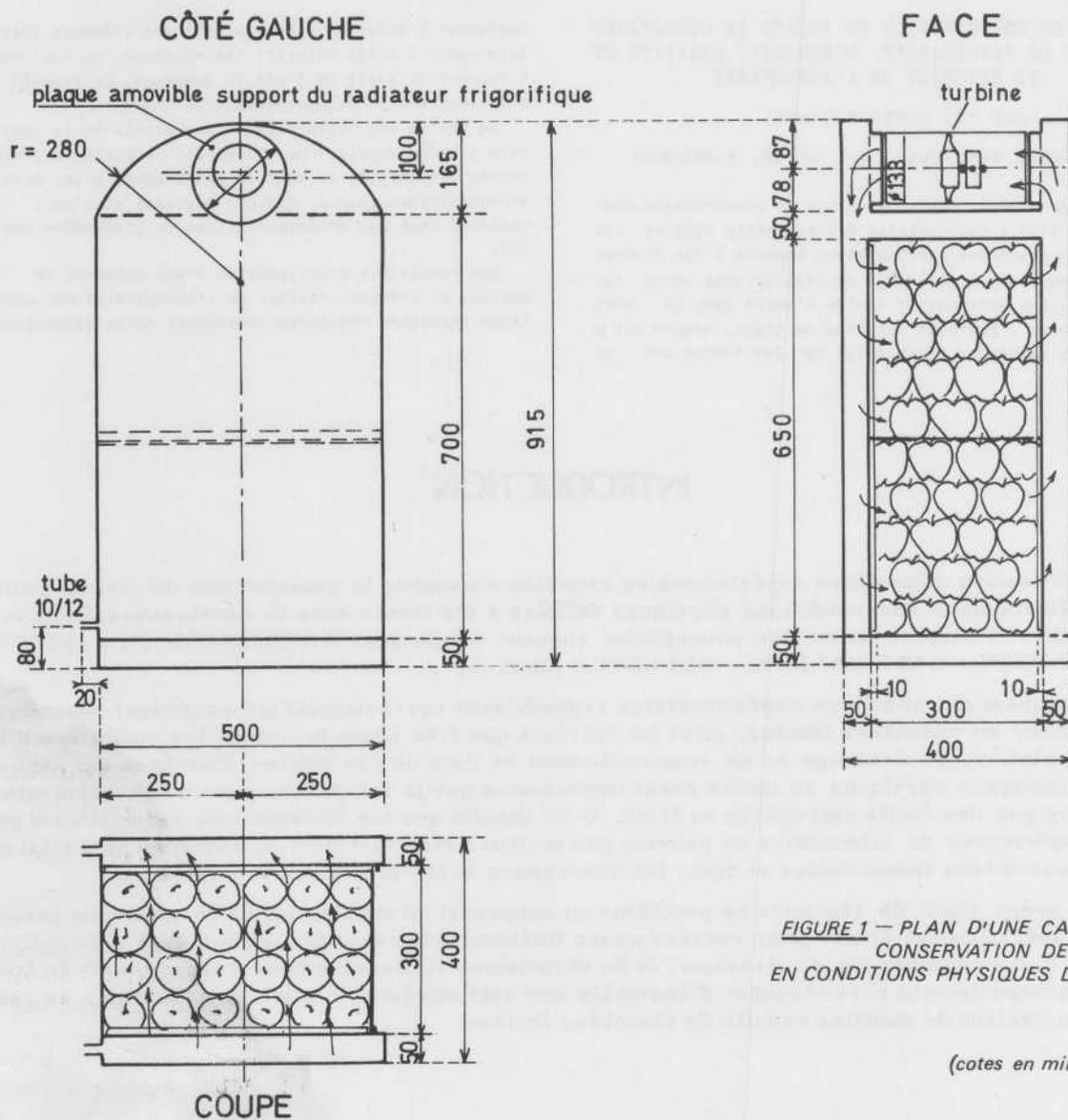


FIGURE 1 — PLAN D'UNE CABINE DE CONSERVATION DE FRUITS EN CONDITIONS PHYSIQUES DÉFINIES

(cotes en millimètres)

Les cabines ont un volume de 140 litres dont 100 litres utiles pour le logement des fruits. Pour des pommes, la contenance est de l'ordre de 35 kg de fruits ce qui représente un coefficient de remplissage de 250 kg/m³, chiffre un peu supérieur à celui habituellement réalisé en entrepôt frigorifique (200 kg/m³).

Dans ce volume utile de 100 litres, il y a place pour un minimum de 200 fruits, ce qui représente une population statistique valable.

Les fruits peuvent être disposés dans la cabine en vrac ou en couches superposées. Une demi-charge repose sur le plancher de la cabine ; l'autre demi-charge est placée sur une plaque de verre ou de métal à mi-hauteur de la cabine, ce qui permet de réduire l'empilement des fruits à cinq couches en moyenne (conditions habituelles rencontrées dans les caisses standard de récolte).

La façade de la cabine est fermée par une feuille transparente en plexiglas que l'on encastre dans des feuillures prévues à cet effet. L'étanchéité est assurée par un jointolement avec de la bande adhésive vinylique de 50 à 60 mm de large. Cette étanchéité est suffisante pour réaliser, si besoin est, des atmosphères de composition différente de celle de l'air. En pareil cas, deux orifices diamétralement opposés permettent de raccorder alors la cabine à un épurateur de CO₂ par exemple.

Les fruits logés dans les cabines ne sont pas au contact du plexiglas de façade ; ils sont retenus derrière des plaques de verre disposées parallèlement, à deux centimètres en retrait.

Signalons enfin que la cabine est équipée pour la mesure des températures (couples thermoélectriques), de l'humidité relative de l'air (sonde électrique) et pour le prélèvement à la seringue d'échantillons gazeux (chromatographie des substances organiques volatiles et des gaz permanents).

Nous allons préciser maintenant les moyens adoptés pour assurer le réglage des caractéristiques physiques fondamentales : température, brassage et renouvellement de l'air, humidité relative.

● La température

Les cabines n'ont pas de moyen propre de réfrigération et subissent la température ambiante. En pratique, elles sont placées en chambre froide expérimentale, dont la régulation thermique est assurée à $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

● Le brassage de l'air

Le brassage de l'air est assuré par un ventilateur à moteur synchrone, logé dans le manchon tubulaire de plexiglas placé à la partie supérieure de la cabine. Ce manchon communique avec les intervalles entre les doubles parois latérales dont les faces internes sont perforées de très nombreux trous de 2 mm de diamètre (habituellement 234). L'air circule donc en circuit fermé, au travers de l'espace réservé aux fruits en un flux horizontal continu, bien réparti, du plan latéral gauche de la cabine vers le plan droit.

En choisissant une vitesse de rotation de l'hélice du ventilateur appropriée on peut réaliser un brassage d'air dont le coefficient $\frac{\text{Volume d'air brassé par h}}{\text{Volume de la cabine}}$ soit compris entre 25 et 100, valeurs classiques respectivement pour des chambres froides de conservation et de prérefrigération.

● Le renouvellement de l'air

Comme dans une chambre froide classique, l'air environnant les fruits a besoin d'être progressivement renouvelé pour éliminer les émissions gazeuses respiratoires nuisibles (CO₂, éthylène et autres substances volatiles) et maintenir à son niveau normal la teneur en oxygène. Pour ce faire, chaque cabine possède deux orifices diamétralement opposés placés à la base des doubles parois latérales. L'un d'eux est raccordé à un poste de fourniture d'air d'humidité relative définie (selon un dispositif déjà décrit précédemment, LAINE et GAC (2), dont le débit réglable à volonté

permet de fixer, à la demande, le "coefficient de renouvellement" de l'air :

$$\frac{\text{Volume d'air frais injecté par jour}}{\text{Volume de la cabine}}$$

Ce coefficient, très variable en pratique, a été fixé, pour la première campagne d'utilisation de nos cabines à 3, 5, valeur plutôt faible.*

L'autre orifice permet évidemment l'évacuation de l'air.

● L'humidité relative de l'air (H. R.)

Dans une chambre froide, l'HR de l'air est une caractéristique physique très hétérogène, largement influencée par la charge et la nature des denrées présentes, les conditions de brassage de l'air, la température et l'étendue des surfaces d'échanges frigorifiques.

Les fruits sont réputés sensibles à des variations de l'HR de l'air au cours de leur conservation ou de leur maturation. En fait, ils sont physiologiquement sensibles à l'importance des transferts d'eau qu'ils subissent pendant leur survie, et ce critère est beaucoup plus important que celui de l'HR. Aussi avons-nous abordé le problème du réglage de l'HR par la voie beaucoup plus sûre et plus rigoureuse de la capture de la vapeur d'eau émise par la transpiration des fruits dans des conditions parfaitement réglables et mesurables.

Pour ce faire, nous plaçons dans le flux d'air de brassage un petit frigorigère à ailettes en aluminium dont le générateur frigorifique est la face "froide" d'un ensemble d'éléments thermo-électriques à effet PELTIER. La température du frigorigère est stabilisée à la valeur désirée au moyen d'un équipement thermostatique composé d'un thermocouple engagé dans la masse métallique du frigorigère, d'un potentiomètre à fonction de régulation et d'un relais électrique de puissance pour l'alimentation des éléments PELTIER.

Le frigorigère est encastré dans une paroi de la cabine au niveau d'un joint en plexiglas à la fois étanche au gaz et thermiquement isolant. Les éléments PELTIER sont donc extérieurs à la cabine. Le refroidissement de leur "face chaude" est assuré par un radiateur à ailettes ventilé en permanence par une turbine tangentielle débitant 11 litres/seconde (photo 2).

En période de fonctionnement, le frigorigère joue son rôle de "paroi froide" et assure le piègeage d'une partie de la vapeur d'eau présente dans l'air environnant les fruits. Pour connaître avec précision et aussi évacuer les quantités d'eau condensée, une gouttière de forme appropriée est disposée sous le radiateur; par un tube souple traversant la paroi de la cabine, l'eau est finalement recueillie dans un récipient gradué et son volume mesuré chaque jour.

Pour obtenir, à volonté, une perte d'eau journalière déterminée, il suffit de modifier la valeur du réglage de la température au régulateur thermostatique. Lorsque l'expérimentation est conduite, pour un même lot de fruits, avec une batterie de cinq cabines, la régulation thermostatique est appliquée à toute la batterie à partir d'un de ses éléments jouant le rôle de cabine-pilote. Cela suppose une parfaite identité de performances des éléments PELTIER, donc une sévère sélection.

CONDITIONS D'UTILISATION D'UNE BATTERIE DE CABINES. ÉTUDE CRITIQUE DE L'HOMOGENÉITÉ DES CONDITIONS PHYSIQUES RÉALISÉES

Pour étudier le comportement d'une variété de pommes au froid, dans des conditions physiques bien définies, nous avons adopté le principe d'une répartition du lot étudié au sein d'une batterie de cabines généralement composée de 5 unités appelées à fonctionner dans des conditions physiques rigoureusement identiques.

(*) - pour lutter efficacement contre la tendance à "l'échaudure" des pommes Stayman Winesap, nous avons dû appliquer sur une chambre expérimentale un coefficient de renouvellement d'air de 96 (LEBLOND C1. et PAILLARD N.) (4).

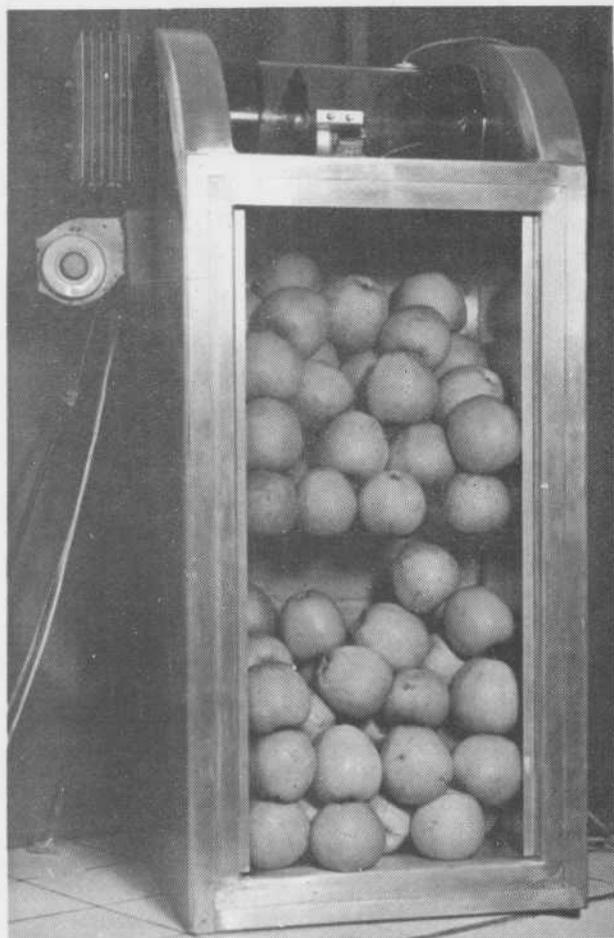


Photo 1 - Cabine de conservation des fruits.

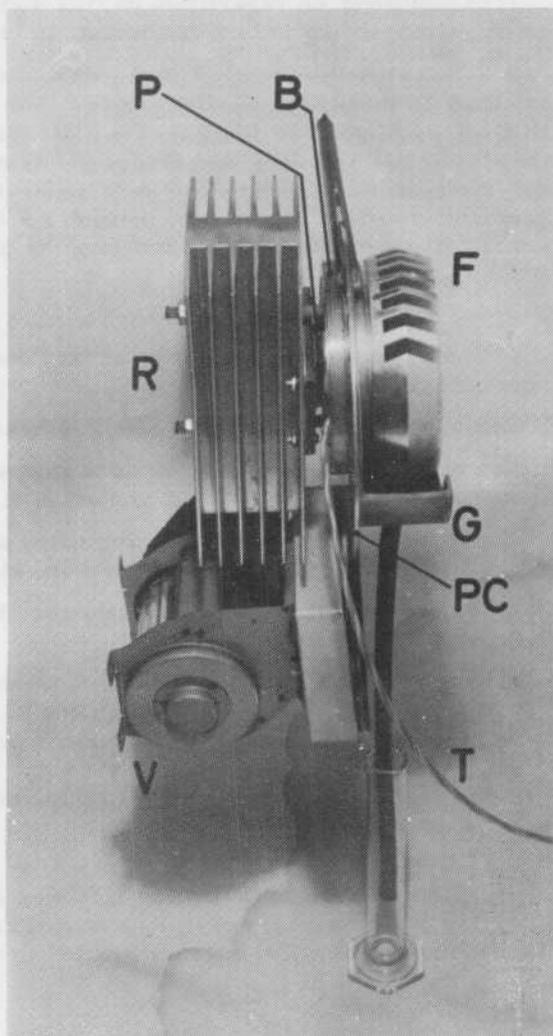


Photo 2 - Vue détaillée du dispositif de piégeage de la vapeur d'eau :

- B = bague de plexiglas (isolant thermique pour la traversée de paroi du bloc frigorifère),
- F = frigorifère à ailettes (normalement situé à l'intérieur de la cabine)
- G = gouttière collectrice de la vapeur d'eau condensée
- P = éléments thermoélectriques à effet PELTIER
- PC = portion de paroi de la cabine (support du dispositif)
- R = radiateur à ailettes - face "chaude" des éléments PELTIER (extraction des calories)
- T = couple thermoélectrique inséré dans le frigorifère
- V = ventilateur tangentiel.

Afin de pouvoir contrôler l'état des fruits, effectuer des analyses biochimiques périodiquement pendant la période de conservation, les différentes cabines de la batterie sont successivement ouvertes, mois après mois, et les fruits prélevés immédiatement ou mis en maturation complémentaire.

Pour la première campagne d'utilisation, nous avons voulu vérifier si le comportement de pommes Golden Delicious conservées pendant une durée de 4 mois dans cinq cabines différentes serait bien identique partout. De plus, au sein de chaque cabine, nous avons cherché à déterminer s'il pouvait exister, suivant l'emplacement des fruits, des hétérogénéités d'évolution et le cas échéant des gradients de perte d'eau, de coloration, de maladies et, bien sûr, de qualité gustative en fin de conservation.

A - Etudes critiques préliminaires avant la campagne de conservation.

1°) Conditions de répartition du flux d'air de brassage. Homogénéité de la distribution. Débit général.

Sur la paroi "soufflante" d'une cabine nous avons effectué 30 mesures anémométriques. Sur le schéma (fig. 2) sont portées les vitesses d'air (en centimètres/seconde) relevées aux divers points de mesure. La distribution observée ne fait apparaître aucun gradient. Le débit d'air, est estimé à 5,850 litres/heure, il correspond à un coefficient de brassage de 42.

2°) Appréciation de la stabilité et de l'homogénéité des températures en divers points d'une cabine chargée de fruits.

Trois séries de mesures de températures ont été faites avec l'aide de thermocouples très fins.

Les emplacements des points de mesures et les reproductions des bandes d'enregistrement des températures sont présentés figures 3 et 4.

Ces différentes mesures thermométriques montrent que dans une cabine chargée de fruits, en régime thermique dans l'ambiance d'une chambre froide (+ 2°5) :

a) il existe au sein de la cabine un écart de température moyen avec l'ambiance extérieure d'environ 0,7°C en excès,

b) grâce à l'actif brassage d'air, il n'existe pas de gradient thermique supérieur à 0,3°C entre les plans de distribution et de reprise de l'air, ni de gradient supérieur à 0,5°C entre les plans inférieurs et supérieurs de chaque cabine.

3°) Influence des conditions de transpiration des fruits sur l'humidité relative de l'air des cabines.

Nous avons la possibilité de faire varier à volonté la transpiration, donc la perte d'eau des fruits d'une cabine, et simultanément mesurer l'humidité relative de l'atmosphère ambiante. Sur des périodes de 24 heures, nous avons maintenu deux régimes de perte d'eau sur une cabine contenant 32,5 kg de pommes Golden ; les mesures ont donné les résultats suivants :

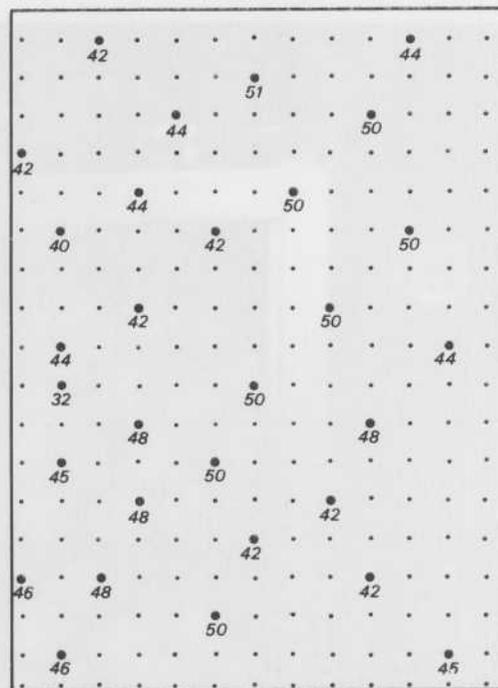


FIGURE 2 — DISPOSITION DES PERFORATIONS DANS LES PAROIS LATÉRALES INTERNES DES CABINES ET RELEVÉ DES VITESSES D'AIR MESURÉES EN QUELQUES POINTS (en cm/sec).

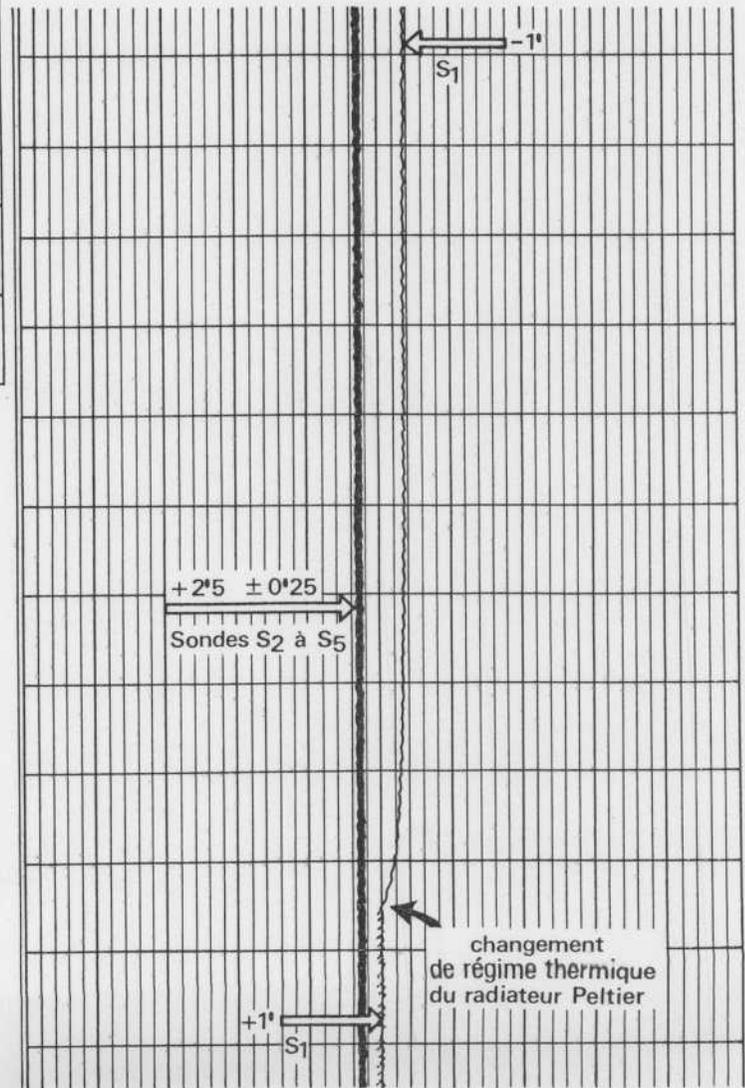
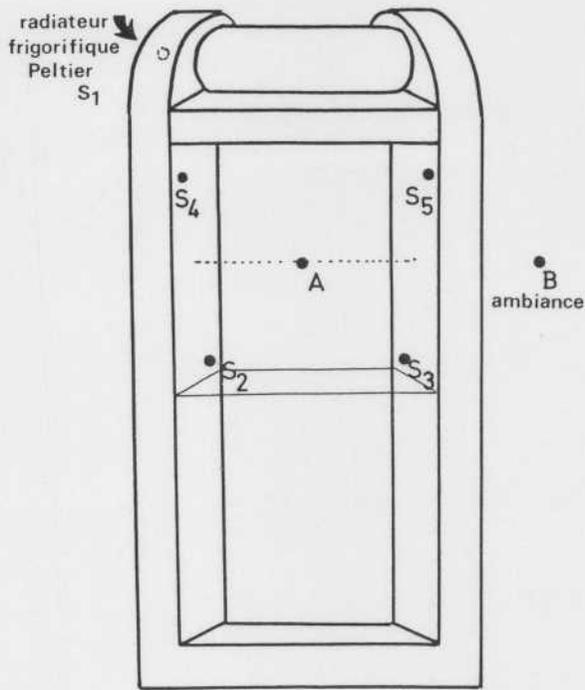
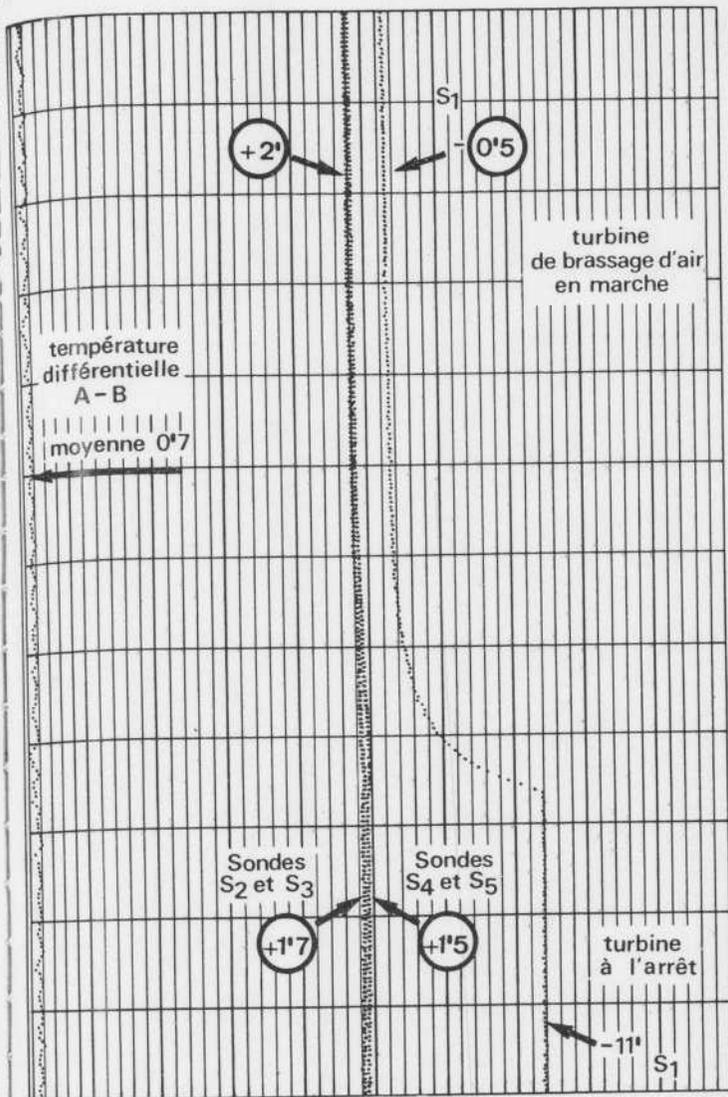


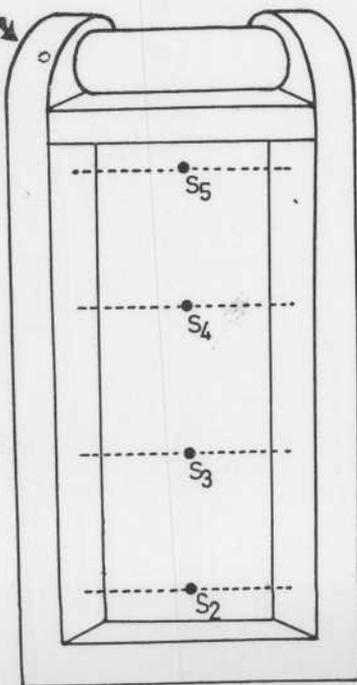
FIGURE 3 — REPRODUCTION D'UN ENREGISTREMENT DES TEMPERATURES OBSERVEES DANS L'AIR :

—comparativement au centre d'une cabine et dans l'atmosphère ambiante,
—au niveau des parois latérales opposées.

On notera l'homogénéisation thermique apportée par la mise en service de la turbine de brassage d'air.

FIGURE 4 — REPRODUCTION D'UN ENREGISTREMENT DES TEMPERATURES OBSERVEES DANS L'AIR A EGALE DISTANCE DES PAROIS LATÉRALES, POUR QUATRE NIVEAUX.

On notera l'absence d'influence d'un changement de régime thermique du radiateur Peltier sur la température de l'air de la cabine.





1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"



1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

1 1/2"

Température du radiateur froid	Température ambiante	Eau recueillie par 24 heures	Humidité relative	Perte de poids mensuelle des pommes
+ 1°	2°5	4 à 5 ml	90,5-91%	0,4 %
- 1°	2°5	15,5 à 16,5ml	88,5-89,5	1,5 %
arrêt (+ 2°5)	2°5	néant	98 %	-

Cette expérience est très démonstrative. Elle nous montre combien en pratique la connaissance du degré d'humidité relative de l'atmosphère peut être insuffisante pour estimer le pouvoir desséchant de l'installation frigorifique de la chambre froide. Nous voyons que la perte d'eau des fruits peut varier dans le rapport de 1 à 4 sans que l'HR varie de plus de 2 p. cent au voisinage de la valeur, considérée comme optimale, de 90 p. cent.

B - Conservation expérimentale avec la batterie de cabines.

1°) Conditions de l'expérience

Un lot de pommes Golden Delicious récoltées dans l'Aisne a été réparti dans les 5 cabines de la batterie à raison de 36 kg environ soit 204 fruits par cabine. Tous les fruits ont été pesés et numérotés avant leur mise en place en lits successifs dans les cabines. L'expérience s'est déroulée pendant 17 semaines 1/2, entre fin octobre et début mars. La batterie était placée en chambre froide à + 2°C. En fin de conservation tous les fruits ont été de nouveau pesés, puis soumis aux examens organoleptiques habituels.

De très nombreuses informations ont été recueillies qui ont permis de déterminer si des gradients existaient dans les cabines aux points de vue : perte de poids et qualités organoleptiques : coloration, maladies, qualités gustatives. Dans le cadre de cette communication nous nous limiterons aux informations sur les gradients de perte de poids. Signalons dès maintenant que l'élément réfrigérant Peltier de la 5ème cabine a présenté, en cours d'expérience, une légère défaillance de fonctionnement. Il en a résulté une moindre perte de poids des fruits dans cette cabine.

LES GRADIENTS DE PERTE DE POIDS

Les graphiques de la figure 5 illustrent nos résultats.

Gradient vertical

Les pertes de poids calculées pour chacun des 10 plans superposés de fruits sont statistiquement très peu dispersées et leur distribution aléatoire permet de considérer qu'il n'y a pas de gradient vertical de perte de poids, ce qui confirme la bonne répartition du flux d'air sur toute la hauteur des cabines.

La distribution des poids moyens des fruits par couches superposées est tout aussi aléatoire que celle des pertes d'eau et montre l'absence de corrélation entre ces deux paramètres, dans nos conditions expérimentales.

Gradients horizontaux

a) dans le sens du flux d'air de brassage

Dans sa traversée de la cabine le flux d'air rencontre, suivant les couches, 3 ou 4 fruits. Les pertes d'eau moyennes ont été considérées pour l'ensemble des fruits répartis selon trois plans verticaux A, B et C. La deuxième série de graphiques de la figure 5 montre le très net gradient observé. Les calculs statistiques ont révélé le caractère hautement significatif du gradient observé.

Temps de la journée	Température (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse du vent (km/h)	Direction du vent
06h00	12	85	10	N
09h00	15	80	15	N
12h00	18	75	20	N
15h00	20	70	25	N
18h00	18	75	20	N
21h00	15	80	15	N

Les données ci-dessus ont été obtenues à l'aide d'un thermohygromètre et d'un anémomètre. Les observations ont été effectuées à l'aide d'un baromètre et d'un pluviomètre. Les données ont été corrigées pour les effets de l'altitude et de la température de l'air.

2 - Caractéristiques météorologiques de la région de la région

2.1) Climat de la région

Le climat de la région est de type méditerranéen. Les caractéristiques principales sont : des étés chauds et secs, des hivers doux et humides, et une précipitation annuelle moyenne de 1000 mm. Les vents dominants sont les vents du nord et du sud-ouest.

Les données météorologiques ont été obtenues à l'aide d'un thermohygromètre et d'un anémomètre. Les observations ont été effectuées à l'aide d'un baromètre et d'un pluviomètre. Les données ont été corrigées pour les effets de l'altitude et de la température de l'air.

LES GRADIENTS DE PENTE DE PENTE

Les gradients de la région sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau résumé

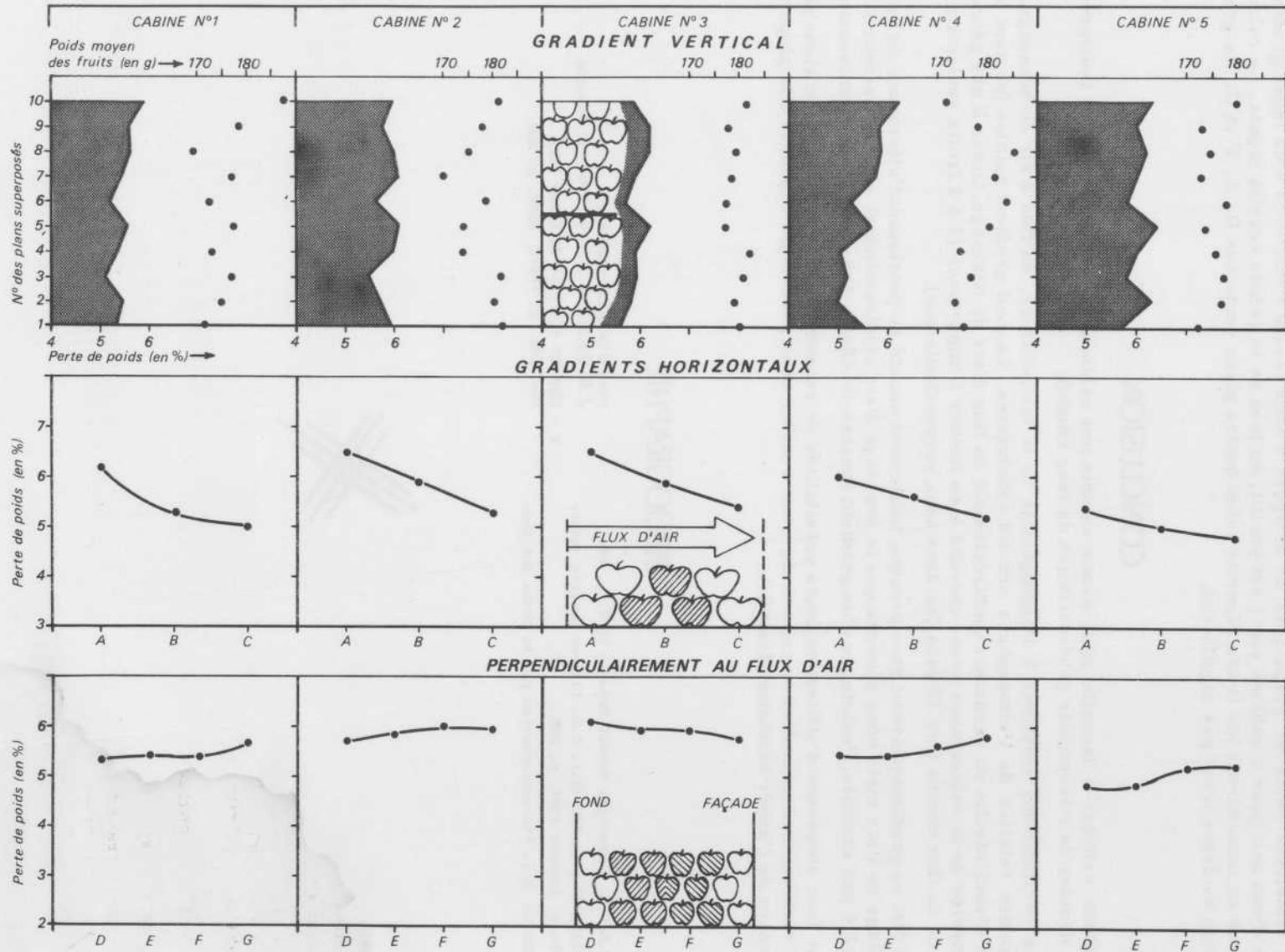
Les données ci-dessus ont été obtenues à l'aide d'un thermohygromètre et d'un anémomètre. Les observations ont été effectuées à l'aide d'un baromètre et d'un pluviomètre. Les données ont été corrigées pour les effets de l'altitude et de la température de l'air.

Les données ci-dessus ont été obtenues à l'aide d'un thermohygromètre et d'un anémomètre. Les observations ont été effectuées à l'aide d'un baromètre et d'un pluviomètre. Les données ont été corrigées pour les effets de l'altitude et de la température de l'air.

Tableau résumé

Les données ci-dessus ont été obtenues à l'aide d'un thermohygromètre et d'un anémomètre. Les observations ont été effectuées à l'aide d'un baromètre et d'un pluviomètre. Les données ont été corrigées pour les effets de l'altitude et de la température de l'air.

FIGURE 5 — DISTRIBUTION DES POURCENTAGES DE PERTE DE POIDS DES FRUITS DANS LES CINQ CABINES D'UNE BATTERIE.



b) transversalement au flux d'air de brassage

La troisième série de graphiques de la figure 5 nous révèle l'existence d'un léger gradient de perte d'eau qui, pour 4 cabines sur 5 est positif, du fond de la cabine vers la façade. Le calcul est effectué en considérant les fruits répartis selon quatre plans verticaux D, E, F et G. Le gradient de toute évidence n'est pas significatif.

CONCLUSION

L'étude critique à laquelle nous avons soumis nos cabines de conservation était indispensable pour décider de l'éventuelle généralisation de leur emploi.

Les vérifications relatives à l'homogénéité de la température, du flux d'air de brassage et de l'humidité relative de l'atmosphère ont été concluantes. Le seul gradient notable (portant sur la perte d'eau) résulte du caractère unidirectionnel du flux d'air de brassage. Grâce à une géométrie appropriée de la cabine nous avons cherché à en limiter l'importance (3 à 4 fruits seulement dans le sens du flux contre 6 et 10 dans les deux axes perpendiculaires).

En fait ce gradient pourrait être presque totalement annulé en pratiquant l'alternance du sens de soufflage de l'air mais nous pensons que le brassage d'air unidirectionnel est à conserver. Il nous a révélé par exemple, l'existence d'un gradient inverse de dégâts physiologiques (brunissements).

Par leur souplesse d'utilisation, leurs possibilités de reproduire aisément des conditions physiques variées, ces nouvelles enceintes de conservation nous paraissent répondre à la plupart des exigences de l'expérimentation fruitière.

BIBLIOGRAPHIE

- | | |
|---|--|
| 1 - I.B.V.T. Wageningen Annual Report, 1962, p. 25. | rées d'origine végétale". |
| 2 - LAINE (P.) et GAC (A.). C.R. VIIIème Congrès Inter-Froid, Londres 1951, p. 292. | <i>J.B. Baillière, Paris 1954, p. 104-106.</i> |
| 3 - ULRICH (R.). "La conservation par le froid des den- | 4 - LEBLOND (Cl.) et PAILLARD (N.). |
| | <i>Rev. Gén. du Froid, 1966, p. 387.</i> |

