



LE NAVIRE BANANIER ⁽¹⁾

par

R. DEULLIN

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (I. F. A. C.)

Le navire bananier peut être considéré comme étant le « chef de file » des navires fruitiers avec son équipement hautement spécialisé pour le transport de la banane qui a la réputation justifiée d'être difficile.

Au cours des dernières années, les études effectuées sur la banane (agronomie, physiologie, effet des maladies, connaissance de la qualité du fruit) et l'expérience acquise avec la pratique du transport ont permis d'améliorer notablement l'efficacité et la sécurité du transport maritime de la banane.

Il en résulte que le navire bananier moderne se présente comme une unité particulièrement bien adaptée à sa destination, et il nous a paru utile, étant donné l'importance du transport mondial de la banane, de présenter ici les caractéristiques essentielles de ce navire.

La flotte mondiale utilisée pour le transport maritime de la banane dépasse deux cents navires avec un ton-

(1) Nous remercions notre confrère *Navires, ports et chantiers* qui a bien voulu nous donner l'autorisation de reproduire cet article paru en juillet-août 1959, pour les lecteurs de *Fruits*.

nage annuel transporté de plus de 3 millions de tonnes⁽¹⁾.

La position de la France dans ce trafic est satisfaisante, puisque sa flotte bananière comprend actuellement trente-trois navires, dont 70 % sont âgés de moins de 10 ans, ce qui la classe au rang de deuxième flotte mondiale.

Notre flotte bananière a suivi le développement de la production bananière des territoires de production de la zone franc, comme le montre le tableau ci-après.

Le navire bananier peut être considéré comme ayant les caractéristiques générales du navire fruitier et des ca-

	Bananes exportées	Importations en France	Flotte bananière
1950	258 000 t	198 000 t	19 navires
1958	405 000 t	388 000 t	33 navires

ractéristiques particulières provenant de son équipement spécialisé.

Nous examinerons rapidement les caractéristiques générales de ce type de navire, puis nous nous étendrons plus longuement sur son équipement spécialisé.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU NAVIRE BANANIER

Les dimensions du navire bananier dépendent des conditions du marché d'importation, des possibilités de production et de chargement des territoires d'exportation, c'est ce qui explique des différences assez marquées.

Les plus grands navires se rencontrent dans la flotte des États-Unis avec un volume de 12 000 m³, alors que le bananier courant des flottes européennes est plus petit avec un volume de cale de 5 000 à 7 000 m³. Toutefois, il y a lieu de noter une tendance générale à l'augmentation du volume utile comme on peut le voir d'après le tableau ci-contre qui compare le volume moyen des navires de quelques flottes bananières avant 1940 et après 1950.

Les bananiers les plus courants se présentent comme des navires de 115 à 120 m de long avec un degré de vitesse assez grand (0,75), ce qui conduit à adopter une coque très formée. Leur vitesse est élevée parce que les séjours dans les ports sont courts par rapport à la durée du trajet maritime et il est intéressant de pouvoir gagner une rotation dans l'année. La vitesse en service des unités anciennes qui était de 13 à 15 n est de 16 à 17 n pour les unités récentes, et l'on parle déjà de 18 n pour une série de trois unités en construction.

La densité de la cargaison est faible (180 kg à 300 kg au mètre cube), le rapport du tonnage brut au port en lourd (2) est inférieur à 1 et ces navires sont souvent légers ou peu chargés au voyage aller.

Ils ont habituellement une hélice, quelques navires à deux hélices ont été construits, mais cette solution ne s'est pas développée.

L'appareil moteur est constitué par

Volume utile des bananiers.

Flotte	période considérée	Volume moyen	Volume minimum	Volume maximum
États-Unis.	avant 1940	5 000	3 680	5 170
	de 1940 à 1948	7 750	4 810	12 440
France.	avant 1940	4 500	3 820	5 070
	après 1950	5 390	4 100	6 230
Royaume-Uni.	avant 1940	5 250	3 990	7 360
	après 1950	5 770	5 650	5 950
Norvège.	avant 1940	5 000	4 560	5 040
	après 1950	4 430	2 550	6 650
Danemark	avant 1940	4 500	3 550	5 230
	après 1950	6 490	6 370	6 600

un moteur Diesel suralimenté d'une puissance de l'ordre de 6 000 ch, quoique une tendance se manifeste actuellement pour l'emploi de deux moteurs Diesel rapides accouplés sur la même hélice. Cette formule moins encombrante présenterait l'avantage d'augmenter la sécurité de manœuvre dans les ports par rapport au navire à un seul moteur.

La puissance à donner aux moteurs auxiliaires est importante. Sur les bananiers récents, l'appel de puissance peut dépasser 400 kW/h avec la mise en service simultanée des compresseurs frigorifiques, des ventilateurs et des pompes de l'installation frigorifique. Le bananier est équipé avec trois ou quatre moteurs auxiliaires et il est admis de pouvoir utiliser tous les groupes auxiliaires pendant la courte période de pointe lorsque le navire est chargé en une seule fois et à la densité maximum. La puissance des groupes auxiliaires est de l'ordre de 750 à 1 000 kW/h. Le courant électrique est généralement

continu sous 220-230 V. Le courant alternatif a été essayé sur quelques navires.

Le compartiment moteur est placé au milieu du navire ou reporté sur l'arrière, ce qui n'est pas particulier au navire bananier. Si le navire n'était utilisé que pour transporter des régimes de bananes, il serait possible d'envisager le compartiment machine à l'arrière, mais son utilisation possible à l'aller pour le transport de frets divers explique l'adoption d'une solution classique pour le compartiment machine.

Le nombre des cales est de quatre à cinq et l'on cherche à avoir des volumes de compartiments équilibrés pour faciliter le chargement et le déchargement qui doivent s'effectuer rapidement (un à deux jours).

Ces caractéristiques ne sont pas particulières à la banane, elles relèvent plutôt des facteurs économiques et géographiques. Elles pourraient s'appliquer aussi bien à des navires transportant d'autres fruits répondant à des condi-

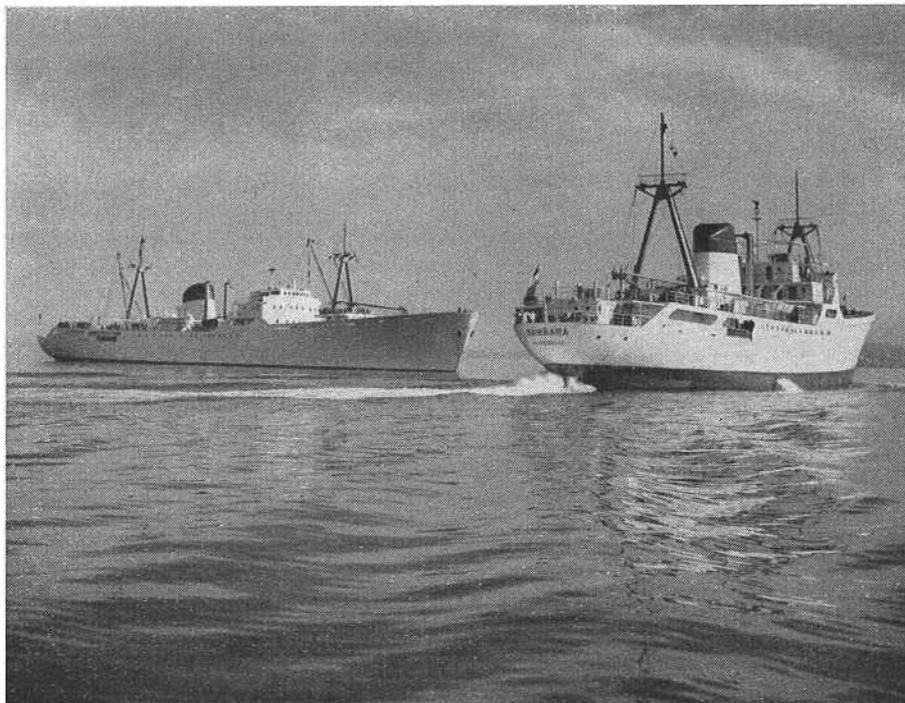


PHOTO 2. — Les bananiers « Comoë » et « Bambara », de la Compagnie Fraissinet et Cyprien Fabre.

tions comparables en matière de production et de commercialisation. Par contre, la ventilation, l'installation frigorifique, l'équipement des cales du na-

vire bananier doivent être étudiés spécialement et constituent le côté original de ce navire, nous examinerons ces points plus en détail après avoir rappelé

très rapidement les caractères particuliers de la banane qui conditionnent l'équipement spécialisé de ce type de navire.

CARACTÈRES PARTICULIERS DE LA BANANE

Sensibilité à la température.

La banane ne peut supporter pendant une période prolongée une température inférieure à 12° C pour les variétés Gros Michel et Sinensis et à 13°,5 pour la variété Lacatan. En dessous d'une température critique définie pour chaque variété, il se produit une altération appelée « frisure » en terme du métier. Le fruit frisé n'est plus normal, il mûrit moins bien ou mal suivant le degré d'atteinte par le froid avec une couleur terne ou brunâtre, il est déprécié. Cette sensibilité au froid conduit à adopter une température de transport relativement élevée, si on la compare à celle des autres fruits couramment

transportés, qui est voisine de 0°. L'action du froid qui est de réduire l'activité biologique du fruit sera plus limitée pour la banane, ce qui est d'autant plus gênant que ce fruit, par sa nature tropicale et par sa constitution, développe une activité physiologique élevée.

Activité physiologique de la banane.

L'intensité respiratoire la banane, qui constitue un des moyens de déterminer son activité physiologique, est élevée (45 à 50 mg/kg/h de CO₂ à 28°). Gane (3) a montré que l'intensité respiratoire de la banane est multipliée par 2,5 lorsque la température s'élève

de 10° C. Le refroidissement de 28° C à 12° C réduit sensiblement la respiration au tiers de sa valeur, alors qu'un abaissement de la température du transport jusqu'à 0° C aurait permis de ramener l'intensité respiratoire au sixième de sa valeur à 28° C.

Chaleur dégagée par la banane en maturation.

La chaleur dégagée par la banane qui est entrée en maturation est importante ; elle passe rapidement par un maximum qui atteint des valeurs trois à quatre fois plus élevées que celles du fruit vert aux mêmes températures. Il en résulte qu'une maturation préma-

turée d'une partie de la cargaison d'un navire bananier, si elle se produit avant le refroidissement, peut occasionner un dégagement de chaleur qui ralentira la réfrigération, ou même, dans les cas extrêmes, pourra dépasser les possibilités de l'installation frigorifique.

Si la maturation se déclenche lorsque les fruits sont déjà refroidis, le dégagement de chaleur est moins important et l'installation frigorifique a beaucoup plus de chance de pouvoir éliminer les calories produites.

L'essentiel, c'est que la maturation (qui doit toujours être considérée comme anormale et accidentelle en cours de transport) ne se produise qu'après l'abaissement de température des régimes de bananes.

Teneur en eau élevée.

La banane contient 80 % d'eau, ce qui, joint à une surface de peau élevée, est l'indice d'une tendance à la déshydratation qui représente une perte pour le transporteur et l'expéditeur. Les conditions de transport devront être choisies pour limiter au minimum la perte de poids des fruits.

Sensibilité à l'éthylène.

La banane produit de l'éthylène et est particulièrement sensible à l'action de ce gaz qui active la maturation à des doses très faibles qui sont de l'ordre de un cent [millième. Cette particularité a des conséquences importantes au point de vue transport:

— impossibilité d'avoir dans une même cale des régimes de bananes avec une autre denrée végétale dégageant de l'éthylène : pommes, poires, tomates, etc. ;

— nécessité d'éliminer l'éthylène produit par la cargaison de bananes pendant le transport maritime.

Sensibilité de la peau du fruit et du régime.

La peau de la banane verte est sensible aux frottements et aux chocs. Des altérations, qui peuvent ne pas être visibles alors que la peau du fruit est verte, apparaîtront ultérieurement en mûrisserie. Les chocs brutaux provoquent des blessures qui peuvent activer

le déclenchement de la maturation et constituer des points de départ pour les pourritures.

Variation de la qualité de la banane au chargement.

Les régimes doivent être présentés au chargement du navire bananier avec une stabilité suffisante pour ne pas entrer en maturation avant l'arrivée au port de déchargement lorsque les conditions de transport sont normales. Mais, il peut arriver, à la suite de causes accidentelles (coupe trop pleine, excès de potasse, maladies, intervalle coupe chargement trop prolongé, etc.), que des régimes au quai de chargement n'aient plus la qualité désirable pour le transport et que, suivant l'efficacité du contrôle, des régimes impropres au transport puissent être chargés dans les cales du navire bananier, sans que le bord puisse intervenir efficacement parce que la rapidité du chargement et la difficulté du contrôle ne lui permettent pas de constater systématiquement l'état de la cargaison et d'éviter le chargement de fruits douteux ou défectueux s'il y en a.

LES PARTICULARITÉS DE L'EXPLOITATION DU NAVIRE BANANIER

Les armements qui exploitent des lignes régulières doivent en outre adapter leurs navires aux circonstances du trafic en ce qui concerne les ports de chargement, la variété du fruit transporté, le mode de conditionnement et les demandes particulières de l'expéditeur. C'est ce qui explique que les navires bananiers, tout en dérivant d'une doctrine commune, peuvent présenter des différences sensibles. Nous reviendrons sur ce point en indiquant les différentes solutions adoptées pour la réfrigération, la ventilation, l'équipement des cales, etc.

LE PROBLÈME DU REFROIDISSEMENT DES RÉGIMES DE BANANES

Le but à obtenir en début de transport, c'est de refroidir les régimes de bananes aussi rapidement que possible pour les amener à une température voisine de 15° C qui leur donne une stabilité suffisante pour permettre ensuite d'ajuster la température finale des fruits en prenant tout le temps voulu.

Il y a deux phases distinctes dans le refroidissement : la première qui va de la température de chargement jusqu'à 15° C environ, qui doit être aussi courte que possible, et la seconde phase qui consiste à refroidir les fruits de 15° C à la température de transport et qui est forcément longue parce que

l'écart de température entre les régimes et l'air de réfrigération est faible et va en diminuant. Cette seconde phase qui n'est pas représentative de la valeur du refroidissement ne doit pas être incorporée dans la durée de refroidissement, sous peine de fausser l'interprétation.

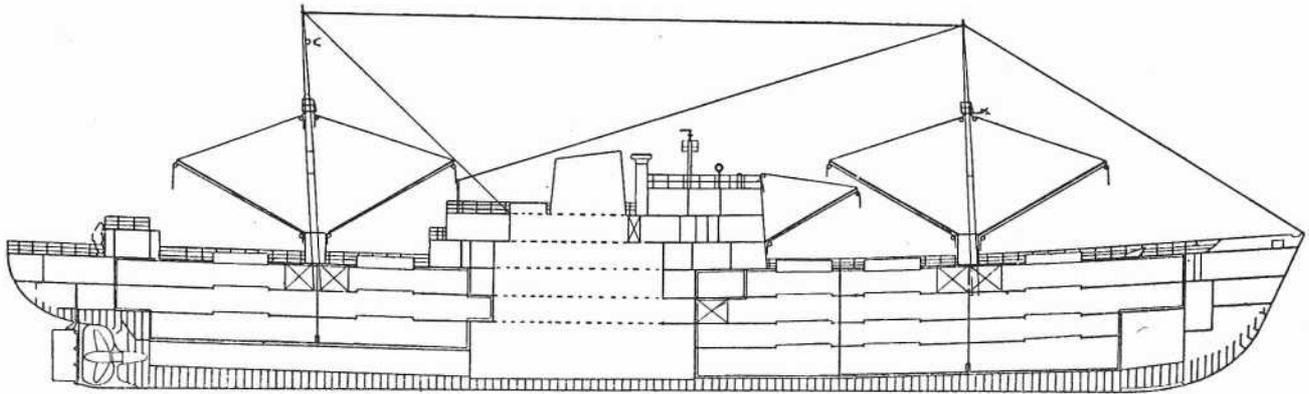


FIG. 1. — Coupe longitudinale du « Kitala », de la Compagnie maritime des Chargeurs Réunis.

Efficacité du refroidissement.

L'efficacité du refroidissement dépendra de deux données essentielles :
— du temps nécessaire pour obtenir la température de stabilisation ;
— de la dispersion des températures des régimes de bananes par rapport à la température moyenne des fruits.

Il en résulte qu'il est difficile de trouver une définition satisfaisante pour le refroidissement d'une cargaison de bananes, parce qu'elle doit prendre en considération la partie utile de la courbe de refroidissement, par exemple celle qui est comprise entre la température de chargement et 15°C , ou encore le temps de demi-refroidissement (4) correspondant à la réduction par moitié au bout d'un temps Z des ordonnées de température au-dessus de la température limite, et qu'elle doit aussi tenir compte de la dispersion des températures des régimes, ce qui conduit à incorporer dans cette définition deux notions nettement différentes : celle de vigueur de refroidissement et celle d'uniformité de refroidissement.

Trois facteurs sont à considérer dans le refroidissement d'une cargaison de bananes :

— le coefficient d'échanges thermiques entre l'air et les régimes de bananes ;

— la circulation de l'air dans le chargement ;

— la puissance frigorifique disponible.

Coefficient d'échange thermique.

Il n'est pas possible de définir un coefficient de transmission se rapportant au $\text{m}^2/^{\circ}\text{C}/\text{kg}/\text{h}$ parce que la surface de contact des régimes avec l'air n'est pas connue et parce que les échanges de chaleur entre l'air et les régimes sont complexes. Il a été proposé (Hales) d'utiliser un coefficient définissant la quantité de chaleur échangée avec l'air par une tonne de bananes, avec un degré centigrade d'écart entre l'air et les régimes pendant une heure.

Mann (5) a mesuré expérimentalement des valeurs de ce coefficient et a trouvé qu'il varie de 176 à 200 cal/h pour des vitesses d'air comprises entre 2 et 15 cm/s pour le cas de régimes de bananes enveloppés dans des housses en polyéthylène.

L'utilisation de ces coefficients pour le calcul du temps de refroidissement des fruits donne des temps beaucoup

plus courts que ceux qui sont constatés dans la pratique, ce qui permet de dire que ce n'est pas la résistance à la transmission de chaleur entre le régime et l'air qui constitue le facteur dominant pour limiter la vitesse de refroidissement en comparaison des deux autres facteurs qui interviennent : la circulation de l'air dans le chargement et la puissance frigorifique.

Circulation de l'air dans le chargement.

La circulation de l'air dans le chargement s'effectue avec une vitesse faible. L'air peut emprunter différents chemins : soit contourner le chargement, soit le traverser complètement en utilisant tous les interstices entre les régimes ou en ne suivant que des chemins préférentiels. Les différences des vitesses de refroidissement des cargaisons de navires bananiers peuvent être attribuées à deux causes essentielles :

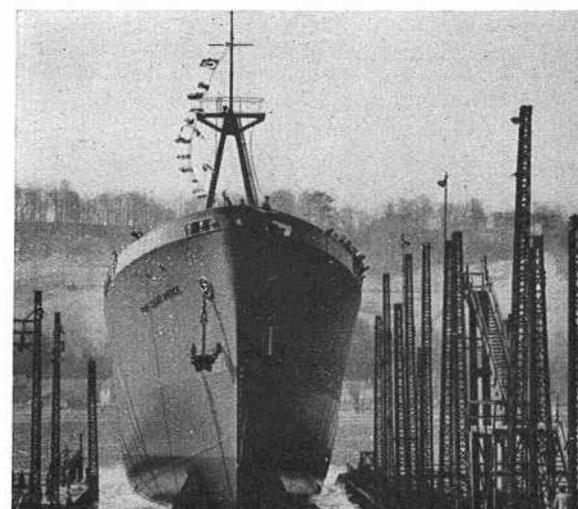


PHOTO 5. — Lancement du bananier « Fort-Saint-Pierre » (Compagnie Générale Transatlantique) Chantiers de Normandie.

le mode de circulation de l'air dans le chargement et la puissance frigorifique disponible.

S'il est facile d'adapter la puissance frigorifique aux besoins de froid lorsqu'ils ont été déterminés, il est par contre plus difficile de connaître le cheminement de l'air dans le chargement et de l'améliorer. Cette question a été examinée avec attention au cours des dernières années, l'importance d'un système de ventilation efficace a été soulignée et nous y reviendrons plus longuement en examinant les différentes solutions qui ont été réalisées récemment à ce sujet.

PUISSANCE FRIGORIFIQUE

La puissance frigorifique du navire bananier est un élément de première importance puisque, comme nous venons de le voir, elle intervient directement sur la vitesse de refroidissement des régimes de bananes. La détermination exacte de la puissance frigorifique nécessaire est difficile, et des études sont en cours actuellement pour mieux préciser ce point.

La puissance frigorifique utilisable sur un navire bananier est variable. Elle passe par un maximum à un moment qui se situe vers la fin du chargement, puis décroît assez rapidement jusqu'à la fin du refroidissement de la cargaison. La pointe de la courbe de puissance est aiguë et correspond à une période de courte durée qui ne justifie pas la nécessité d'avoir une installation frigorifique correspondant au maximum de frigories utilisables. Il en résulterait une installation plus onéreuse et plus encombrante. La puissance frigorifique à donner est celle qui correspond à une vitesse de refroidissement satisfaisante de la cargaison. Pour les navires de 5 500 m³ avec une cargaison de 1 500 t, elle est de l'ordre de 800 000 f/h à + 2°, + 4°, correspondant à une puissance absorbée dépassant 300 ch.

Il est difficile d'établir avec précision le bilan frigorifique du navire bananier. Les facteurs qui interviennent sont nombreux : préréfrigération des cales, température inégale des régimes

au chargement, durée du chargement, cadence et densité du chargement, possibilité ou non de commencer la réfrigération pendant le chargement, entrées de chaleur pendant le chargement, efficacité du système de ventilation donnant un refroidissement plus ou moins uniforme des régimes d'un compartiment, importance du renouvellement d'air frais, pertes par les parois, capacité calorifique de l'isolation et des matériaux constituant l'équipement des cales.

Par contre, il est possible, à titre indicatif, de mentionner les ordres de grandeur des différents postes du bilan frigorifique. Nous prendrons à titre d'exemple le cas d'un navire de 5 500 m³ de volume utile, transportant une cargaison de 1 500 t de fruits en housse de polyéthylène, chargé en continu avec des régimes à une température de 28° C. Les cales du navire ont été réfrigérées, la température extérieure est de 30° C. Renouvellement partiel au taux de 2 500 m³/h pendant le début du refroidissement.

Nous considérerons le bilan frigorifique à la fin du chargement en admettant que la température moyenne des régimes est de 25° C sous l'effet combiné de la préréfrigération et de la réfrigération qui a pu être commencée en cours de chargement.

Pertes par les parois du navire.

- Surface de l'isolation : 4 000 m².
- Coefficient de transmission K : 1.
- Écart de température entre les cales et l'extérieur 15° C.

$$\text{Pertes : } 4\,000 \times 15 \times 1 = 60\,000 \text{ f/h}$$

Équivalent thermique du travail des ventilateurs et des pompes à saumure.

Puissance absorbée, 140 kW/h
120 000 f/h.

Refroidissement des matériaux constituant l'équipement des cales.

— 200 m³ de bois, densité 0,75, chaleur spécifique 0,65.

— 100 t de fer, chaleur spécifique 0,11.

— Vitesse de refroidissement 0°5 à l'heure.

Refroidissement du bois 200 × 750 × 0,65 × 0,5 = 50 000 f/h.

Refroidissement du fer 100 000 × 0,11 × 0,5 = 5 000 f/h.

Respiration des fruits.

Chaleur de respiration à 25° = 120 cal/t/h. 1 500 × 120 = 180 000 f/h.

Renouvellement d'air frais.

Admission de 2 500 m³ d'air à l'heure.

Variation d'enthalpie = 9,2 C/kg.
2 500 × 1,14 × 9,2 = 25 000 f/h.

Refroidissement des fruits.

Il est admis au début que la vitesse de refroidissement des fruits est de 0,3° C à l'heure.

Chaleur spécifique de la banane = 0,87. 1 500 000 × 0,3 × 0,87 = 390 000 f/h.

Ce bilan donné à titre indicatif montre que la part qui revient directement aux fruits (refroidissement et chaleur de respiration) est de 69 %.

Récapitulation du bilan frigorifique.

	Frigories/heure	%
1 Pertes par les parois	60 000	7
2 Ventilateurs et pompes à saumure	120 000	14,5
3 Refroidissement du matériel de cale	55 000	6,5
4 Respiration des fruits	180 000	22
5 Renouvellement d'air frais	25 000	3
6 Refroidissement des fruits	390 000	47
Total	830 000	100

Viennent ensuite, par ordre d'importance le travail des ventilateurs et des pompes, puis les pertes par les parois et le refroidissement du matériel de cale et, en dernier, le renouvellement d'air. (Le taux de renouvellement d'air qui a été adopté ici est modéré, comme c'est fréquemment le cas en début de chargement.)

Les postes 1 et 2 du bilan restent constants, le poste 3 disparaît lorsque la température de l'air des cales se stabilise, le poste 4 tend vers un minimum de 60 000 calories, le poste 5 augmente avec l'admission d'air frais qui sera accrue dès que la puissance frigorifique disponible le permettra. Le poste 6 tendra vers zéro.

Lorsque le refroidissement des fruits sera terminé, le bilan sera réduit à :

Perte par les parois	60 000
Ventilateurs, pompes à saumure	120 000
Respiration des fruits. . .	60 000
Renouvellement d'air frais	60 000
	<u>300 000 f/h</u>

et si, le navire termine son voyage en période d'hiver, le bilan peut devenir voisin de 200 000 f/h, c'est-à-dire 25 % de la puissance initiale.

Ces chiffres montrent une des caractéristiques essentielles de l'installation frigorifique du navire bananier : la puissance frigorifique est très variable et doit pouvoir être modulée dans de grandes limites pour pouvoir suivre régulièrement les besoins.

Il est essentiel de remarquer que nous avons choisi le cas le plus difficile avec une densité de chargement élevée (275 kg/m³) et le chargement en continu. Avec un chargement en deux journées, la situation est beaucoup plus favorable. Pour l'exemple considéré à la fin de la première journée, les postes 1 à 5 du bilan font un total de 350 000 f/h. Si l'installation frigorifique peut produire 830 000 f/h, il restera 480 000 f/h utilisables pour le refroidissement de 750 t de fruits, ce qui permet un refroidissement théorique horaire de 0,7 à l'heure (pendant la période qui s'écoule entre la fin du chargement le premier jour et sa reprise le lendemain

à la condition que les frigorifères intéressés aient une surface suffisante)

LE VOLUME UTILE DU NAVIRE BANANIER

Les navires bananiers qui desservent une ligne régulière avec contrat de fret obtiennent des coefficients d'occupation des cales dépassant 80 % et des chiffres de 90 % et plus ne sont pas exceptionnels. Les taux de fret sont élevés, il en résulte qu'un mètre cube de volume utile de cale d'un navire bananier représente pour une durée de 20 ans, qui est celle de l'exploitation normale de ce type de navires, une recette de 548 000 f sur la base de onze voyages par an, 80 % d'occupation, un taux de fret de 30 F et une densité de chargement de 200 kg/m³.

Pour un navire de 5 500 m³ de volume utile, utilisé sur une ligne régulière, un gain de 5 % sur le volume utile signifie une recette supplémentaire de 140 millions de francs pour l'armateur pendant les vingt ans d'exploitation du navire.

Une étude judicieuse de l'équipement du navire bananier peut permettre des gains de volume de l'ordre de 5 à 10 %. Pour s'en convaincre, il suffit d'examiner les chiffres suivants :

— L'isolation occupe un volume estimé à 1 000 m³, soit 18 % ;

— L'équipement de ventilation et de réfrigération occupe un volume qui est estimé entre 10 et 15 %, ce qui revient à constater que l'ensemble, isolation et équipement de cale, occupe un volume important.

Les navires bananiers modernes ont une ventilation poussée et il y a lieu de choisir entre deux solutions : des gaines de ventilation de plus grand volume avec une vitesse d'air limitée pour avoir une plus faible énergie absorbée par les ventilateurs, ou des gaines de ventilation de plus faible volume au détriment de la puissance absorbée. Le prix de revient du kilowatt/heure (sans investissement) étant de 5 F environ, il semble préférable d'augmenter la puissance absorbée par les ventilateurs et de gagner du volume utile. Un supplément de puissance

absorbée de 25 kW/h aux ventilateurs correspond à une dépense annuelle de 500 000 F de force motrice qui est équilibrée par un gain de volume utile de 15 m³ qui représente 0,3 % du volume utile du navire bananier.

Cette considération peut également intervenir dans la décision à prendre lorsque l'armement hésite entre deux solutions : le navire bananier pur et le navire bananier polyvalent pouvant transporter des denrées congelées à une température inférieure à 0°. Dans le second cas, il y a lieu de prévoir une isolation renforcée qui diminue le volume utile du navire. Le navire polyvalent aura une capacité de transport moindre pour la banane et sa justification dépendra de l'estimation qui sera faite de son emploi pour le transport de la banane comparé à celui d'un autre fret.

L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE DU NAVIRE BANANIER

Cette installation doit répondre aux caractéristiques suivantes :

— Puissance frigorifique variable allant de la puissance maximum jusqu'à 25 % de cette puissance.

— Marche en puissance de pointe pendant un temps court. Utilisation de l'installation frigorifique pendant le voyage de retour avec arrêt partiel ou total des compresseurs pendant le voyage aller.

— Nécessité de maintenir la température d'air de réfrigération au voisinage de la température limite sans variations importantes.

— Encombrement aussi réduit que possible.

— Facilité de conduite.

Les installations frigorifiques de navires bananiers peuvent être à détente directe ou à saumure. L'installation à saumure est plus coûteuse et consomme plus de force motrice. Dans un mémoire présenté au Congrès international du Froid à Paris en 1955, M. A. Neuenschwander (6) a établi une comparaison entre les prix de revient d'une installation à détente directe à ammoniacque, et d'une installation à fréon 12 et à saumure.

	Poids	Prix	Force motrice
Ammoniaque détente directe.....	0,85	0,75	0,75
Fréon 12, saumure.....	I	I	I

Ceci montre qu'au point de vue prix de revient et force motrice consommée, l'installation à détente directe à ammoniaque est plus avantageuse que l'installation à Fréon 12 et saumure, mais en contrepartie la conduite de l'installation à saumure est plus aisée et plus souple. C'est ce qui explique que bien que la détente directe et l'ammoniaque conservent toujours des partisans, la majorité des navires bananiers récents est équipée avec des installations à

Fréon et saumure. La recherche de la sécurité conduit à prévoir des installations avec trois ou quatre compresseurs. La marche normale est prévue avec trois compresseurs, le quatrième pouvant jouer un double rôle : servir de compresseur de réserve et permettre d'obtenir une puissance frigorifique d'appoint lorsque le navire doit faire face à un chargement en continu de régimes de bananes nus ou en polyéthylène à forte densité. Ce qui est

possible si chaque compresseur forme un groupe autonome avec un évaporateur et un condenseur.

Signalons qu'un navire bananier a été équipé avec un compresseur centrifuge.

La question a été posée de savoir si un compresseur de réserve était nécessaire. La marche à puissance frigorifique maximum ne s'effectue que pendant un temps court : 10 % de la durée d'une rotation du navire ; il y a tout le temps nécessaire pour procéder aux visites et aux révisions nécessaires, d'autant plus que la régularité de marche des compresseurs frigorifiques modernes ne donne pas lieu à observation. Sur le plan de l'utilisation du navire bananier pour un service bien défini, le compresseur de réserve ne semble donc pas être impératif, mais avec les possibilités multiples du transport, la charge d'un navire peut varier dans des limites assez importantes et la solution d'un groupe de réserve (compresseur, évaporateur et condenseur), quoique plus onéreuse à la construction, offre le grand avantage d'être plus souple et de donner toutes les garanties de sécurité désirable. Les cargaisons de bananes ont une valeur élevée, les avaries imputables à une défaillance de l'installation frigorifique peuvent être importantes et coûteuses, et il est très concevable qu'elles justifient l'installation d'un groupe frigorifique de réserve.

Les compresseurs frigorifiques sont du type vertical à vitesse de rotation élevée de 500 à 1 000 tours, suivant les constructeurs et sont munis d'un dispositif permettant de réduire la puissance d'au moins 50 %, certains constructeurs livrent des compresseurs dont la puissance peut être réduite à 33 % de la puissance nominale. Les moteurs électriques à courant continu sont équipés de rhéostats de champ qui permettent également une réduction de vitesse de 20 à 25 %. Ce qui revient à dire que l'installation frigorifique est en mesure d'ajuster sa production à la demande.

Les condenseurs et les évaporateurs sont du type multi-tubulaire classique. Le « Fréon » permet d'avoir des condenseurs avec des tubes en alliages non ferreux plus coûteux à l'achat, mais nécessitant moins d'entretien par la suite. Les frigorifères sont en tubes à ai-

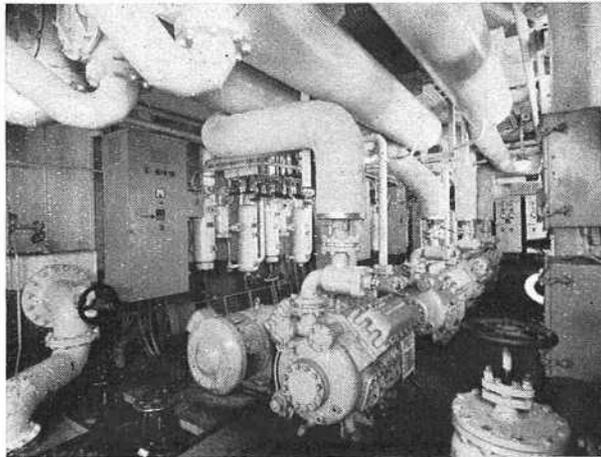


PHOTO 4. — La salle des machines frigorifiques du « Fort-Royal ».

(Documentation Brissonneau et Lotz).

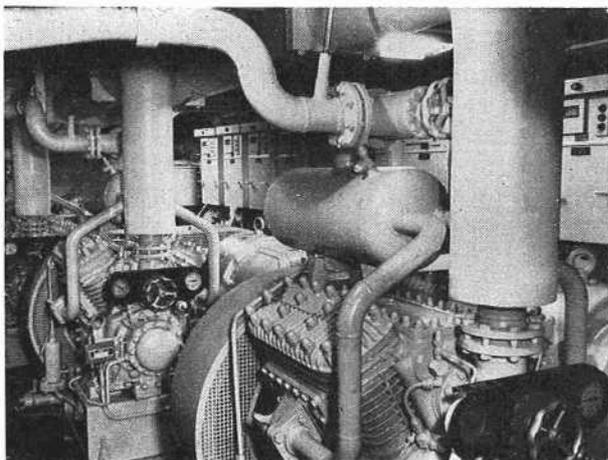


PHOTO 5. — La salle des compresseurs frigorifiques du « Balletina ».

(Documentation S. T. A. L.)

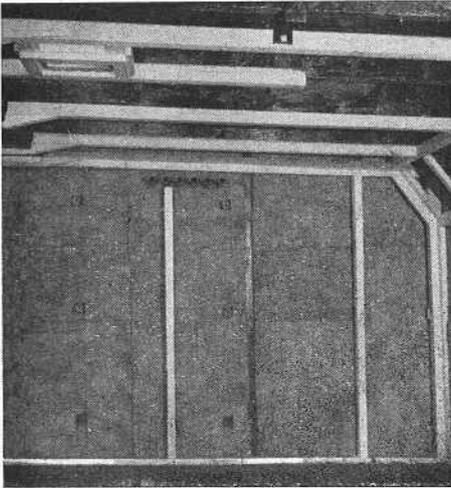


PHOTO 6. — Pose de l'isolant.
(Documentation Fibriver.)

La position des frigorifères par rapport au ventilateur a fait l'objet de discussion. Placé à l'aspiration du ventilateur, le frigorifère aurait l'avantage d'être traversé plus régulièrement sur toute sa surface par l'air, de régulariser les filets d'air (qui sortent d'un coude) avant l'aspiration du ventilateur, de permettre l'introduction d'air frais juste avant le ventilateur, ce qui évite de condenser une partie de la vapeur d'eau contenue dans cet air et d'obtenir après brassage par le ventilateur une température homogène de l'air de refolement.

Le frigorifère placé après le refolement du ventilateur serait traversé irrégulièrement par de l'air tourbillonnaire, condenserait une partie de l'humidité de l'air de refolement, et il serait difficile d'éviter les inégalités de température de l'air à l'entrée de la gaine de refolement.

Une description détaillée de l'installation frigorifique du bananier *Fort-Royal* a été faite par M. A. Neuenchwander (7) p. 185 du numéro de mars 1957 de *Navires, Ports et Chantiers*.

ISOLATION

L'isolation du navire bananier occupe un volume important, son prix de revient est élevé, alors que les pertes par les parois ne représentent pas plus

de 10 % du bilan frigorifique d'une unité moderne.

Pour le bananier pur, le problème consiste à trouver la solution la plus économique, tout en assurant un chiffre acceptable de pertes par les parois du navire. Le prix de l'isolation d'un navire de 5 500 à 6 000 m³ se situe entre 40 ou 50 millions de francs, ce qui représente de 30 à 40 % du coût de l'équipement spécialisé du navire bananier.

Les frais de vaigrage constituent un élément important du prix de revient de l'isolation, et il peut être plus économique d'augmenter la quantité d'isolants pour simplifier la pose (cas des bordés avec membrures).

Les membrures doivent être noyées dans l'isolant qui les recouvre de 4 à 5 cm ; il en résulte qu'à la partie inférieure du bordé, où les membrures sont plus fortes, l'isolant est plus épais qu'à la partie supérieure, alors que la partie inférieure de la coque est dans l'eau et ne subit pas le rayonnement solaire.

Le coefficient de transmission moyen d'un navire bananier varie de 1,4 à 0,7 Kcal/m²/h/° C suivant la nature de l'isolant, la qualité de l'exécution et les épaisseurs adoptées. (Cette valeur tient compte à la fois des pertes par transmission pure et des pertes provenant du renouvellement de l'air par les interstices des ouvertures.)

Le chiffre de 1,4 s'applique à des navires anciens ; le chiffre de 0,7 à des navires récents dont l'isolation a été faite avec beaucoup de soin.

lettés. Ils doivent être étudiés pour avoir une section d'encombrement aussi faible que possible, mais leurs surfaces d'échange doivent être très largement calculées pour permettre d'utiliser au mieux les possibilités de refroidissement qui s'offrent suivant le mode de chargement. Lorsque la ventilation est mise en route sur les compartiments inférieurs, soit pendant, soit en fin de chargement de ces derniers, le navire dispose d'une puissance frigorifique élevée par rapport au tonnage de fruits soumis au refroidissement et des enregistrements de températures à l'intérieur des emballages montrent qu'il est possible d'obtenir un refroidissement important pendant les premières heures, il est intéressant de pouvoir utiliser cette aptitude.

L'automatisme comporte habituellement l'alimentation des évaporateurs par des détendeurs thermostatiques qui contrôlent la température de surchauffe à l'aspiration ou par des vannes à flotteur.

Il paraît indiqué de voir se développer un réglage automatique de la température de l'air refolement dans les compartiments du navire bananier. Après la période de descente en froid, la température de l'air de refolement doit être constante, ce qui permet un réglage sensible, qui constituerait une sécurité contre un abaissement accidentel de la température en dessous de la température limite avec risque d'avarie des bananes par la frisure.

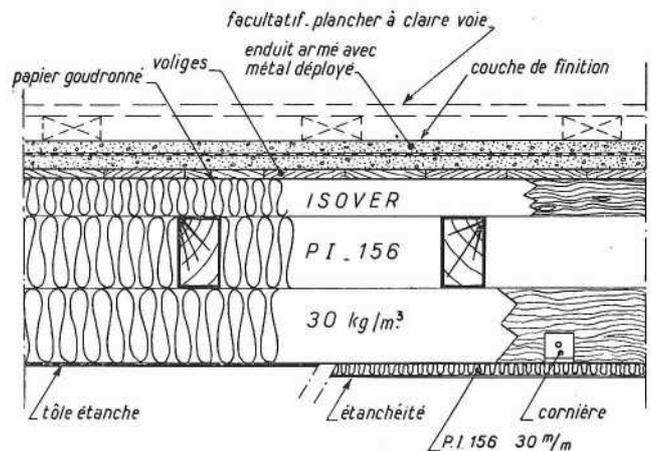


FIG. 2. — Isolation du pont inférieur d'un entrepont frigorifique.

(Documentation Fibriver.)

Les pertes par transmission pure peuvent être décomposées en quatre parties sensiblement égales qui correspondent à la paroi isolante nue (sans les membrures), aux membrures, aux parties métalliques qui traversent l'isolation et aux difficultés de la réalisation. Un manque de soin dans la pose augmente le coefficient, c'est pourquoi il est essentiel d'accorder une grande attention à l'application de l'isolation.

La valeur approximative de la surface de l'isolation d'un navire bananier exprimée en mètres carrés est peu différente de celle du volume utile exprimé en mètres cubes. Si V_u est le volume utile, on peut, pour avoir un ordre de grandeur, considérer que la surface à isoler est voisine de V_u pour les petits navires et sensiblement $0,7 V_u$ pour les navires de 5 500 à 6 000 m³, avec une répartition qui est très approximativement la suivante :

Ponts et entreponts.....	40 %
Bordé	25 %
Cloisons verticales.....	20 %
Plafond et ballast.....	15 %

Les navires anciens étaient isolés au liège : plaques de liège expansé pour les plafonds de ballast, liège granulé, pour les bordés, cloisons et entreponts.

Le liège expansé en plaques a été conservé pour les plafonds de ballast avec une épaisseur de 100 mm, alors que le liège granulé tend à être remplacé par des isolants à base de fibres minérales (verre, roche ou laitier) pour le reste du navire. Le liège granulé est moins coûteux mais il se tasse à la longue, ce qui nécessite un entretien pour recharge, et il complique les réparations de coque parce qu'il n'est pas incombustible.

Les fournisseurs d'isolants fibreux livrent des panneaux imprégnés de résines synthétiques, pesant de 20 à 50 kg/m³ environ qui sont incombustibles, et résistent au tassement. (Un contrôle récent sur un navire n'a pas permis de déceler de tassement après six ans d'utilisation.)

Dans un article sur l'équipement frigorifique du navire bananier *Fort-Royal* (8), M. Neuwander donne les indications suivantes :

« L'épaisseur de l'isolant est de 240-270-290 mm suivant l'échantillonnage des membrures pour les bordés, de 220 mm pour le pont supérieur et de 215 mm pour le pont séparant en deux les tranches de I et II. Le volume total de fibre minérale utilisée pour le calorifugeage est de 1 100 m³ environ. »

Une tendance se manifeste pour la construction de navires polyvalents pouvant être utilisés indifféremment pour le transport de denrées réfrigérées et de denrées congelées. Il en résulte une augmentation notable du volume de l'isolation avec perte correspondante du volume utile. La rentabilité du navire sera diminuée lorsqu'il transportera des régimes de bananes. Le choix à exercer entre le bananier pur à isolation plus limitée et le navire polyvalent dépendra de la nature du trafic envisagé pour le navire considéré. La perte de volume utile pour un navire de 6 000 m³ isolé pour une température de cale de — 18° peut être estimée entre 300 et 500 m³, dans ce cas, le volume de l'isolation représente 25 % environ du volume utile.

Pour nous résumer, le navire bananier pur est un navire qui ne justifie pas une isolation poussée, un coefficient moyen de transmission de 0,7 à 1 lui assure avec un écart de température de 12° à 15° C avec l'extérieur une perte de l'ordre de 60 000 cal/h qui représente moins de 10 % du bilan frigorifique.

Pour une grande part, les épaisseurs de l'isolation sont commandées par l'architecture navale (dimensions des membrures, barrots, etc.).

LA VENTILATION DES CALES DU NAVIRE BANANIER

La ventilation joue un rôle primordial dans l'équipement spécialisé du navire bananier parce qu'elle contribue directement au refroidissement et à la conservation des régimes de bananes.

Elle doit, non seulement transmettre à la cargaison les frigorifiques produites par l'installation frigorifique, mais il lui faut aussi assurer l'évacuation des gaz indésirables produits par la banane (éthylène, gaz carbonique) et per-

mettre de réaliser autour des régimes l'atmosphère la plus indiquée.

Pour bien réaliser ces trois effets, il lui faut répondre à un certain nombre de conditions : débit d'air suffisant, circulation d'air uniforme au travers du chargement, absence de court-circuits d'air extérieurs au chargement, encombrement minimum, puissance absorbée par les ventilateurs raisonnable. La valeur d'un équipement de ventilation dépendra du succès obtenu dans la réalisation d'ensemble de ces conditions.

Le débit d'air en circulation dans les cales est défini par le coefficient de brassage d'une tranche de ventilation qui est le rapport du débit horaire du ventilateur en service sur les compartiments vides de la tranche de ventilation considérée par le volume utile de cette tranche. Les coefficients de brassage qui étaient de 30 à 50 pour les navires anciens ont été augmentés et atteignent 60 à 80 pour les tranches de ventilation des unités récentes.

Les ventilateurs utilisés sont généralement du type hélicoïde considéré comme plus facile à monter, mais il y a des chantiers qui emploient toujours des ventilateurs centrifuges.

Leurs caractéristiques doivent correspondre à celles du circuit de ventilation qui doit être étudié attentivement au préalable si l'on veut obtenir le débit d'air initialement prévu. La pression totale est de l'ordre de 65 mm /CE pour les systèmes à haute pression et 35 à 40 mm pour les systèmes à basse pression.

La conception du circuit de ventilation.

La conception d'un circuit de ventilation résulte d'un choix qui est fait d'après l'importance accordée à ses différents éléments (distribution d'air, vitesse d'air, encombrement, prix de revient), en faisant entrer en ligne de compte les conditions d'utilisation du navire (nature du fret au voyage aller) et aussi en se basant sur l'expérience acquise par l'armement intéressé. Il faut aussi prendre en considération le rôle joué par le chargement dont la résistance au passage de l'air dépend

du mode de conditionnement des régimes de bananes (nus, en polythène, en paille papier), de la densité de chargement et des conditions de l'arrimage (hauteur, dimensions et formes de régimes qui varient suivant la variété de bananes).

La perte de charge de la cargaison d'un compartiment de navire bananier n'est pas connue avec précision, mais on sait qu'elle est faible et de l'ordre de quelques millimètres de colonne d'eau. Les mesures de débits d'air sur compartiments vides et chargés n'ont pas montré de différences marquées. L'importance accordée à cette perte

de charge déterminera le choix du système de distribution.

Il faut ensuite considérer le frigorifère dont la perte de charge augmente avec la vitesse de circulation d'air, consécutive à l'accroissement du coefficient de brassage. Une batterie de frigorifère montée en série dans un système de ventilation latérale aura une perte de charge quatre fois plus élevée qu'une batterie montée en parallèle dans un système de ventilation verticale. Un frigorifère traversé par de l'air à grande vitesse et monté en série peut représenter à lui seul 30 à 40 % des pertes de charge de l'installation.

Puis, il faut tenir compte des pertes de charges du circuit (gaine, coudes, variations de section), Et finalement, interviendra le choix du système de distribution d'air. Les différentes solutions adoptées se situent entre deux tendances opposées : celle de la distribution à basse pression et celle de la distribution à haute pression.

La distribution à basse pression part de l'idée qu'il faut utiliser un circuit de faible résistance pour consommer le moins possible de force motrice pour les ventilateurs. Le circuit de ventilation est simplifié, la gaine d'aspiration est souvent supprimée et la pression dans

la gaine de refoulement n'est que de 1 à 2 mm de colonne d'eau.

Avec le mode de distribution à haute pression, l'idée dominante est que la perte de charge du chargement est trop faible pour exercer un effet régulateur sur la circulation de l'air qui le traverse et que l'hétérogénéité du chargement aura pour conséquence des irrégularités de la circulation de l'air qui choisit les chemins les plus favorables avec un manque d'uniformité du refroidissement et un balayage moins satisfaisant des gaz nuisibles.

Pour obtenir une ventilation efficace, il est nécessaire de maintenir dans la gaine de refoulement une pression suffisante pour réaliser une distribution d'air qui soit indépendante du mode de conditionnement et de l'hétérogénéité du chargement des bananes. La surface totale des orifices de distribution d'air est limitée pour maintenir dans la gaine de refoulement une pression de 7 à 8 mm de colonne d'eau, et les orifices de sortie d'air sont de petite dimension pour en avoir un grand nombre bien réparti sur toute la surface de distribution. L'air pénètre dans le compartiment avec une vitesse de 10 à 15 m/s. Les orifices de la gaine d'aspiration sont également calculés pour obtenir une répartition uniforme de l'air aspiré sur toute la surface intéressée.

PHOTO 7.

Ventilateur hélicoïde de 76 000 m³/h ; moteur électrique à courant continu 220 V à vitesse variable.

(Documentation des Étis Granoux, Marseille.)

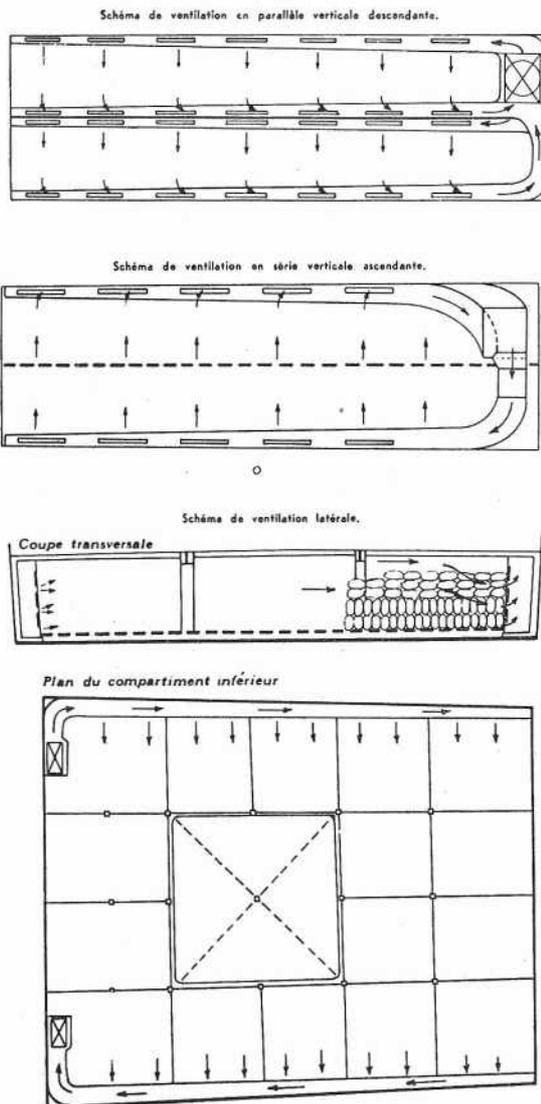
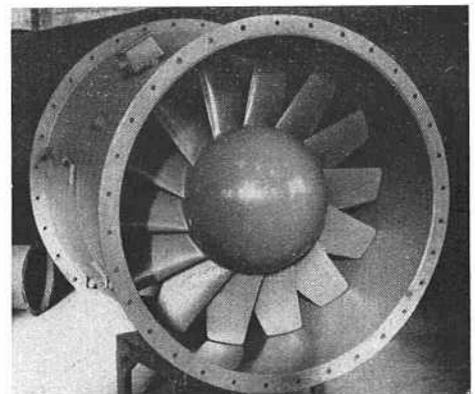
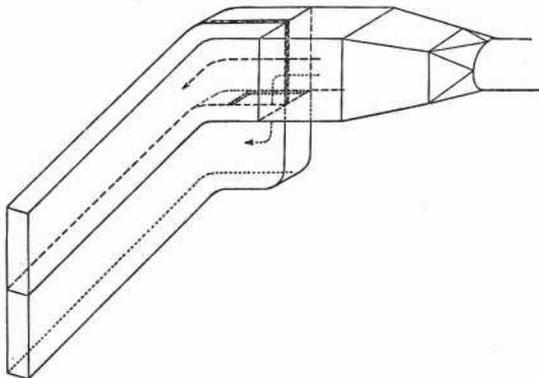
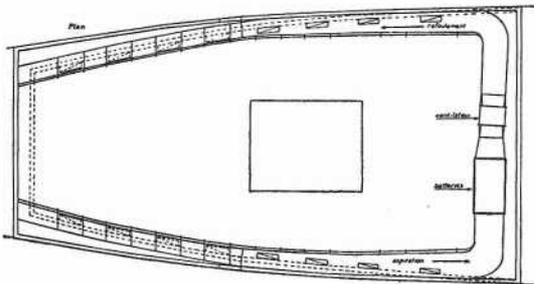
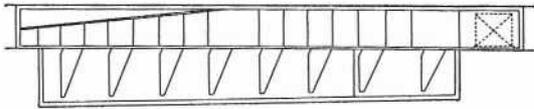


FIG 3. — Système de ventilation latérale.





Ventilation horizontale : schéma de distribution d'air avec deux gaines superposées.



Ventilation horizontale : distribution par collecteur avec gainettes branchées directement (étudié par M. Somma). Navire construit en 1956.

FIG. 4.
Système de ventilation latérale.

Le lecteur sera peut-être étonné de rencontrer deux conceptions aussi différentes au sujet de la ventilation du navire bananier. Cela s'explique lorsque l'on sait que les études sur la ventilation du navire bananier sont relativement récentes et que la recherche expérimentale sur le transport maritime de la banane présente des difficultés parce qu'elle demande une connaissance approfondie du fruit et de la technique du transport, un matériel expérimental important et coûteux, une équipe d'expérimentateurs entraînés, et que l'interprétation des résultats est délicate parce que les conditions de transport de deux navires différents sont en général variables (variété du fruit, mode de conditionnement, durée de chargement, durée du transport). A défaut de documentation précise, la part de l'interprétation reste

importante et les possibilités d'option, sont nombreuses.

A titre d'exemple, nous mentionnerons trois systèmes de ventilation qui ont fait l'objet de réalisations sur des navires de construction récente :

— le système de ventilation de la Société Stal, à basse pression, du type vertical, ascendant, en série ;

— le système de ventilation de la Compagnie générale transatlantique à haute pression, du type vertical, descendant, en parallèle ;

— le système de ventilation étudié par M. Somma, pour la Compagnie de navigation Fraissinet-Cyprien Fabre, à haute pression, du type vertical ascendant, en série.

Nous les examinerons plus en détail un peu plus loin.

Différents modes de ventilation.

Les équipements de ventilation réalisés sur les navires bananiers constituent des variantes de deux systèmes qui emploient indifféremment l'un ou l'autre des deux principes utilisables : la ventilation en série et la ventilation en parallèle.

Dans la ventilation en série, chaque compartiment de la tranche de ventilation considérée est traversé par le débit total de l'air en circulation. L'adoption de ce principe permet de faire circuler un grand volume d'air dans chaque compartiment dans le but d'obtenir un refroidissement rapide, uniforme, et un balayage efficace des gaz nuisibles.

Avec la ventilation en parallèle, chaque compartiment ne reçoit qu'une partie de l'air débité par le ventilateur. Le trajet de l'air dans le chargement est plus court.

Ce principe convient bien à certaines réalisations, par exemple lorsque le

même ventilateur dessert plus de deux compartiments, mais il faut que les circuits soient très bien équilibrés au point de vue des pertes de charge pour éviter des inégalités de distribution d'air entre les compartiments d'une même tranche.

Les systèmes de ventilation.

Les systèmes de ventilation peuvent être rattachés à deux groupes :

— le système latéral (appelé couramment horizontal) à long trajet d'air dans le chargement ;

— le système de ventilation vertical à court trajet d'air.

Étant donné l'importance de cette question, il est essentiel d'en parler plus longuement.

VENTILATION LATÉRALE (HORIZONTALE). — C'est le plus ancien système. Le plus simple et le plus facile à construire et celui qui permet une surveillance aisée des fruits placés en bordure de compartiment en ce qui concerne les risques de frisure.

L'air qui vient de traverser le frigorigère est refoulé dans une gaine de distribution située le long du bordé. Cette gaine porte plusieurs rangées d'ouvertures à surfaces réglables appelées « louvres » permettant d'injecter l'air dans le compartiment. Une gaine symétrique branchée sur l'aspiration du ventilateur permet de reprendre l'air refoulé dans le compartiment.

L'air doit traverser le compartiment dans toute sa largeur (ce qui représente un trajet de 12 à 15 m suivant la taille du navire), et il a la possibilité de suivre plusieurs chemins, soit au-dessus du chargement, soit au travers du chargement (partiellement ou en totalité), soit sous le chargement. La rangée supérieure des louvres, côté refoulement, ne doit pas être trop haute pour ne pas se trouver découverte avec le tassement de la cargaison, si l'on veut éviter de souffler directement au-dessus des régimes.

Il est difficile de connaître exactement la circulation de l'air au travers des régimes de bananes. Les régimes placés contre la gaine de refoulement

sont refroidis le plus rapidement, puis ce sont ceux placés du côté de l'aspiration, les régimes placés au milieu du compartiment reçoivent moins d'air et se refroidissent plus lentement. Comme l'air s'échauffe en traversant la cargaison, les régimes placés du côté de l'aspiration sont à une température plus élevée que ceux placés du côté du refoulement. Cet écart de température va en diminuant au fur et à mesure du refroidissement. Pour y remédier, il a été proposé d'inverser le sens de la ventilation, procédé dont l'efficacité fait l'objet de discussion parce que le débit du ventilateur se trouve réduit de 30 % environ en sens inverse et parce que le réglage des ouvertures d'aspiration est différent de celui du refoulement. L'avantage de cette pratique n'a pas été démontré avec certitude. Les gaines de ventilation doivent avoir une largeur suffisante pour permettre la circulation du personnel chargé du réglage et de la vérification de l'ouverture des louveres, ce qui conduit à un encombrement assez élevé et à une diminution du volume utile. D'autre part, le balayage de gaz indésirables nécessite l'envoi d'air sous le chargement, ce qui occasionne un court-circuit d'air.

Ce système est employé pour des tranches de ventilation pouvant comporter de un à quatre compartiments. Avec plusieurs compartiments, l'étude des résistances des circuits doit être effectuée avec beaucoup de soins pour obtenir une distribution d'air équilibrée. Différentes solutions ont été réalisées, elles se rattachent à deux formules, celle d'une alimentation par gaines superposées et celles de distribution par un collecteur central sur lequel sont branchées directement les gainettes de petites dimension. Cette variante est moins encombrante et plus équilibrée. Nous donnons ci-contre des croquis et schéma de quelques réalisations.

VENTILATION VERTICALE. —

Avec ce système de ventilation, l'air traverse le chargement en direction verticale sous une faible hauteur, ce qui doit conduire à une température plus uniforme des régimes de bananes et à

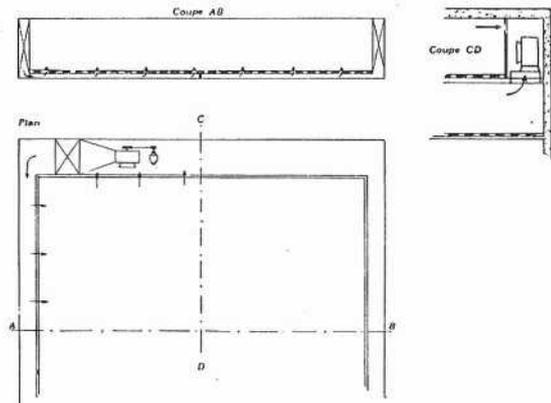


FIG. 5. — Ventilation verticale ascendante avec admission d'air sous le caillebotis au moyen de deux gaines latérales; aspiration simplifiée en fin de compartiment, double batterie de frigorifères avec ventilateurs centrifuges.

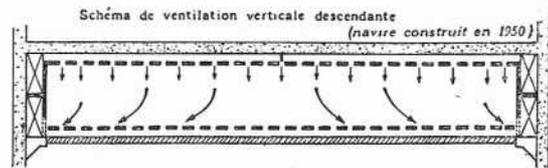


FIG. 6. — Schéma de ventilation verticale descendante (navire construit en 1950). Admission d'air par un faux plafond alimenté par des gaines latérales supérieures, aspiration par gaines latérales inférieures.

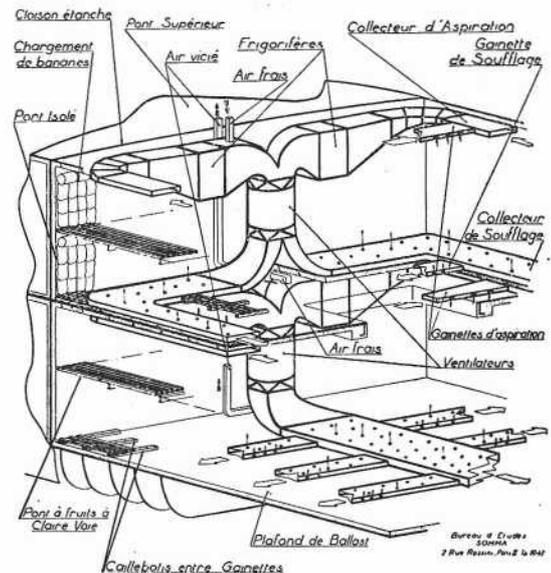


FIG. 7. — Ventilation en série, verticale ascendante à haute pression. Réalisation récente (1958). Deux frigorifères en parallèle, pertes de charges limitées, recherche de l'efficacité du système de ventilation par une distribution d'air à haute pression très étudiée. Les dimensions des orifices de refoulement et d'aspiration sont déterminées par le calcul avant construction, réseau de gaines au refoulement et à l'aspiration, débit d'air élevé, recherche du volume utile maximum. (Étude de M. Somma.)

la suppression des courts-circuits extérieurs, puisque l'air qui n'a pas d'autres issues doit traverser le chargement pour être aspiré. Le sens de circulation de l'air peut être ascendant ou descendant, les deux systèmes ont été réalisés.

La hauteur limitée des compartiments et les faibles différences de pression mises en jeu ne sont pas de nature à fournir des arguments décisifs en faveur du sens de circulation qui résulte plus de nécessités secondaires (exploitation du navire à d'autres fins pendant le voyage aller, perfectionnements successifs d'une technique expérimentale) que de considérations de ventilation pure.

Les promoteurs de ce système justifient son adoption par les considérations suivantes :

- refroidissement plus rapide et plus uniforme des régimes par suite de la suppression des courts-circuits d'air extérieurs ;

- meilleur balayage des gaz nuisibles et moindre effet de contamination des régimes en maturation ;

- emploi de ventilateurs ayant un meilleur rendement puisqu'ils sont prévus avec un seul sens de marche ;

- efficacité de la ventilation indépendante de la hauteur de chargement dans le compartiment et du tassement (pour avoir un effet régulier, il suffit de répartir les régimes sur toute la surface) ;

- encombrement moindre de l'équipement de ventilation avec gain de volume utile.

En contrepartie, la réalisation peut être plus compliquée et plus onéreuse, mais il est indéniable que la ventilation verticale gagne du terrain sur la ventilation latérale si l'on se rapporte aux unités récemment construites.

Les solutions adoptées présentent de nombreuses variantes qui s'expliquent par l'importance relative accordée aux facteurs à prendre en considération (puissance absorbée, exploitation du navire, simplicité de construction, efficacité de la ventilation).

Nous indiquons ci-contre un certain nombre de solutions qui ont été réalisées, le lecteur verra qu'elles constituent des variantes de la ventilation verticale en série ou en parallèle.

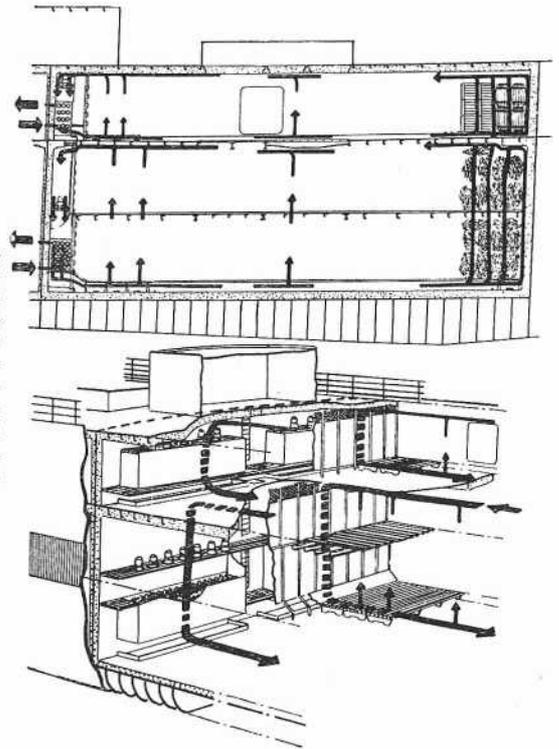


FIG. 8. — Ventilation en série, verticale ascendante, réalisation récente (1958). Distribution d'air à basse pression sous caillebotis spécial, aspiration simplifiée en bout de compartiment, recherche de la robustesse, de la simplicité et d'une faible puissance absorbée en diminuant la résistance du circuit de ventilation. (Étude de la Société STAL.)

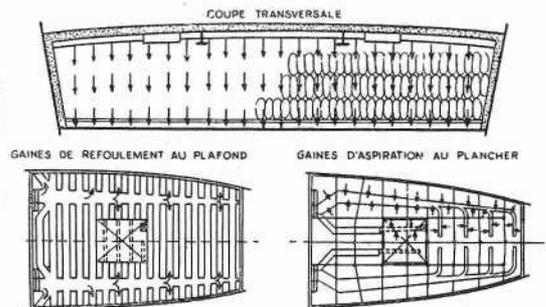
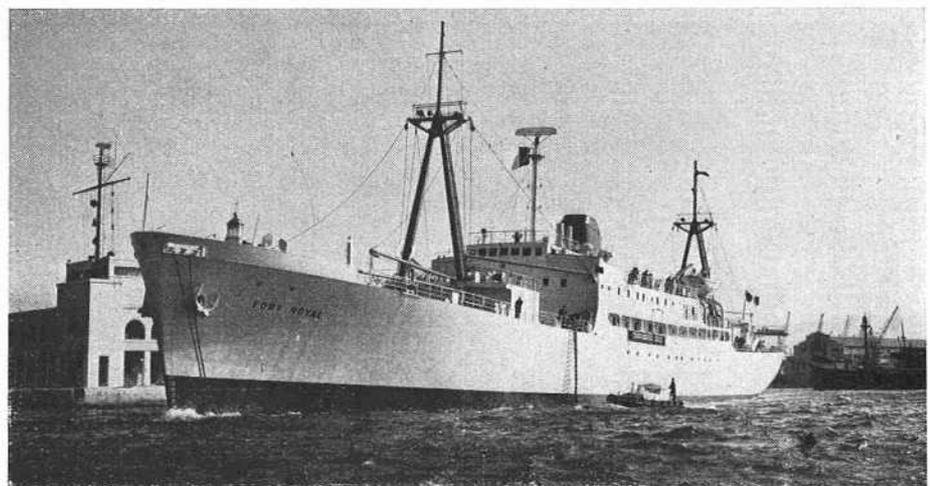


FIG. 9. — Ventilation en parallèle verticale descendante, haute pression, réalisée sur des navires bananiers de la Compagnie générale transatlantique. Distribution d'air et aspiration par réseau de gaines spécialement étudiée pour obtenir une bonne circulation d'air dans le chargement.

Photo 9. — Le « Fort-Royal », de la Compagnie générale transatlantique.



L'ATMOSPHÈRE DES CALES DU NAVIRE BANANIER

L'atmosphère des cales du navire bananier doit se rapprocher autant que possible de celle qui est considérée comme étant la plus favorable à la stabilité du fruit en cours de transport. Il est possible d'agir sur trois variables : les teneurs en oxygène, en gaz carbonique et en vapeur d'eau, et il est indispensable d'éliminer l'éthylène. Wardlaw a indiqué que l'atmosphère la plus favorable devrait avoir 3 à 5 % de gaz carbonique et 7 à 12 % d'oxygène en l'absence d'éthylène. Une teneur trop élevée en gaz carbonique est nuisible.

Le problème posé consiste à supprimer l'éthylène en conservant une partie du gaz carbonique produit par la cargaison. Il n'est pas résolu présentement parce qu'il n'y a pas encore de moyen simple pour éliminer sélectivement l'éthylène et conserver une partie du gaz carbonique, aussi sera-t-il erroné de dire que la teneur en gaz carbonique des cales du navire bananier peut s'élever jusqu'à 3 %, tant qu'il n'aura pas été possible d'éliminer l'éthylène. Pour le moment, l'existence de ces deux gaz est commune, et pour supprimer l'effet nocif de l'éthylène, il a été nécessaire d'adopter une solution brutale qui consiste à évacuer en même temps le gaz carbonique et l'éthylène en effectuant une introduction continue d'air frais et en évacuant un volume égal d'air vicié.

Il se produit un rinçage permanent de l'air des cales du navire qui permet de supprimer l'éthylène avec une faible teneur en gaz carbonique.

Quant à la teneur en oxygène, elle est pratiquement constante et voisine ou égale à celle de l'air.

L'impératif de la suppression de l'éthylène empêche de pouvoir utiliser

l'avantage procuré par une teneur plus élevée en gaz carbonique et diminuée en oxygène.

Les régimes qui entrent en maturation pendant le transport ont une production d'éthylène plus importante que les régimes verts avec possibilité de déclencher la maturation des régimes voisins : c'est l'effet de la contamination.

A défaut de documentation précise sur cette question, il paraît raisonnable de considérer qu'un balayage efficace en continu de ce gaz dès qu'il a été émis doit empêcher les régimes entrant en maturation d'exercer l'effet de contamination sur les régimes voisins ou la limiter.

L'importance de cette question a été jugée suffisante par certains armements pour justifier la réalisation de systèmes de ventilation à haute pression assurant une bonne circulation d'air dans le chargement, afin de diminuer le risque d'avaries en cours de transport.

Il faut bien comprendre que l'évacuation d'air vicié ne suffit pas à elle seule, elle ne peut se concevoir qu'avec un balayage efficace des gaz nuisibles dans tout le chargement, ce qui signifie qu'il faut réaliser conjointement un système de ventilation efficace et un bon renouvellement d'air.

Il n'a pas été possible de définir avec précision la quantité d'air frais qui doit être introduite, et il est d'usage de se baser sur l'expérience acquise. Il est admis qu'une introduction horaire en continu d'une ou deux fois le volume de la tranche de ventilation considérée donne satisfaction. Ce taux peut être réduit en période de refroidissement des fruits pour pouvoir disposer d'une plus grande quantité de frigories pour la descente en froid.

L'installation de renouvellement

d'air peut être de deux types : statique ou dynamique.

L'installation *statique* comporte une arrivée d'air frais placée au point du circuit de ventilation où la dépression est la plus grande et une évacuation d'air vicié au point où la pression est la plus élevée.

Avec des circuits correctement calculés et indépendants pour chaque tranche de ventilation, ce système qui présente l'avantage d'être simple et indé réglable donne de bons résultats et ne subit pratiquement pas l'influence des conditions de marche du navire.

L'installation du type *dynamique* consiste à refouler de l'air frais par des ventilateurs auxiliaires dans le circuit de ventilation. Elle se justifie lorsque la construction du navire ne permet pas d'avoir un réseau simple de conduits, par exemple dans le cas de navires mixtes comportant un ou deux ponts de cabines de passagers. Il y a évidemment consommation supplémentaire de force motrice.

Humidité relative des cales du navire bananier.

Le rôle de l'humidité dans les cales du navire bananier est complexe : une humidité élevée diminue les pertes par dessiccation, conserve la fraîcheur des fruits et si le refroidissement a été efficace ne favorise pas le développement des pourritures, mais elle peut diminuer la stabilité de la banane pour des transports de longue durée. Les données précises manquent à ce sujet, quoiqu'il soit permis de dire, d'après l'expérience du transport, qu'une humidité relative élevée est indiquée pour des voyages de durée moyenne (jusqu'à quinze jours).

Le renouvellement d'air en continu constitue un apport d'humidité puisque l'air introduit dans les cales contient au début du voyage environ 20 g d'eau par mètre cube, alors que l'air des cales à 12° C et 90 % d'humidité relative n'en contient que 10 g par mètre cube. Le système de renouvellement d'air sera étudié pour éviter qu'une partie de l'eau introduite soit retenue par condensation.

Le mieux est d'introduire l'air frais entre le frigorifère et le ventilateur.

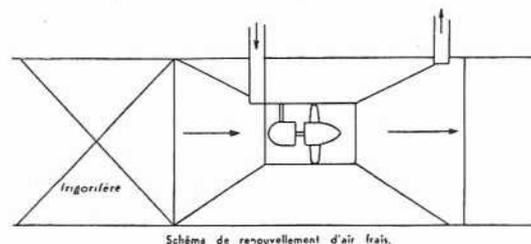


FIG. 10.
Schéma de renouvellement
d'air frais.

Schéma de renouvellement d'air frais.

La quantité d'eau introduite est de l'ordre de 1 200 kg par jour pour un navire de 5 000 m³ avec un taux de renouvellement horaire de 1, alors que la valeur moyenne de la perte de poids journalière est de 2 000 à 3 000 kg, comprenant 500 à 600 kg de gaz carbonique et 1 500 à 2 400 kg d'eau.

Ces chiffres montrent que le réglage de l'humidité relative des compartiments des navires bananiers peut avoir une influence sur le pourcentage des pertes par dessiccation. Pour une cargaison de 1 200 t, 1 % de perte représente une diminution de recette de 80 millions en vingt ans pour l'armateur qui exploite un navire avec fret payé sur le poids à l'arrivée.

La diminution de la perte par dessiccation s'obtient par l'action combinée du mode de conditionnement, d'un refroidissement rapide et d'une humidité relative élevée ; elle fait donc intervenir la valeur technique de l'installation frigorifique et de l'installation de ventilation.

L'ÉQUIPEMENT DE CONTRÔLE

Les appareils utilisés pour le contrôle du fonctionnement des installations spécialisées du navire bananier ne sont pas particuliers à la banane, ils relèvent de la technique générale du contrôle industriel et ne nécessitent pas de s'étendre longuement à leur sujet ; aussi nous nous bornerons ici à donner des indications sommaires sur cette question.

Le contrôle concerne le fonctionnement de l'installation frigorifique, la mesure des températures de l'air à l'entrée et à la sortie des frigorifères et dans les compartiments du navire. L'installation frigorifique doit être munie des instruments usuels de contrôle permettant de connaître les pressions d'aspiration et de refoulement, la température de surchauffe, le niveau de liquide dans les bouteilles à liquide, les températures de l'eau de mer au condenseur, la pression d'huile aux compresseurs, etc. Les températures de départ et de retour de l'agent frigorigène (ammoniac, « fréon », saumure) seront contrôlées au moyen de thermomètres

très lisibles et placés à hauteur des yeux. L'importance de ce contrôle justifie le choix de thermomètres étudiés spécialement.

L'enregistrement de la température de départ de l'agent frigorigène fournit des indications précieuses sur la régularité de marche, sur la température moyenne et permet de se recouper avec la lecture des thermomètres. Bien que l'utilisation d'un appareil enregistreur soit encore peu fréquente, il y a lieu de la considérer comme indispensable.

Le contrôle essentiel du navire bananier c'est celui des températures de l'air à l'entrée et à la sortie du frigorifère. Il permet de suivre la descente en froid et le maintien de la température de régime au voisinage de la température critique en dessous de laquelle se produit la frisure des bananes.

Ce contrôle est doublé en raison de son importance : d'abord un équipement de thermomètres à distance permet de connaître à tout moment les températures des entrées et sorties de frigorifère à la passerelle et dans la salle des machines ; mais comme il est difficile en mer d'éviter des dérèglages et de pouvoir garantir la précision des mesures en dessous de 0,5° C, il est nécessaire de pouvoir recouper ces indications par la lecture des thermomètres à mercure placés dans le circuit de ventilation. Ces thermomètres doivent être très lisibles et il faut pouvoir y accéder sans difficulté (les erreurs de lecture diminuent avec la facilité du contrôle, et il est difficile d'obtenir des rondes régulières lorsque les accès ont été mal étudiés).

Le dernier contrôle comporte la mesure des températures de l'air qui circule entre les régimes de bananes au moyen de thermomètres-sondes et de thermomètres à distance reliés à la passerelle. Ces thermomètres permettent de constituer une documentation d'ensemble sur les températures de l'air circulant dans le chargement pendant tout le voyage et ils peuvent signaler les zones de maturation, mais il ne faut pas perdre de vue que les renseignements fournis n'ont qu'un caractère fragmentaire parce que les thermomètres-sondes ne peuvent être placés dans la zone des carrés de pan-

neaux qui est celle qui risque d'être moins bien ventilée et qui est la plus vulnérable. La multiplication des thermomètres-sondes peut se traduire par un alourdissement du contrôle sans qu'il en résulte un accroissement de son efficacité. Il y a des navires bananiers qui n'utilisent pas les thermomètres-sondes et préfèrent sacrifier du volume utile pour pouvoir accéder aux fruits dans les compartiments.

Le contrôle du gaz carbonique ne se justifie pas puisque sa teneur est trop faible pour être dosée facilement si le renouvellement d'air est effectué normalement.

La solution à adopter pour l'ensemble de l'installation de contrôle du navire bananier réside dans un choix équilibré entre le nombre des températures à relever, la fréquence et la commodité des lectures, la précision et la robustesse du matériel et la nécessité de pouvoir se recouper rapidement pour les mesures importantes.

ÉQUIPEMENT DES CALES DU NAVIRE BANANIER

Les conditions du chargement et l'arrimage des régimes sur une hauteur ne dépassant pas normalement 2 m conditionnent l'équipement des cales du navire bananier.

Pour être à même de faire face à des modes de chargement variables (en rade, à quai sans engin de manutention, à quai avec des norias), le bananier est prévu habituellement avec quatre cales (parfois cinq) ayant un volume aussi équilibré que possible, chacune d'entre elles pouvant être chargée par un carré de panneau ou par un sabord placé sur chaque bord du navire, ce qui rend possible l'utilisation simultanée d'une chaîne de manutention par cale chargeant ou déchargeant par le carré de panneau ou par le sabord ou encore par les deux à la fois. La hauteur des compartiments doit être voisine de 2 m et le fait d'avoir comme dans certains navires fruitiers trois compartiments de 2 m de hauteur et une cale qui a près de 3 m de hauteur ne présente pas d'intérêt pour la banane parce que toute la hauteur de la

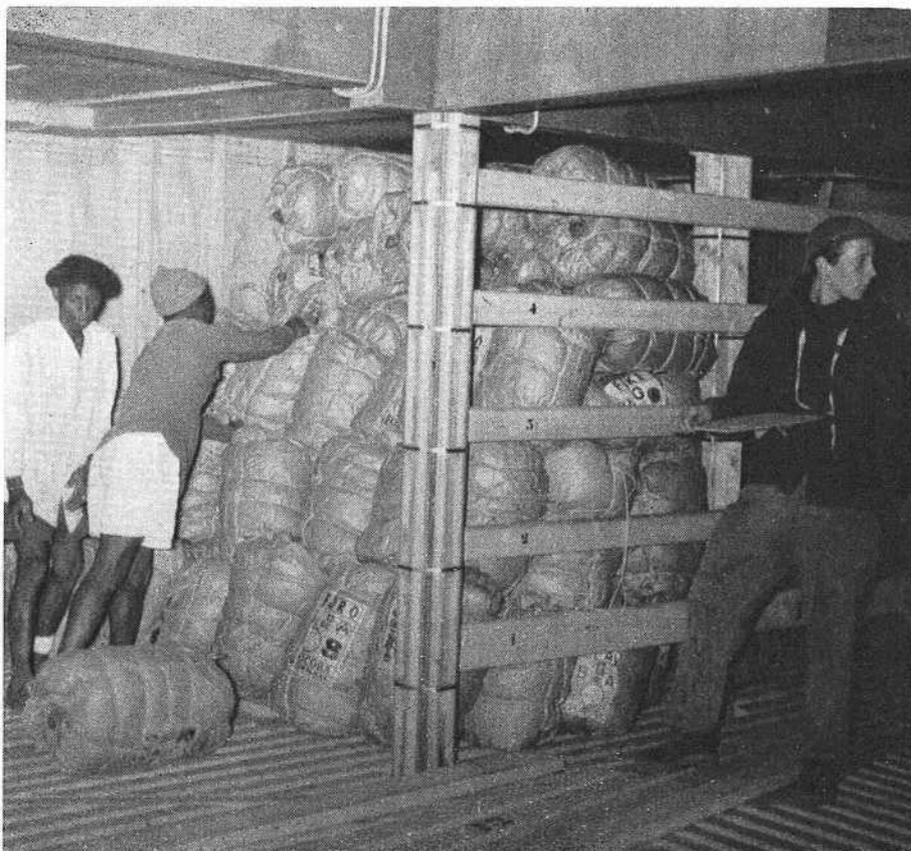


Photo 8. — Arrimage de régimes de bananes emballés paille-papier dans un compartiment de cale à ventilation latérale. Remarquer les parcs formés par les potelets et les bois ainsi que le caillebotis

(Documentation Frigo-Loire.)

cale ne sera pas utilisée avec un transport réalisé dans des conditions normales. Il est plus indiqué de répartir également la hauteur totale disponible entre tous les compartiments de la cale considérée.

Les carrés de panneaux sont prévus habituellement pour la manutention du fret divers, c'est pourquoi ils sont largement dimensionnés pour la manutention des régimes de bananes.

Les panneaux doivent être robustes et légers pour faciliter les manutentions. Ils seront isolés s'ils correspondent à des ponts et entreponts ayant une protection thermique. Les hiloires inversés facilitent la circulation de l'air quel que soit le système de ventilation.

L'équipement proprement dit des compartiments du navire bananier est spécialement conçu pour des régimes de bananes.

Le vaigrage, réalisé anciennement en bois bouveté, est exécuté fréquem-

ment maintenant en contreplaqué ; il doit être prévu de manière à ne pas favoriser des courts-circuits d'air le long du bordé.

L'intérieur du compartiment est équipé avec un caillebotis destiné à supporter les régimes de la rangée inférieure qui reposent en général sur le gros bout de la hampe. Le caillebotis peut être un simple support ou être utilisé pour la distribution d'air avec un modèle spécial.

Les effets du roulis et du tangage (blessures, frottage, tassement) peuvent être importants avec des navires peu chargés, rapides et de tonnage modéré comme les navires bananiers. Il est indispensable d'obtenir une bonne tenue de la cargaison en l'arrimant dans un ensemble de casiers (parcs), qui sont constitués par des épontilles entre lesquelles sont disposées, sur toute la hauteur, des pièces de bois horizontales (bins, bardies).

Les dimensions et la forme des parcs

sont importantes. Leur volume est de l'ordre de 15 à 20 m³ et leur plus grande dimension doit être parallèle à l'axe longitudinal du navire parce que le cloisonnement doit être plus serré dans le sens transversal, à cause du roulis qui a plus d'inconvénients que le tangage. Un tassement excessif des régimes limite la circulation d'air dans le chargement et il peut en résulter des éléments défavorables pour le transport.

En plus de l'équipement de sécurité habituel, il est bon de prévoir une possibilité d'accès dans chaque compartiment si l'on veut pouvoir exercer un contrôle réel de la qualité des bananes (fraîcheur, frisure, fruits tournants, etc.). Les thermomètres-sondes sont placés dans des tubes métalliques perforés placés contre les épontilles et les thermomètres à distance indiquant les températures de l'air des cales doivent être protégés contre les chocs de la manutention.

**

Dans cet exposé, forcément limité, nous avons présenté les particularités du navire bananier moderne en signalant au passage quelques-uns des problèmes essentiels posés par le transport maritime des régimes de bananes.

Une évolution marquée de la technique de construction des navires bananiers s'est produite en quelques années afin d'accroître leur rentabilité et d'obtenir une plus grande efficacité de leur équipement spécialisé (vitesse plus élevée, puissance frigorifique plus grande, augmentation du débit des ventilateurs, recherche d'une meilleure circulation d'air dans le chargement, atmosphère des compartiments, etc.). En outre, des progrès ont été accomplis en matière d'appréciation de la qualité de la banane chargée à bord des navires (travaux de l'I. F. A. C.).

L'ensemble de ces perfectionnements a eu pour conséquence d'améliorer la sécurité du transport de la banane. Il n'en reste pas moins qu'il y a encore des domaines à explorer, aussi bien en ce qui concerne la physiologie du fruit (métabolisme de l'éthylène par exemple) que sur le plan de la technique du transport : la diversité des solutions adoptées pour la ventilation des cales en constitue une excellente démonstration.

Bien que des modifications fondamentales paraissent exclues dans un

avenir proche, il reste toujours possible de perfectionner les installations actuelles, de comparer l'efficacité des différents systèmes de ventilation proposés et de mieux savoir comment s'effectuer le refroidissement des régimes de bananes d'un compartiment, de développer la régulation automatique des températures, etc. Ces études font appel à des connaissances variées qui vont depuis la physiologie de la banane jusqu'à la ventilation et la régulation automatique en passant par la technique frigorifique, l'isolation, etc.

L'expérimentation sur les navires bananiers est difficile, c'est ce qui explique que la documentation sur le refroidissement des régimes de bananes reste très limitée, et la vérité oblige à dire qu'elle est présentement insuffisante. Aussi nous ne saurions trop souligner le rôle important présenté par la constitution de groupes d'études, tant sur le plan international (Groupe d'étude du transport maritime de la banane de l'Institut International du froid) que sur le plan français (Groupe d'étude de la Commission 8 de l'Association française du froid) qui sont très indiqués pour juger l'importance des recherches à effectuer, pour obtenir la mise en œuvre des moyens nécessaires.

Les conditions de transport de la banane varient d'un territoire à l'autre. Vu dans son ensemble, le problème du transport maritime de la banane est

complexe et les armements peuvent opter entre des solutions différentes ; c'est ce qui explique pourquoi il n'est pas possible d'établir une doctrine rigide du transport maritime de la banane, mais la recherche doit permettre d'améliorer l'information des utilisateurs sur les possibilités qui s'offrent à leur choix.

S'il est encore un peu tôt pour comparer la valeur des navires récents à celles des bananiers anciens, il paraît toutefois possible d'affirmer que le navire bananier moderne constitue un exemple remarquable d'aboutissement technique intéressant obtenu en conjuguant les efforts de la recherche, de la production, de la construction navale et des armateurs. Les avaries en cours de transport sont très faibles dans certains cas ou restent dans des limites très acceptables dans d'autres, ce qui montre que la sécurité du transport est atteinte : le fruit de qualité normale au chargement, n'offre plus d'incertitude, mais il est permis d'être encore plus ambitieux et de considérer qu'une amélioration de l'efficacité du transport maritime de la banane doit permettre de commercialiser un fruit plus plein ayant une valeur marchande plus élevée pour le producteur et le transporteur. Il reste des progrès à accomplir dans ce domaine et la meilleure conclusion de cet exposé est de souhaiter qu'ils soient réalisés le plus rapidement possible.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) R. CADILLAT. — La flotte bananière mondiale. *Fruits*, avril 59, p. 185-195.
- (2) G. E. MERLIN. — Transports maritimes frigorifiques et climatisation marines techniques. *Revue Générale du Froid*, novembre 58, p. 1155-1168.
- (3) R. GANE. — *New Phytologist* 1937-36-170, 1936-35-383.
- (4) R. THEVENOT. — La Préréfrigération. Comptes rendus du IX^e Congrès international du Froid, vol. I, p. 51-77.
- (5) G. MANN. — The Carriage of Bananas in Refrigerated Ships : The effect of wrapping on the rate of cooling. *Modern Refrigeration*, 61 (1958), I, p. 40-43-66.
- (6) A. NEUENSCHWANDER. — Transport maritime de la banane : Considérations relatives à l'installation frigorifique des navires bananiers. Comptes rendus du IX^e Congrès international du Froid, vol. 2, p. 8037-8044.
- (7) A. NEUENSCHWANDER. — Navires, Ports et Chantiers, mars 1957.
- (8) A. NEUENSCHWANDER. — Navires, Ports et Chantiers, mars 1957.
- (9) WARDLAW, C. W. LEONARD, E. R. BARNELL. — Low Temperature Research Station Report, Trinidad, mémoire n° 13.