



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

18743

Distr. RESTREINTE

IO/R.181

10 décembre 1990

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Original : FRANCAIS

RENFORCEMENT DE LA SECTION "FROID" DE
L'ECOLE CENTRALE POUR L'INDUSTRIE, LE COMMERCE ET L'ADMINISTRATION (ECICA)

XA/MLI/89/603

REPUBLIQUE DU MALI

Rapport final

Le froid industriel au Mali : le montage et le développement des équipements
de la section froid à l'ECICA le besoin de développer
des systèmes de climatisation adaptés*

Préparé pour le Gouvernement du Mali
par l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

D'après l'étude de Z. Melikian.
Consultant ONUDI

* Document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

V.90-90264 0764H

Table de matières

	page
1. Contenu du projet	3
2. Plan de réalisation du projet	3
3. Résultats du projet	4
 <u>Annexes</u>	
Annexe 1 Chambres froides	18
Annexe 2 Les équipements	32
Annexe 3 Schema	44
Annexe 4 Fourniture	46
Annexe 5 Travaux pratiques	50
 <u>Descriptif de projet</u>	99
A. Contexte	100
B. Justification du projet	101
C. Objectifs de développement	104
D. Objectifs immédiats, résultats et activités	104
E. Apports	109
F. Risques	111
G. Obligations, préalables et conditions préliminaires	111
H. Suivi, rapport et évaluation	111
Visa et approbation	112
 <u>Annexes</u>	
Annexe 1 Plan d'implantation des ateliers "froid" et "climatisation"	113
Annexe 2 Installation de climatisation	114

1. CONTENU DU PROJET

Le projet vise à :

I. Réhabiliter l'atelier de la section "froid" de l'ECICA à Bamako, afin de permettre la formation solide des frigoristes aptes à créer des entreprises dans les domaines de technique frigorifique et de climatisation;

II. Offrir aux entreprises extérieures un support technologique adéquat pour développer des techniques de froid et de climatisation adaptées aux conditions locales;

III. Examiner en particulier la question de l'utilisation de l'énergie solaire pour le développement de nouvelles technologies de production du froid et de climatisation.

2. PLAN DE REALISATION DU PROJET

Pour la réalisation du projet on a élaboré le plan suivant d'exécution des travaux :

a) Pour la première partie du projet

- Réception d'équipement commandé;
- Classement et vérification des équipements;
- Etudes des caractéristiques des équipements reçus;
- Mise au point des plans des installations frigorifiques (chambre froide et installations en cabines) d'après les caractéristiques des équipements;
- Préparation de la salle des machines pour la pose des compresseurs, condenseurs et autres équipements de chambre froide;
- Montage de chambre froide et des installations en cabines;
- Installation du transformateur électrique 15 000/380 V; 50 kW pour l'alimentation en énergie électrique des équipements de l'atelier "froid";

- Elaboration du schéma axonométrique d'installation en cabine (Projet du montage);
- Elaboration des descriptions des travaux pratiques de laboratoire pour les essais et entretien des installations frigorifiques prévus pour l'atelier "froid";
- Formation des professeurs à l'utilisation des équipements d'atelier.

b) Pour la deuxième partie du projet

- Visites aux entreprises pour étudier la situation technologique, technique et économique dans les domaines de refroidissement et climatisation;
- Etude des besoins exprimés par les entreprises concernant le refroidissement et la climatisation et élaboration des recommandations permettant de répondre à ces besoins;
- Elaboration des climatiseurs adaptés aux conditions locales et acceptables pour la fabrication au niveau des PME du Mali.

c) Pour la troisième partie du projet

- Etudes des paramètres climatiques et des caractéristiques du rayonnement solaire au Mali;
- Recherche et calculs visant à élaborer les recommandations pour le développement de la technologie de production du froid et de climatisation au Centre régional d'énergie solaire (CRES), compte tenu des conditions climatiques, énergétiques et économiques locales.

3. RESULTATS DU PROJET

Pour la première partie du projet

- a) Les équipements frigorifiques commandés préalablement sont arrivés à l'ECICA, Bamako, mi-février 1990.
- b) Au cours du classement et de la vérification des équipements reçus, on a constaté l'absence du climatiseur central et du transformateur électrique. Outre cela la quantité de l'équipement arrivé était réduite par rapport à la quantité commandée.

Dans ces circonstances on a décidé de réduire le nombre des postes des installations en cabine jusqu'à quatre (au lieu de 12 postes prévus).

La liste des équipements reçus est représentée en annexe 1.

- c) L'étude des caractéristiques des équipements a démontré que la majorité correspondait aux caractéristiques demandées. Cependant il manquait les caractéristiques pour les compresseurs, condenseurs et évaporateurs.

Le manque de quelques équipements et de certaines caractéristiques ont provoqué des obstacles pour l'aménagement d'atelier froid.

Afin de préciser les caractéristiques des équipements, il a été demandé à l'ONUDI de s'adresser aux fournisseurs. A la fin de juin l'ONUDI a pu livrer les caractéristiques demandées.

- d) Selon les caractéristiques réelles des équipements on a réalisé les calculs afin de déterminer la puissance frigorifique et les autres propriétés de la chambre froide, qui sont nécessaires pour le montage correct et aussi pour la réalisation des essais et mesures prévus par le programme d'enseignement.

Les calculs susdits sont représentés en annexe 2.

- e) Au début mars on a terminé le montage des deux chambres froides, constituées de deux pièces de dimensions 2,4 m x 2,5 m x 3,2 m. L'une des pièces est prévue pour la température négative, égale à -15°C (chambre de congélation) et l'autre - pour la température positive.

La chambre froide est disposée dans une salle d'atelier où les élèves doivent exécuter les essais et mesures.

La salle des machines (compresseurs et les accessoires) est séparée de la classe pour éviter du bruit et des dégagements nocifs.

Comme salle des machines est prévu un local adjacent à la classe, qui était occupé par l'infirmerie du Lycée technique jusqu'au milieu de juin. A présent on fait les travaux de rénovation de ce local, après lesquels on pourra commencer le montage des machines qu'on reliera à la chambre froide. On suppose que les travaux de rénovation de la salle des machines seront terminés le 10 août.

Compte tenu des obstacles susmentionnés au début d'avril on a pris la décision de commencer le montage des installations en cabine.

Dans ce but on a réalisé le schéma axonométrique d'installation, assemblé sur la base d'un support métallique. Le schéma noté est représenté en annexe 3.

Pour construire l'installation en cabine d'après le schéma on avait besoin des matériels comme barres métalliques, moyens de soudage et de brasage acétylène, oxygène, baguets argent, etc. Pour l'achat des matériels susdits on a préparé un devis de 250 000 FCFA.

Suite aux discussions tenues au niveau du PNUD et du Ministère d'éducation nationale (M. Doucouré), il a été décidé d'approcher la Mission française. Une facture a été présentée à M. Jonché (Mission française). Cependant, jusqu'à présent on n'a pas trouvé une solution pour le problème.

L'ECICA a payé 15 000 FCFA pour l'achat des barres métalliques et la construction de support pour un seul support. A présent le support est construit. Sur ce support on a déjà assemblé le compresseur, le moteur électrique, le condenseur, l'évaporateur et le schéma électrique d'un poste d'installation en cabine.

Mais l'installation n'est pas achevée à cause de manque des moyens de brasage, d'acétylène, d'oxygène, etc.

- f) Pour le fonctionnement des installations frigorifiques de l'atelier froid on a besoin d'énergie électrique sous la tension 380 V. L'alimentation en énergie à l'ECICA est réalisée à la tension de 15 000 V.

A cet égard une nécessité d'installation d'un transformateur 15 000/380 V et 50 kW s'est présentée.

L'ONUDI a proposé de résoudre le problème sur place à Bamako. Suite aux communications avec plusieurs sociétés électriques à Bamako, on a choisi deux entreprises aptes à poser le transformateur avec tous les accessoires. Les devis présentés par les sociétés (annexe 4) sont représentés à l'attention de l'ONUDI au milieu de mars 1990.

D'après la proposition de l'ONUDI on a établi un contrat avec la société "GARON" pour l'exécution des travaux d'installation du transformateur. A présent le câble est déjà posé. Selon le plan de la société "GARON" les travaux d'installation du transformateur seront terminés le 15 août. Le problème de financement pour le transformateur est résolu par l'ONUDI et la Coopération française.

- g) Selon le programme d'enseignement les élèves frigoristes doivent acquérir l'expérience de détermination des caractéristiques de l'efficacité de fonctionnement des installations frigorifiques en exécutant les épreuves nécessaires. Afin d'organiser ces épreuves sur une base régulière et aussi pour la réalisation correcte du montage des équipements et des appareils de mesures, on a élaboré un manuel des descriptions des travaux pratiques et des ordres de leurs exécutions. Les travaux pratiques sont représentés en annexe 5. Ce manuel peut être utilisé aussi par les professeurs de l'ECICA.

Pour la deuxième partie du projet

- a) Afin d'étudier la situation technologique et technique dans les domaines de refroidissement industriel et de climatisation, on a effectué plusieurs visites aux entreprises principales à Bamako.

L'examen des installations à laboratoire frigorifique, l'hôtel de l'Amitié, l'entreprise "BRAMALI", au Centre régional de l'énergie solaire (CRES) et autres ont démontré qu'il existe quelques fautes dans les schémas technologiques des installations, qui diminuent l'efficacité de fonctionnement des équipements. On a effectué les explications nécessaires pour annuler les défauts.

- b) La majorité des besoins exprimés par les entreprises concerne la diminution de consommation d'énergie électrique par les installations frigorifiques.

Les calculs démontraient que cet inconvénient est le résultat de refroidissement des condenseurs des machines frigorifiques par l'air, qui est excessivement chaud.

La recommandation principale permettant de réduire la consommation d'énergie électrique est la suivante :

- Développer les schémas technologiques des installations en ajoutant sur les condenseurs à air les humidificateurs adiabatiques, qui refroidissent l'air, refoulé à travers des condenseurs.

Le schéma principal de ce système est présenté aux entreprises pour le but de sa réalisation.

Dans le cadre du développement de la technologie de refroidissement adaptée aux conditions locales, un schéma d'installation frigorifique est proposé pour être réalisé au niveau d'atelier froid de l'ECICA. L'utilisation de cette installation dans les entreprises permettra d'économiser l'énergie électrique jusqu'à 40 %.

Les principes de fonctionnement et de construction de cette installation frigorifique doivent être intégrés dans le programme d'enseignement de IVème année des frigoristes et également proposés aux entreprises.

Dans le cadre d'élaboration des recommandations pour la climatisation efficace adaptée aux conditions locales, nous avons réalisé les recherches, représentées ci-dessous :

Recommandations pour la climatisation efficace des habitats dans les conditions climatiques et économiques du Mali

Les observations démontrent que le nombre d'habitats munis de climatiseurs est relativement faible.

Bien que les conditions climatiques justifient pleinement l'utilisation des installations de climatisation dans les habitats et qu'un grand nombre de personnes soient très désireuses de profiter du confort qu'elles pourraient procurer, les réalisations sont peu nombreuses. Cela tient au fait que les problèmes techniques et économiques sont difficiles à résoudre simplement. Les solutions appliquées sont les climatiseurs basés sur les machines frigorifiques individuelles qui sont coûteuses et consomment une quantité importante d'énergie.

Les calculs démontrent que l'utilisation des climatiseurs assez large dans les habitats du Mali demandera d'établir les stations électriques de puissance totale à peu près de 2 000 000 kW par heure.

La construction et l'exploitation des stations notées demanderont l'investissement d'à peu près 600 millions de dollars U.S., et la consommation d'au moins 4,5 millions de tonnes de combustible. De ce fait, il nous paraît bien important une régulation du problème de la part du gouvernement.

Les problèmes posés sont de deux sortes :

Les premiers sont inhérents au climat et à l'architecture des habitats; les seconds aux conditions techniques et technologiques du point de vue de l'utilisation des climatiseurs consommant moins d'énergie et coûtant considérablement moins cher.

Les deux solutions architecturales et techniques dépendent des conditions climatiques.

On peut distinguer deux types principaux de climat entre lesquels s'étend toute la gamme de ceux rencontrés au Mali.

Au premier type correspond une grande amplitude des variations de la température au cours d'une journée et un faible taux de l'humidité relatif. Ce sera les zones désertiques qui font les deux tiers du territoire du pays. Ce type de climat est caractérisé comme suit : la température croît très vite lorsque le soleil s'élève sur l'horizon et où les nuits peuvent être bien froides à cause de la limpidité du ciel, favorisant un intense rayonnement nocturne.

Les mesures climatologiques réalisées systématiquement à Bamako en utilisant un psychromètre d'Assmane, démontrent que cette région peut être aussi caractérisée par un climat susmentionné toute l'année sauf pendant la période des pluies.

Comme exemple, à la figure 1a. et 1b. sont représentées les variations de température sèche, de température humide et d'humidité relative d'air extérieur à Bamako pendant les jours des 11 et 13 avril 1990.

Sous un tel climat, l'air est brûlant le jour et frais la nuit. L'essentiel qu'il faut noter c'est que l'air est bien sec, l'humidité relative et la température humide sont bien basses, mais le rayonnement solaire est très intense.

Du point de vue d'architecture il y aura donc intérêt à protéger au maximum les habitats contre le rayonnement solaire et à les enterrer partiellement pour profiter du volant de froid que constitue le sol. Dans le même but les murs et les toits des édifices seront bien isolés thermiquement et les ouvertures disposées de manière à pouvoir établir une circulation intense de l'air pendant la nuit, alors qu'il est frais. Le jour, les ouvertures seront obstruées pour ne laisser passer que le minimum d'air et de soleil nécessaires à la vie et à l'éclairage. Pour ce but, la surface totale des baies vitrées ne doit pas dépasser 15 % de la surface du plancher d'habitat.

Les observations des constructions de plusieurs maisons et villas à Bamako démontrent qu'elles n'ont pas les caractéristiques thermophysiques assurant les conditions climatiques normales pour le corps humain.

Les murs extérieurs et les toits des habitats ne sont pas bien isolés thermiquement et les baies vitrées sont bien larges. Par conséquent la température superficielle intérieure des parois est excessivement élevée et dépasse même 40°C, tandis qu'elle ne doit pas dépasser 30°C pour assurer un bon confort pour les habitants.

L'examen des constructions des murs et des toits affirme que leur coefficient de transmission de chaleur en moyenne est égal à $K_m = 1,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Une telle grande valeur du K_m provoque aussi un grand apport de chaleur dans les habitats, demandant une puissance frigorifique importante des climatiseurs.

Toutefois il sera en général nécessaire de prévoir une isolation thermique des surfaces intérieures des parois pour arriver à abaisser leur température superficielle jusqu'à 30°C sans dépasser une quantité excessive de frigories et pour diminuer la charge thermique sur les climatiseurs.

Les calculs réalisés pour les conditions climatiques de Bamako ont révélé que pour assurer les paramètres susdits les constructions des murs et des toits des logements ne doivent pas dépasser 0,5 - 0,6 $\text{W/m}^2\text{°C}$ (au lieu de 1,5 $\text{W/m}^2\text{°C}$ existant). Respectivement on a déterminé que sur les parois pratiquées pour les habitats, il faut ajouter une couche d'isolation à coefficient d'inductivité thermique égal à 0,04 $\text{W/m}^2\text{°C}$ et à épaisseur de 6 cm.

Une telle construction augmente l'investissement sur les habitats à peu près de 10 à 15 %, mais elle se prête assez bien à la climatisation. En même temps cela réduit toutes les dépenses économiques et énergétiques de la part du gouvernement pour la production d'énergie.

De ce point de vue il est conseillé d'établir des institutions gouvernementales dont les buts doivent être la vérification des projets des habitats afin d'utiliser obligatoirement l'isolation thermique dans les constructions de tous les locaux.

Les analyses visées à diminuer les charges thermiques sur les climatiseurs et abaisser les températures superficielles des parois dans les habitats ont révélé l'utilité de protection des toits des habitats contre le rayonnement solaire par les réchauffeurs d'eau qui utilisent l'énergie solaire. Par la construction, le réchauffeur se présente comme un serpentín de tube soudé sur

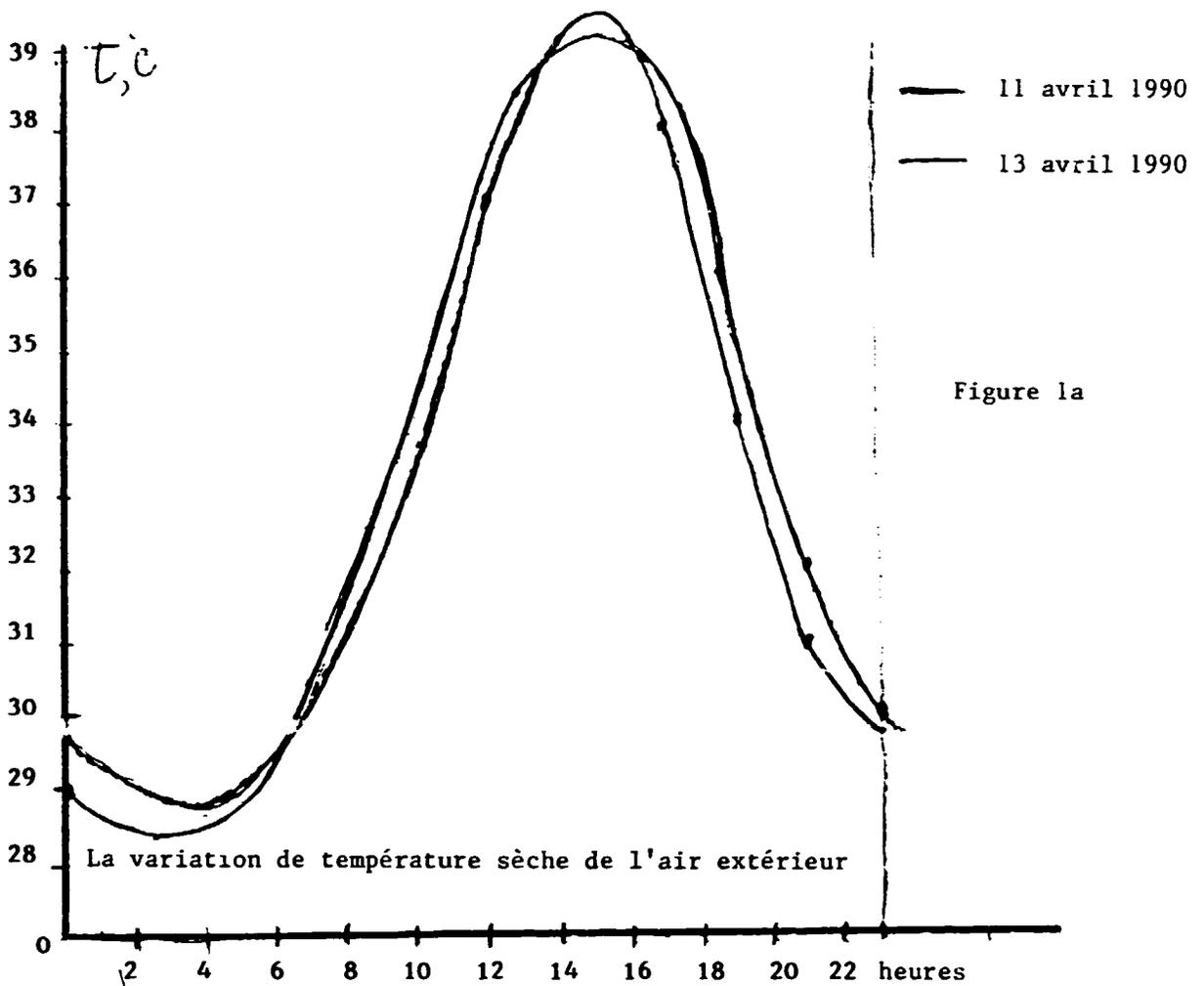


Figure 1a

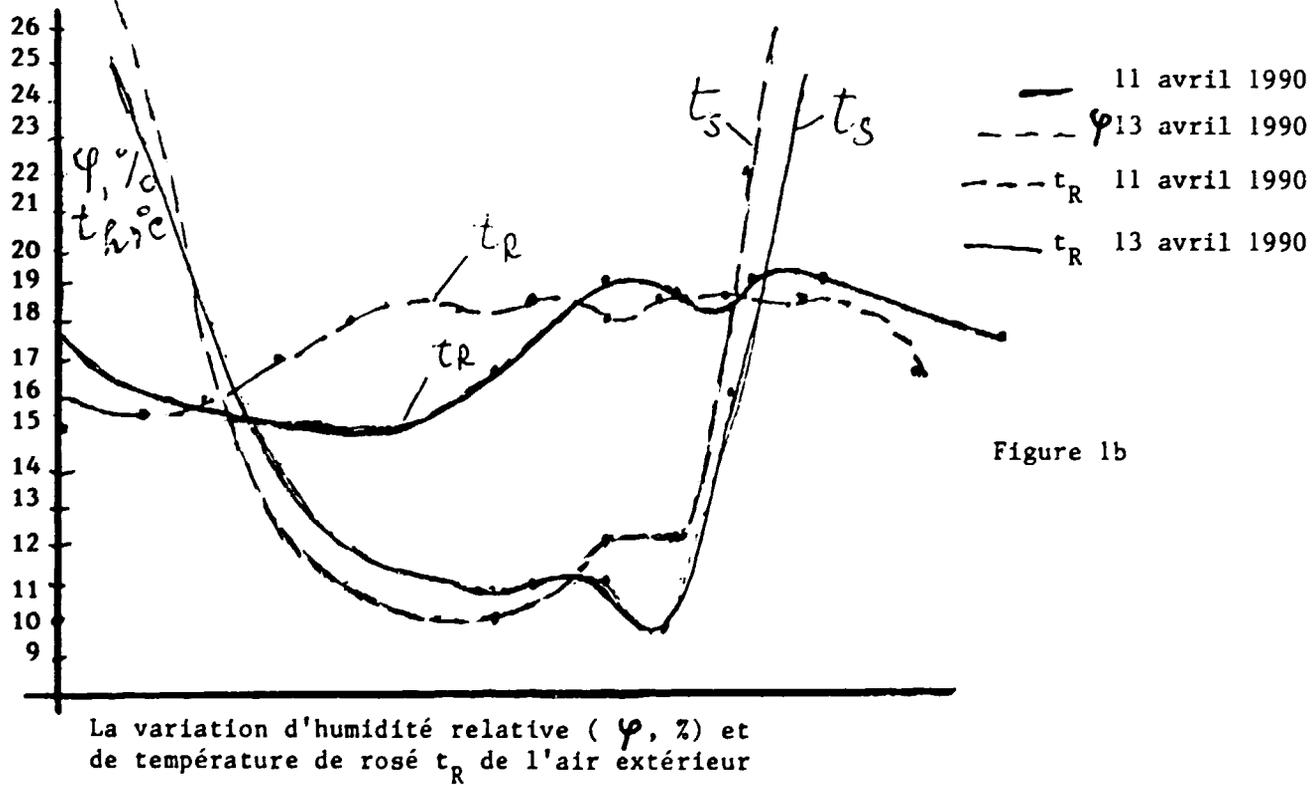


Figure 1b

La variation d'humidité relative (φ , %) et de température de rosé t_R de l'air extérieur

Figure 1

la surface de tôle en fer coloré noir. Le réchauffeur, appelé récepteur d'énergie solaire, est placé au-dessus du toit. L'écart entre la surface du toit et du récepteur doit être de 60-70 cm. Le récepteur élimine d'abord le rayonnement solaire sur la surface du toit et en même temps il chauffe de l'eau circulante par les tubes. L'eau chaude est accumulée et utilisée pour l'alimentation d'habitats. Donc le rôle du récepteur dans ce cas est double : 1) Diminuer l'apport de chaleur par rayonnement solaire; 2) Alimentation d'habitat en eau chaude en utilisant l'énergie solaire.

Le schéma de disposition de récepteur est présenté sur la figure 2.

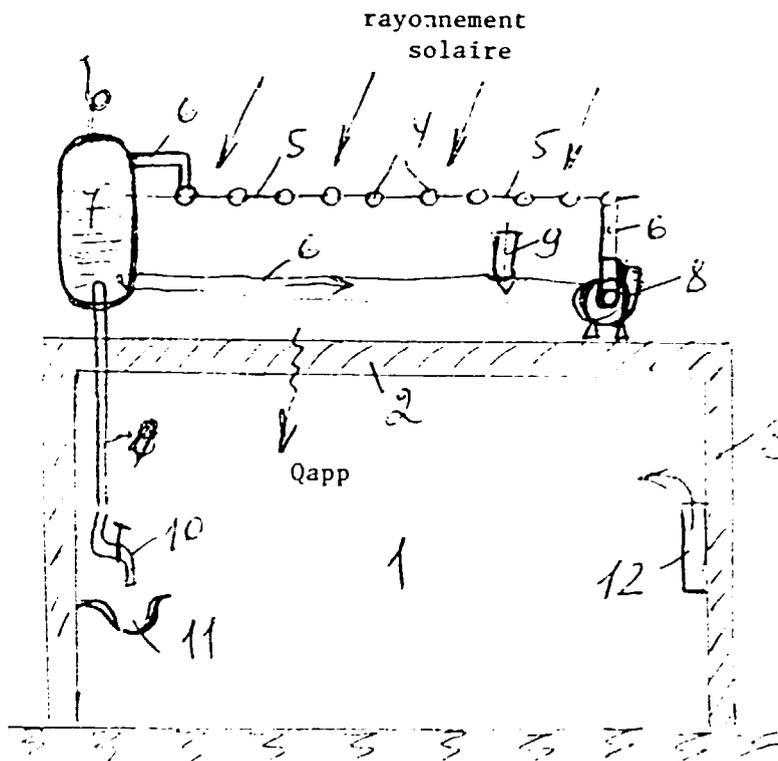


Figure 2 : Schéma de disposition du récepteur au-dessus du toit

- 1 - Habitat; 2 - Construction de toit; 3 - Construction de mur;
- 4 - Serpentin de tube; 5 - Tôle en fer; 6 - Conduite de circulation d'eau réchauffée;
- 7 - Réservoir-accumulateur d'eau chaude;
- 8 - Pompe de circulation d'eau; 9 - Conduite de remplissage du système par eau fraîche; 10 - Robinet d'eau chaude; 11 - Lavabo;
- 12 - Climatiseur

L'utilisation d'installation d'après le schéma ci-dessus permet :

1) de supprimer la nécessité d'utilisation des réchauffeurs à résistances électriques individuelles dans chaque local; 2) d'économiser une énergie électrique consommée par les réchauffeurs électriques de quantité égale à 40 kW par jour, par chaque habitat de surface 120 m²; 3) de diminuer l'apport de chaleur dans les habitats que permet de réduire la consommation d'énergie par les climatiseurs d'une valeur égale à 10 - 12 kW par jour, par habitat de surface 120 m²; 4) de baisser la température superficielle intérieure du plafond et des parois jusqu'à une valeur estimée comme conforme pour le corps humain.

Donc l'efficacité et l'utilité du schéma examiné sont évidentes et son utilisation donne une possibilité de réduire la consommation d'énergie de 50 kW par jour par chaque habitat.

Vu que la charge thermique dans les habitats est importante, les climatiseurs doivent de leur côté répondre aux exigences spéciales propres aux conditions climatiques et énergétiques du pays.

Au Mali en général les habitats sont munis de climatiseurs dont les constructions sont basées sur les unités des machines frigorifiques. Ce type de climatiseur est caractérisé par la consommation d'une grande quantité d'énergie.

Compte tenu des conditions climatiques assez sèches nous signalerons une solution de climatisation des habitats basée sur l'humidification adiabatique d'air sec. A l'aide de ce processus de traitement d'air quand l'air et l'eau se trouvent en contact direct, l'air est humidifié jusqu'à l'humidité relative égale à 90 % et refroidi jusqu'à la température humide. L'examen de variation de température humide d'air extérieur à Bamako pendant la période sèche (voir la figure 16) affirme qu'à l'aide de climatiseur réalisant cette humidification on peut refroidir l'air jusqu'à 16 - 20°C, températures acceptables pour un habitat confortable (température 27 - 29°C, humidité 40 - 65 % dans les habitats au Mali).

Le schéma principal du climatiseur en question est représenté sur la figure 3.

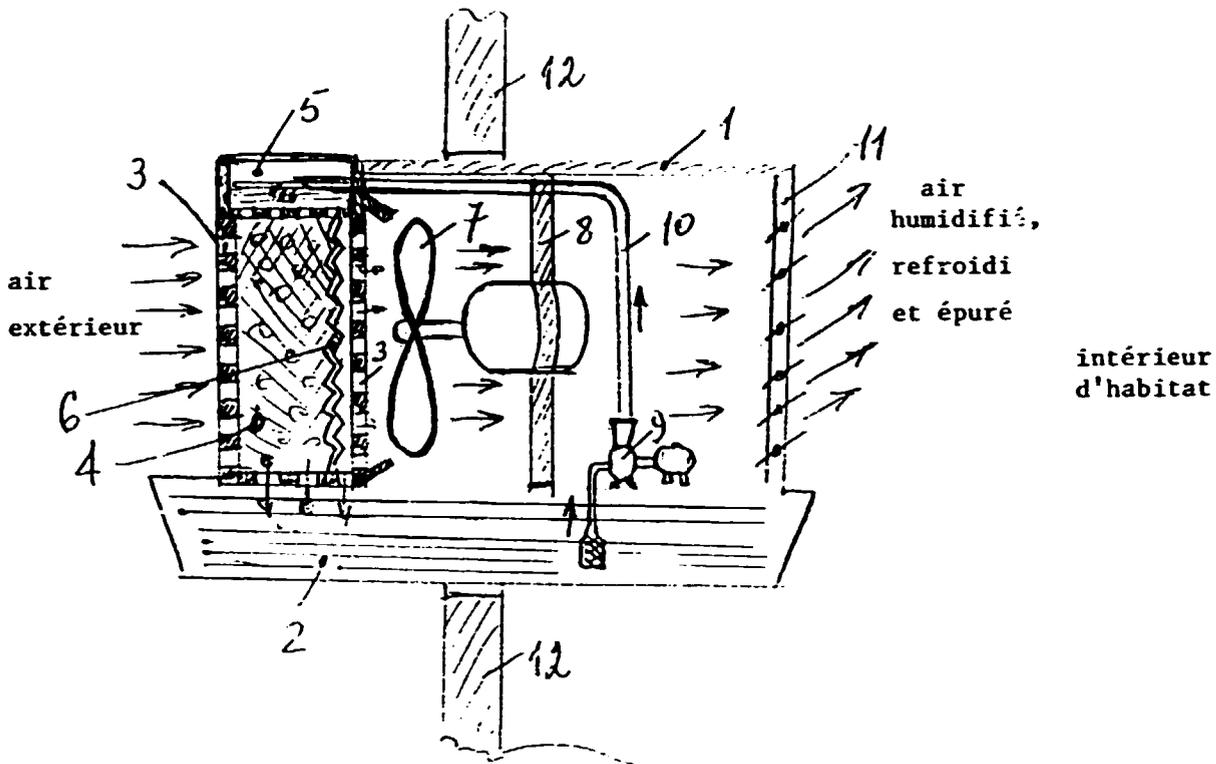


Figure 3 : Schéma principal de climatiseur-humidificateur

1 - Carcasse; 2 - Cuvette d'eau; 3 - Cassette perforée; 4 - Matière hygroscopique dans la cassette; 5 - Cuvette de distribution d'eau; 6 - Séparateur des gouttes d'eau; 7 - Ventilateur avec le moteur; 8 - Support du ventilateur; 9 - Pompe à eau avec le moteur; 10 - Conduite d'eau; 11 - Grille réglable; 12 - Mur ou fenêtre d'habitat dans lequel est installé le climatiseur.

Le climatiseur selon le schéma fonctionne comme suit : le ventilateur (7) aspire l'air extérieur à travers une couche de matière hygroscopique (4) se trouvant dans la cassette perforée (3). La matière est constamment agitée par l'eau montée de la cuvette (2) à l'aide de la pompe (9) et versée dans la cuvette de distribution d'eau (5). Le fond de la cassette (5) est perforé assurant la distribution d'eau par tout le volume de matière hygroscopique. L'eau descend à travers la couche (4) dans la cuvette (2) en contactant l'air extérieur aspiré par le ventilateur (7). Au cours du contact une certaine quantité de l'eau est évaporée et assimilée par le courant d'air. Par suite

l'eau et l'air sont refroidis jusqu'à la température humide d'air extérieur dont la valeur dépend de l'état d'air. Les taux de refroidissement et d'humidification sont conditionnés par l'efficacité d'échange de chaleur et de masse entre l'air et l'eau dans la cassette perforée. Ce processus de traitement d'air s'appelle l'humidification adiabatique.

Pour calculer les caractéristiques de climatiseur examiné il faut étudier le processus d'humidification d'air à l'aide du diagramme psychrométrique d'air présenté sur la figure 4.

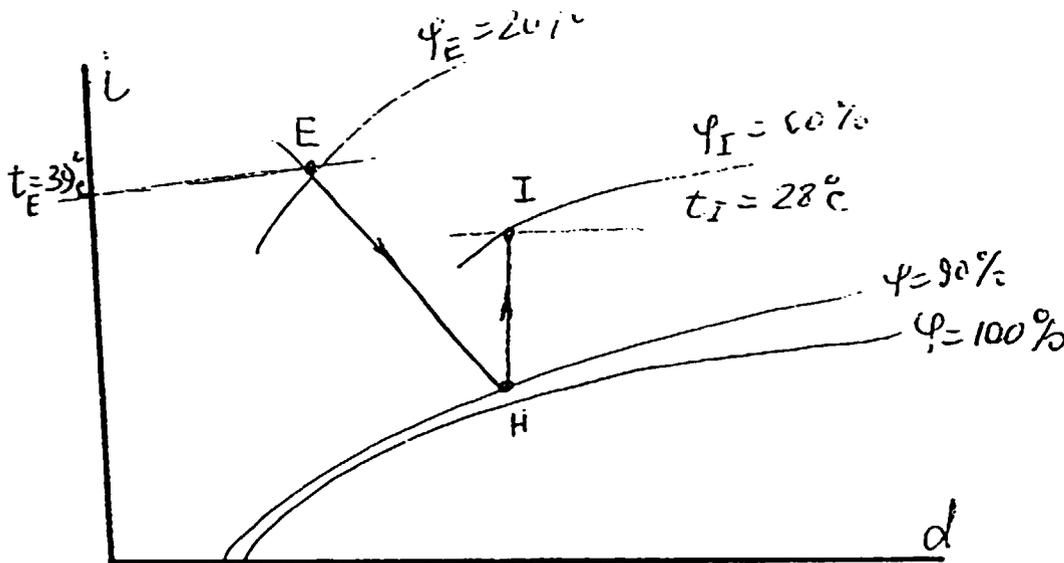


Figure 4 : Processus d'humidification adiabatique dans le diagramme psychrométrique d'air

E - l'état d'air extérieur caractérisé par les paramètres pour Bamako
 $t_E = 39^\circ\text{C}$; $\varphi_E = 20\%$;

t_E et φ_E - température et humidité d'air extérieur;

EH - processus d'humidification adiabatique d'air extérieur dans la cassette de matière hygroscopique;

H - l'état d'air traité, caractérisé par les paramètres $t_H = 17 - 21^\circ\text{C}$ (en fonction d'état d'air extérieur) et $\varphi_H = 90\%$;

I - l'état d'air intérieur dans l'habitat, $t_I = 28^\circ\text{C}$; $\varphi_I = 40 - 60\%$;

HI - processus d'assimilation d'excès de chaleur dans le local par l'air refoulé intérieur.

Pour la vérification de la possibilité de réalisation de climatisation à l'aide du processus susdit, on a construit un climatiseur d'après le schéma représenté sur la figure 3. Comme matière hygroscopique sont utilisés bran de scie, morceaux plastiques, éponge végétale cultivée beaucoup au Mali et autres. L'épaisseur de matière hygroscopique est égale à 15 cm. Les dimensions de la cassette perforée sont : largeur - 35 cm; hauteur - 35 cm et épaisseur - 17 cm. Le ventilateur est du type centrifuge que développe le débit égal à 500 m³/heure. Ce climatiseur est rendu à l'ECICA pour favoriser le transfert de cette technologie entre les PME.

Le climatiseur a été testé du 15 mars au 30 juin. Les mesures et essais réalisés pendant cette période ont prouvé que le climatiseur fonctionne en correspondance avec les résultats du calcul. A la sortie du climatiseur l'air possède les températures 16 - 22°C (dépendant de l'humidité de l'air extérieur) qui sont acceptables pour établir les paramètres comforts dans les locaux.

Pour une conclusion finale au sujet de l'utilisation rationnelle du climatiseur proposé, il faut le tester aussi pendant la saison des pluies.

Une chose est claire, dans les zones désertiques du pays le climatiseur en question fonctionnera efficacement. Il possède un nombre d'avantages, donnant la préférence à l'utiliser largement dans les conditions climatiques du Mali, surtout dans les régions désertiques :

- 1) La puissance électrique demandée est réduite jusqu'à 10 fois par rapport aux climatiseurs utilisés à présent au Mali. La consommation d'énergie par jour est égale à 4 - 5 kW pour l'habitat de surface de 120 m²;
- 2) La construction est très simple et sa fabrication ne demande pas beaucoup d'investissement;
- 3) Le climatiseur traite toujours l'air extérieur qui assure une composition de l'air intérieur dans le local frais et riche par l'oxygène;
- 4) L'humidité d'air du local est réglée et gardée au niveau normal pour le corps humain;
- 5) L'entretien et le dépannage du climatiseur sont simples et ne coûtent pas cher;
- 6) L'air traité et refoulé dans le local est bien épuré de poussière à cause du contact avec l'eau;

- 7) L'absence de recyclage d'air intérieur permet de créer une petite surpression dans le local qu'élimine la pénétration de poussière et de chaleur à travers les fentes des fenêtres et des portes dans le local.

Nous sommes sûrs que l'utilisation des climatiseurs proposés avec les récepteurs d'énergie solaire (figure 2) permettra d'économiser une grande quantité d'énergie électrique, égale à 85 kW (au lieu de 90 kW peut-être consommée 5 kW) par jour, par chaque habitat.

Recommandation

Il est conseillé d'établir une PME pour la fabrication en série des climatiseurs humidificateurs au Mali, après les avoir construits et testés largement dans les différentes zones climatiques pendant les différentes saisons de l'année.

L'étude du marché et les discussions avec les entrepreneurs potentiels démontrent la possibilité d'établissement des PME de production du climatiseur en question.

Pour la troisième partie du projet

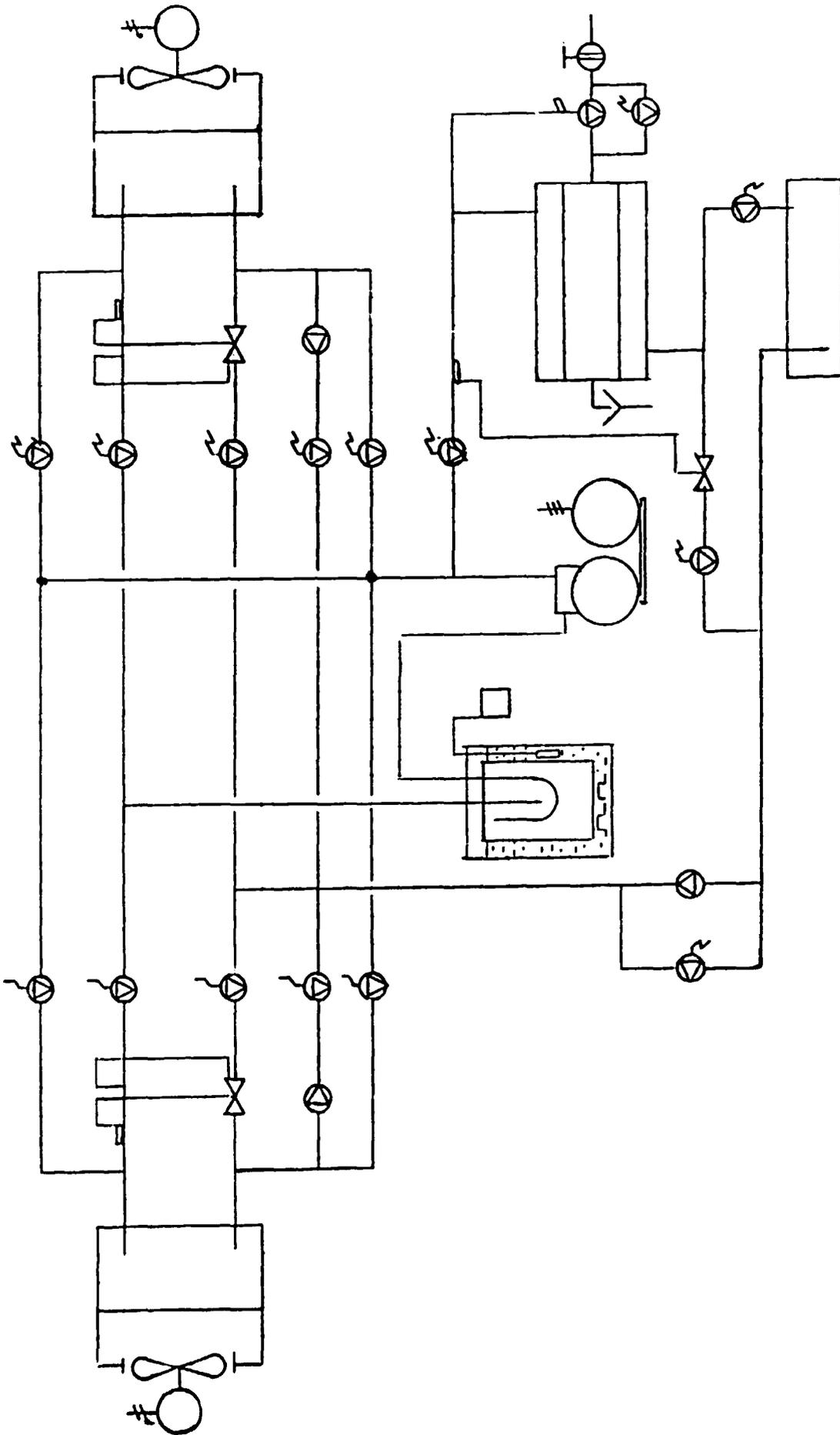
- a) Les études des paramètres climatiques et des caractéristiques du rayonnement solaire à Bamako, réalisées au Centre régional de l'énergie solaire (CRES) et à l'ECICA à l'aide de psychromètre d'Assmane ont démontré qu'il est possible de réaliser la production de froid en utilisant l'énergie solaire. L'efficacité de cette transformation d'énergie dépend de la technologie et du type d'équipement.
- b) Sur la base des recherches théoriques et des calculs, on a révélé que le meilleur mode de production de froid sur la base d'énergie solaire est l'utilisation des machines frigorifiques à absorbtions combinées avec les capteurs solaires de grande efficacité aptes à préparer l'eau chaude à la température supérieure à 90°C.

Les schémas principaux des installations de refroidissement sur la base de technologie susmentionnée sont examinés au niveau du CRES avec le Directeur général M. DAN-DICO et le Chef de département M. R. FORO.

Suite aux discussions on a fait une conclusion que, avec l'aide de l'ONUDI, on peut organiser les recherches pour le développement de cette technologie et ensuite la fabrication des équipements nécessaires afin de réaliser les machines frigorifiques à absorbtion sur la base scientifique et technique du CRES.

B - CHAMBRES FROIDES

ANNEXE 1



SCHEMA DE L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE

DES DEUX CHAMBRES FROIDES.

EQUIPEMENT DES ATELIERS FROID ET CLIMATISATION

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		APPAREILLAGE FRIGORIFIQUE ET ELECTRIQUE POUR LES DEUX CHAMBRES FROIDES					
1	Compresseur ouvert	au R22 3200 W à $t_e = 5^{\circ}\text{C}$ entraînement par courroie 156	COMEF	2 CK 38	3		
2	Condenseur à eau	type multitubulaire Q_c à 10000 W à $t_e = 40^{\circ}\text{C}$	COMEF	E135, CERN	1		
3	Moteur asynchrone 3	à cage 1,5 Kw (groupe COMEF 2CK 38) 380 V	COMEF		3		
4	Séparateur d'huile	avec retour automatique de l'huile au carter 5/8" flare	DANFOSS 0034	40B0040+2 40B0256	1		
5	Déshydrateur	à cartouche solide remplaçable à bisser 5/8"	DANFOSS DCRO485	2301000	1		
6	Détendeur thermostatique	à égalisation externe $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ flare	DANFOSS TEX208	68-6048	2		
7	Détendeur thermostatique	à égalisation externe, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ flare + cartouche n. 4	DANFOSS TEX215	68-6049 68-2007	2		
8	Robinet à eau pressostatique		DANFOSS WYFX15	3J2100+60-0071	1		
9	Voyant liquide	à indicateur d'humidité 3/8 x 3/8 flare	DANFOSS 66110	14-0016	2		
10	Robinet solénoïde	entrée détendeur $\frac{1}{2}$ " flare	DANFOSS EVR3	032F2032	2		
11	Robinet solénoïde	sortie évaporateur $\frac{1}{2}$ " flare	DANFOSS EVR10	032F2102	2		
12	Robinet solénoïde	entrée bouteille liquide de type HO 3/8" flare	DANFOSS EVR6	032F2062	1		
13	Robinet solénoïde	entrée détendeur, entrée condenseur 3/8" flare	DANFOSS EVR6	032F2062	1		
14	Robinet solénoïde	entrée condenseur, 3/8" flare	DANFOSS EVR6	032F2062	1		
15	Robinet solénoïde	sortie compresseur sur évaporateur $\frac{1}{2}$ " flare	DANFOSS EVR3	032F2032	2		
16	Robinet solénoïde	sortie compresseur sur évaporateur $\frac{1}{2}$ " flare	DANFOSS EVR3	032F2032	2		
17	Robinet solénoïde	sortie évaporateur (liquide) $\frac{1}{2}$ " flare	DANFOSS EVR3	032F2032	2		
18	Robinet solénoïde	bypass sur clapet 3/8" flare	DANFOSS EVR6	032F2062	1		
19	Clapet	$\frac{1}{2}$ "	DANFOSS NRV12	20-1003	1		
20	Clapet	3/8"	DANFOSS NRV10	20-1002	2		
21	Robinet solénoïde	entrée compresseur	DANFOSS EUR10	032 F2102	3		
22	Robinet solénoïde	entrée sortie compresseur	DANFOSS EUR3	032 F2032	3		
23	Echangeur de chaleur		DANFOSS HE1.0	15.00004	2		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
24	Sectionneur général	tripolaire - porte-fusible	TELEMECANIQUE	LSI D2531	1		
25	Sectionneur individuel	tripolaire - porte-fusible	TELEMECANIQUE	LIS D2531	3		
26	Contacteur tripolaire	pour commande moteur 1,5 Kw - bobine 24V	TELEMECANIQUE	LC10095BA60	3		
27	Contacteur auxiliaire	F + 0	TELEMECANIQUE	GVI A01	3		
28	Déclencheur à minimum de tension	380 V	TELEMECANIQUE	GVI D38	3		
29	Blocs additifs	instantané 2F + 20	TELEMECANIQUE	LAI D22	6		
30	Blocs additifs	temporisé travail	TELEMECANIQUE	LAZ D22	6		
31	Blocs additifs	temporisé repos	TELEMECANIQUE	LA3 D22	6		
32	Coffret	1 m x 0,8 m	TELEMECANIQUE	DEI-GQ74			
33	Platines juxtaposables	sur montants	TELEMECANIQUE	AMI-PA3050	1		
34	Relais de protection	disjoncteurs-moteur magnéto thermique 380V (1,5Kw)	GVI-MOB TELEMECANIQUE		3		
35	Disjoncteur magnéto-thermique	unipolaire + neutre 380 V - 10A	LEGRAND	261204	1		
36	Transformateur nu	de sécurité classe I monophasé 50 Hz primaire 220/380V, secondaire 24/48V, 100 VA	LEGRAND	42731	1		
37	Evaporateur à air (avec résistance d'égouttoir)	type plafonnier à convection forcée $Q_e = 3500 \text{ W}$ à -5°C pour fluide Q22 avec bac pour eau de dégivrage			2		
38	Vanne à main à opercule				1		
39	Robinet solénoïde	sur conduite d'eau			1		
40	Distributeur de liquide	en fonction du nombre de sections de l'évaporateur			2		
41	Accumulateur pour la réévaporation (réévaporateur à bain marie)	jouant le rôle de piège à liquide résistance électrique $P = 4\text{Kw}$					
42	Contacteur auxiliaire	"2F + 20"		CH2DH1229BA60	6		
43	Thermostat de régulation	- 40 + 10 à contacts 0 + F			2		
44	Pressostat de régulation	Plage 1 à 8 bars			3		
45	Thermostat de régulation	du réévaporateur à bain marie "F" à la baisse de température Température bain = 30°C			1		
46	Thermostat de fin de dégivrage	à contact "0 + F" - ouvre à l'augmentation de température - plage $-25 + 10^\circ\text{C}$			2		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
47	Interrupteur	dégivrage			2		
48	Combiné haute pression	basse pression de sécurité contact O+F à réarmement manuel			1		
49	Pressostat différentiel	d'huile à réarmement manuel			1		
50	...touche pour déshydrateur	DCR 0485			10		
51	Panneau sandwich	Mousse de polyuréthane avec revêtement de tôle galvanisée de part et d'autre, épaisseur 90 mm pour murs et plafonds			75m ²		
52	Panneau de polystyrène	épaisseur 80 mm pour le sol			20m ²		
53	Accessoires	de support de panneau					
54	Cornières d'angle				16		
55	Joint silicone				10		
56	Feuille de plastique				1 rouleau		

E - OUTILLAGE ET APPAREILS DE MESURE

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
1	Ciseaux	d'électricien			1		
2	Lime	contact			1		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		OUTILLAGE INDIVIDUAL					
1	Etaux				8		
2	Poste oxyacétylénique	Complet comprenant : - 1 régulateur - détenteur - tuyau + raccords - chalumeau - un assortiment de bec - une paire de lunette pour brasage - une paire de gant de protection			4		
3	une dagueannière	de 3 16" à 5 8 de pouce	Impérial		4		
4	un coupe - tube	de 1 8" à 1 1 8"	Impérial		4		
5	Scie à métaux	- avec molettes de rechange			10		
		- avec lame 7 dents cm			4		
		- avec lame 10 dents cm			10		
		- avec lame 13 dents cm			10		
6	Scie miniature	pour découper en espace restreint			4		
7	Cisailles droites				4		
8	Burins	en acier trempé 6 mm de large " " " 12 mm de large " " " 20 mm de large			4 4 4		
9	Poinçon	en acier trempé de 100 mm de longueur manchon plastique			4		
10	Pointe à tracer	Longueur 160 mm; ϕ 3 mm			4		
11	Pointeaux	ϕ 0,25 cm ϕ 4 mm ϕ 6 mm ϕ 8 mm			4 4 4 4		
12	Chasse goupille				4		
13	Compas				4		
14	Pinceau	pure soie			4		
15	Boudins à cintrer	1 4" 3 8" 1 2" 5 8" 3 4" 7 8"			4 4 4 4 4 4		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
16	Clefs plates	métrique 6x8 8x10 10x13 13x15 14x16 17x19 18x20 21x23 22x24 25x28			4 4 4 4 4 4 4 4 4 4		
17	Clefs à douille	métrique - même jeu que ci-dessus avec téton carré $\frac{1}{2}$ "			4		
18	Clef à molette	capacité 15 mm capacité 25 mm			4 4		
19	Clefs à cliquet	double sens par vanne de service - métrique carré 6 et 8 mm - pouce carré $1\frac{1}{4}$ " et $1\frac{1}{2}$ "			4 4		
20	Tournevis	- lame plate à manche et à lame isolés petit moyen grand - lame cruciforme petit moyen grand			4 4 4 4 4 4 4		
21	Pince oupante	diagonale - poignée isolée			4		
22	Pince à bec plat	diagonale - poignée isolée			4		
23	Pince à bec rond	" " "			4		
24	Pince à dénuder	" " "			4		
25	Pince à obturer	à retreindre les tuyaux			4		
26	Pince multiprise	standard isolée longueur 24 cm			4		
27	Marteaux	Panne de 500 g garnie de matériau plastique			4		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
28	Limes	à double denture - fine plate 15 cm - fine ronde 15 cm - moyenne plate 20 cm - moyenne ronde 20 cm - moyenne demi-ronde 20 cm			4 4 4 4 4		
29	Grattoirs	- triangulaire longueur 20 cm - feuille de sauge longueur 20 cm			4 4		
30	Brosse métallique	longueur 20 cm			4		
31	Couteau	d'électricien			4		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		OUTILLAGE COLLECTIF					
1	Cisaille	courbe			2		
2	Perceuse électrique	portative capacité 13 mm avec possibilité de change: 4 sens de rotation			1		
3	Pince à rivets	pop			1		
4	Pince étaux				1		
5	Pince à circlips				1		
6	Pince à cosse	à sertir			1		
7	Burette d'huile	avec presseur incorporé et injecteur flexible			1		
8	Foret à métaux	jeux complets de 2 mm à 13 mm			1		
9	Foret à béton	même dimension			1		
10	Extracteur de boulons	tailles diverses (pour boulons ou goujons carrés)			2		
11	Lampe balladeuse						
12	Pompe à nettoyer	les capillaires - type hydraulique à main			1		
13	Clefs serre-tubes	à chaîne - capacité maxi tube ϕ 125			1		
14	Clef à crémaillère	ouverture 90 mm			1		
15	Clef à molette	ouverture maxi 34 mm			1		
16	Marbre de mécanicien	1/20 environ 500x250			1		
17	Tousquin	de traçage mécanicien tige 300 mm			1		
18	Cintreuse	à main					
19	Cintreuse à levier	avec galet de cintrage 1/4, 1/2, 3/4 5/4					
20	Chignole à main				1		
21	Extracteur de poulies	- à bras jusqu'à 100 mm de ϕ			1		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
22	Un poste de lavage et de soudure portable	oxybutane comprimant - une petite bouteille d'oxygène rechargeable - une petite bouteille de butane rechargeable - un mano détenteur - un chalumeau - un jeu de bec		2	1		
23	Pistolet de chauffe	280° - 420°C réglable - disjoncteur incorporé	Robin Air	14520	1		
24	Graveur électrique	à pointe vibrante			1		
25	Cordon à tracer				2		
26	Fer à souder	220 v instantané			3		
27	Coffret raccords rapides	jeu de raccords adaptateurs pour tube de service 3/16", 1/4", 5/16", 3/8"	Robin Air	12458	1		
28	Appareil à manchonner	comprend pinces, alésoir de tube et têtes pour tubes de ϕ ext 3/8", 1/2", 3/4", 5/8" et 1"	Robin Air	94020	1		
29	coffret d'outillage spécial	39 pièces	Robin Air	94070	1		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		<u>APPAREILS DE MESURE INDIVIDUELS</u>					
1	Voltmètre	Calibre 3; 7,5; 30; 75; 150; 300 v	ADIP	H 1000	4		
2	Ampermètre	Calibre 5; 12,5; 25; 50 A	ADIP	MA 602	4		
3	Multimètre	digital A, V, DC et AC, ohm avec sonde température - 50° + 150° C avec pince ampèremétrique de 6 à 300 A	Métrix Chauvin Arnoux, etc.	Mx727A+ HA1159	4		
4	Station de charge	comprenant : - 1 pompe à vide 2 étapes, 50 l/mn - 1 cylindre de charge capacité 2,2 Kg - Manifold (analyseur) complet avec . 4 robinets 1/4" à membrane . 3 flexibles 1/4" de 1,5 m . 1 flexibles 3/8" pour liaison pompe à eau . 2 manomètres : 1 MP; 1 BP - vacuomètre de contrôle de mise sous vide			1		
5	Mètre à ruban	3 m			5		
6	Réglet	20 cm			5		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		<u>APPAREILS COLLECTIFS DE MESURE</u>					
1	Wattmètre	gamme 0 - 500 V	Chauvin		1		
		gamme 0 - 2500 W	Arnous ou		1		
2	Thermomètre électronique digital	gamme 0 - 5 Kw	Métrix		1		
		. Affichage cristaux liquides	Diff	T 200	1		
		. 3 sondes au moins = -2 à contacts	Technocontrol				
		-1 à air					
		. plage de mesure : - 50 à + 150°C					
3	Anémomètre	à fil chaud - lecture directe en m/s	Air flow	TA 3000	1		
		gamme de mesure 0 à 15 m/s - portable					
		limite 0 : 0 à 70°C					
4	Pince ampèremétrique	digitale Volts DC 0.20; 0.200 et 0.100V	ITE	DPC400	1		
		Ampères DC 0 - 2000 mA					
		Volts AC 0 - 200 et 0 - 1000 V					
		Ampères AC 0 - 20; 0 - 200 et 0 - 400 A					
		Dims 0 - 200; 0 - 20K; 0 - 200 K;					
		0.2 m dim					
5	Tube de pitot	longueur 0,5 m			1		
		longueur 1 m			1		
6	Flux mètre	pour débit d'eau			1		
7	Psychromètre	gamme - 5 à + 50°C					
		avec échelle de conversion					
		en humidité relative					

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
8	Détecteur électronique	Portable - fonctionnant sur pile ou batterie - détectant les fluca-boues muni d'un indicateur de fuite visuel et auditif			1		
9	Voltmètre - ampèremètre enregistreur	V = 220 - 380 V A = de 0 à 200 A durée d'enregistrement 48h	Mérix Chauvin Arnoux Diff		1		
10	Coffret pour mesure de l'acidité	Tester les huiles des compresseurs		806399	2		
11	Décimètre				1		

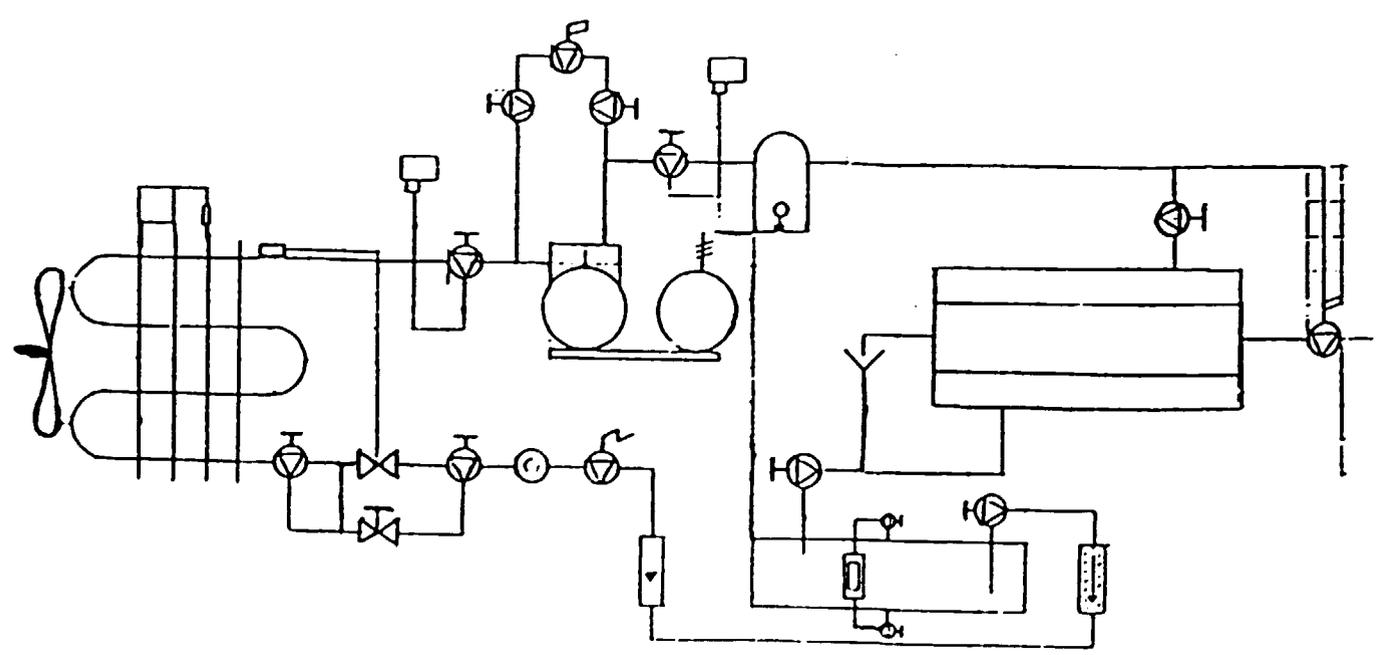
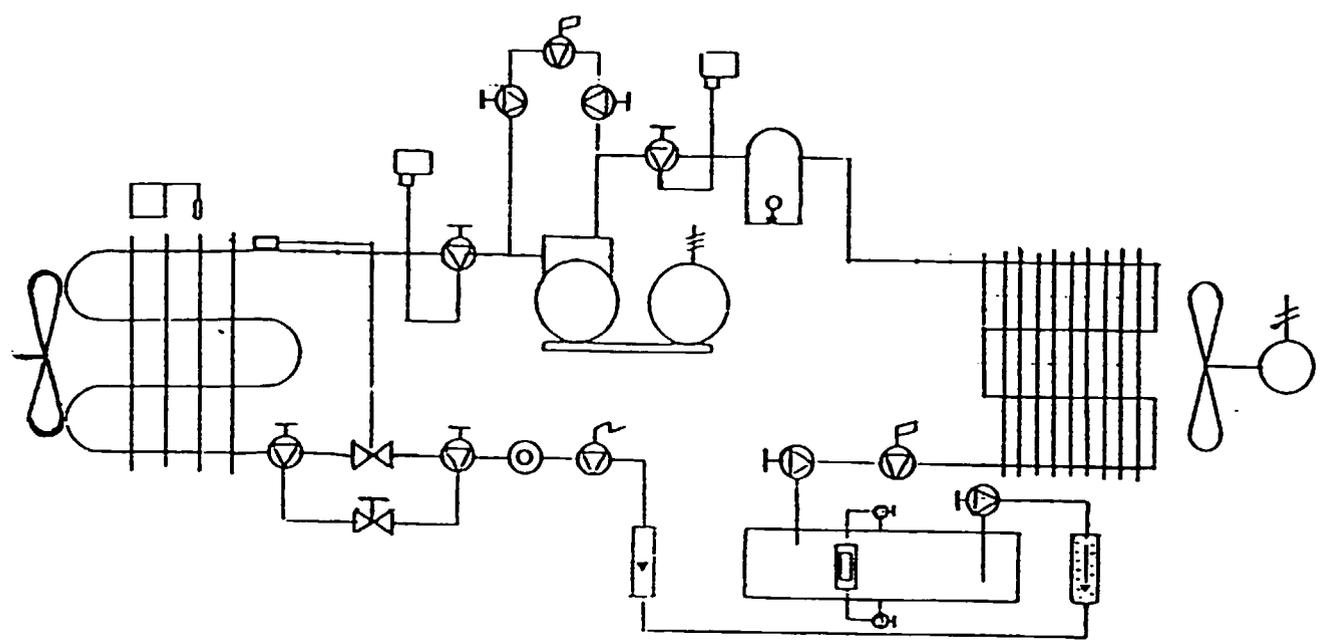
F - DIVERS

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		<u>DIVERS</u>					
1	Couronne	cuivre 30 mètre 1 2" quantité fr rifique			3		
2	"	" " 3 8" " "			3		
3	"	" " 5 8" " "			2		
4	"	" " 3 4" " "			2		
5	"	" " 1 2" " "			3		
6	Longueur cuivre	7x4 m 7 8" " "			2		
7	Longueur cuivre	7x4 m 1" " "			1		
8	TE	jeu de 1 4"			20		
9		jeu de 3 8"			20		
10		jeu de 1 2"			20		
11		jeu de 5 8"			20		
12		jeu de 3 4"			20		
13		jeu panaché			20		
14	UNION	IDEM			200		
15							
16							
17							
18							
19	Croix	IDEM			120		
20	Coude	IDEM			150		
25	Croix	IDEM			100 kg		
30	Fluide frigoriférie	R12			100 kg		
31	Fluide frigoriférie	R22			100 kg		
32	Fluide frigoriférie	NH3			100 kg		

Annexe 2 - LES EQUIPEMENTS

A - Installation en cabine

SCHEMA DE MONTAGES REALISES EN CABINE



EQUIPEMENT DES ATELIERS FROID ET CLIMATISATION

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		<u>APPAREILLAGE FRIGORIFIQUE POUR LES MONTAGES EN CABINE</u>				à commander	
						Pour 12 postes	Pour 4 postes
1	Compresseur ouvert	entraînement par courroie pour R12=875W à -5°C =1375W à +5°C 1/2" — 3/8"	COMEF	2:CK 34	5	7	0
2	Condenseur à air	à convection forcée	COMEF	A 18	2	4	2
3	Ventilateur hélicoïdal	du condenseur - entraînement par moteur du compresseur ou moteur monophasé 2 vitesses	COMEF	A 18	2	4	2
4	Condenseur à eau	Double tube	COMEF	E 13	2	4	1
5	Bouteille de liquide	horizontale	COMEF		4	8	0
6	Robinet à main 3 voies	du compresseur aspiration-refoulement	COMEF		10	15	
7	Séparateur d'huile	à retour, d'huile automatique, raccord	DANFOSS	OUB 1	4	8	0
8	Déshydrateur	à cartouche solide remplaçable à souder	DANFOSS	DCR 0485	4	8	0
9	Détendeur thermostatique	à égalisation interne pour R12	DANFOSS	TFZ 03 686014	4	11	2
10	Robinet solénoïde	sur la ligne liquide. Raccord	DANFOSS	EUR2 031F 2002	4	11	2
11	Robinet à pression constante	contrôle de la pression de condensation	DANFOSS	CPR12 3N0111	4	18	0
12	Robinet à pression constante	contrôle de la pression d'évaporation	DANFOSS	LQP12 34N0051	4	8	0
13	Régulateur de capacité	contrôle de la puissance	DANFOSS	LPCF12 34N0151	4	8	0
14	Robinet à main	sur régulateur de capacité 1/4"	DANFOSS	BML72B00141	10	16	4
15	Robinet à main 3 voies	conduite liquide 1/4" ou robinet à main	DANFOSS BML6	9C 0101	5	7	1
16	Robinet à main 3 voies	conduite vapeur 1/2" ou robinet à main	DANFOSS BML12	9C 0141	5	7	3
17	Robinet à main	sur niveau à réfraction 1/2"	DANFOSS BML 6	9C 0101	6	18	2
18	Robinet à main	entrée condenseur 3/8"	DANFOSS BML10	9C 0121	4	8	0
19	Robinet à eau pressostatique		DANFOSS WFM10	3D0001	5	7	0
20	Voyant liquide	à indicateur d'humidité	DANFOSS SC16	140012	5	7	0
21	Echangeur de chaleur	liquide vapeur	DANFOSS HE05	1500002	5	7	0

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE reçu	PRIX	
						Unitaire à commander	Total
22	Clapet	sur conduite liquide ½"	DANFOSS NRV 6	20-1001	4	8	0
23	Clapet	sur conduite vapeur	DANFOSS NRV12	20-1003	4	8	0
24	Cartouche solide	pour déshydrateur	DANFOSS	23UJ020	10	30	6
25	Moteur asynchrone	triphase du compresseur			5	8	0
26	Evaporateur à air	à convection forcée Qf= 1375W à +5°C			1	11	3
27	Ventilateur hélicoïdal	de l'évaporateur - moteur monophasé			1	11	3
28	Détendeur à main	pour P=1Kw à 0°C			1	11	3
29	Robinet à passage d'équerre	sur bouteille accumulatrice HP ½"			8	16	0
30	Vanne à main à opercule	sur la conduite d'eau			5	10	0
31	Débit mètre	pour liquide frigorigène			5	8	0
32	Débit mètre	pour fluide eau			5	8	0
33	Niveau à réfraction	sur bouteille liquide			4	8	0
34	Filtre à liquide	sur conduite liquide			4	8	0
35	Filtre d'aspiration	sur conduite vapeur			4	8	0
36	Pressostat	Basse pression de sécurité. Plage -0,5 à +7,5bar avec contact inverseur à réenclenchement manuel			4	10	2
37	Pressostat	Haute pression de sécurité, Plage 6 à 32 bar avec contact inverseur à réenclenchement manuel			5	10	2
38	Pressostat	Basse pression de commnde. Plage 0,2 à 7,5 bar diff.0,7-4			5	9	1
39	Thermostat	d'ambiance. Plage -30 à +15°C			5	0	0
40	Contrôleur de débit	d'eau (à palette)			4	8	0

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire à commander	Total
50	Disjoncteur magnéto	thermique - unipolaire 220/380V 10A	LEGRAND	261204	5	10	0
51	Carte repère littérale	en lettres minuscules à marque unique par carte de A à Z. 30 de chaque	STERLING		200		
52	Fil souple	H07 V-K 1,5 mm ² rouleau 100 m			10	15	0
53	Fil souple	H07 V-K 2,5 mm ² rouleau 100 m			10	15	0
54	Câble souple	H05 VF 2 x 1,5 mm ²			100 m	0	0
55	Câble souple	H05 VF 4 x 1,5 mm ²			200 m	0	0
56	Commutateur rotatif	à cames - quatre positions - deux étages			4	6	0

EQUIPEMENT DES ATELIERS FROID ET CLIMATISATION

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		<u>APPAREILLAGE POUR LES MONTAGES ELECTRIQUES</u>				à commander	
1	Platines perforées	renforcées, 1100 x 700	TELEMECANIQUE	AMIP 311070	non reçu	30	10
2	Profilés DIN	cadmié, longueur 2 m	TELEMECANIQUE	D25 MB 201	5	10	0
3	Montants perforés		TELEMECANIQUE	D26 M2151	10	20	0
4	Rondelles larges	pour fixation de la platine	TELEMECANIQUE	AF1 RA 3357	100	100	0
5	Ecrou - clips	pour fixation sur platine Ø M4	TELEMECANIQUE	AF1 EA4	200	300	0
6	Ecrou - clips	Ø M6	TELEMECANIQUE	AF1 EA6	200	300	0
7	Ecrous coulissants	encliquetables à l'avant sur profilés	TELEMECANIQUE	O25 ME8	150	150	0
8	Ecrous coulissants	Ø M6 - Ø M4	TELEMECANIQUE	D25 ME5	150	150	0
9	Vis de fixation	Ø M6 x 18	TELEMECANIQUE	AF1 VA618	200	300	0
10	Vis de fixation	Ø M4 x 16	TELEMECANIQUE	AF1 VA416	200	300	0
11	Lyres encliquetables	sur platines	TELEMECANIQUE	AK2 LM 39	200	300	0
12	Goulottes	à perforations débouchantes larg.30 mm-Long. 2m	TELEMECANIQUE	AK2 6A33	10	10	0
13	Accessoires de fixation	des poulottes sur platine perforée	TELEMECANIQUE	AK2 XA30	70	80	0
14	Couvercles pour lyres	et goulottes	TELEMECANIQUE	AK2 CA3	25	25	0
15	Blocs de jonction	encliquetable sur profilés DIN51A	TELEMECANIQUE	D36 DO 103	100	100	0
16	Embouts de câblage	sur moulés 1,5 mm ² par sachet de 1000	TELEMECANIQUE	D25 CE 015	4	4	0
17	Embouts de câblage	sur moulés 2,5 mm ² par sachet de 1000	TELEMECANIQUE	D25 CE 025	2	3	0
18	Contacteur	tripolaire pour commande moteur 9A ; bobine 24V	TELEMECANIQUE	LC1DO 93BA60	20	40	0
19	Contacteur	tripolaire pour commande moteur 16A, bobine 24V	TELEMECANIQUE	LC1D163BA60	80	0	0
20	Blocs additifs	instantané . 2F + 20	TELEMECANIQUE	LAI D 22	20	40	0
21	Blocs additifs	temporisé travail 1	TELEMECANIQUE	LAZ D 22	10	20	0
22	Blocs additifs	temporisé repos	TELEMECANIQUE	LA3 D 22	10	20	0
23	Relais de protection	zone de réglage 7 à 10 A	TELEMECANIQUE	LRI D 09314	8	16	0
24	Relais de protection	Zone de réglage 10 à 13 A	TELEMECANIQUE	LRI D 09316	4	8	0

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire à commander	Total
25	Relais de protection	zone de réglage 13 à 18 A	TELEMECANIQUE	LRI D09321	5	7	0
26	Contacteurs	auxiliaires "2F + 20"	TELEMECANIQUE	CA2DH 1229 B60	10	20	0
27	Bobine 24 V	pour contacteur auxiliaire (rechange)	TELEMECANIQUE	LXID09024	5	10	0
28	Bobine 24 V	pour contacteur LCI D09 et LCID16	TELEMECANIQUE		5	10	0
29	Voyants lumineux	vert	TELEMECANIQUE	X B2 MV 103	10	20	0
30	Voyants lumineux	rouge	TELEMECANIQUE	X B2 MV 104	10	20	0
31	Voyants lumineux	jaune	TELEMECANIQUE	X B2 MV 105	10	20	0
32	Lampe à incandescence	Culot BA 15d 24 V	TELEMECANIQUE	DLL BA 024	100	100	0
33	Boîtes à boutons poussoirs	3 boutons à impulsions	TELEMECANIQUE	XAL B 324	7	13	0
34	Bouton "coup de poing"	arrêt d'urgence rouge Ø 40 mm	TELEMECANIQUE	XAL B 164	7	13	0
35	Bouton tournant	2 positions O. F - Manette noire	TELEMECANIQUE	XAL B 134	7	13	0
36	Disjoncteurs	moteurs magnétothermiques 220V 4Kw - 10 à 16 A	TELEMECANIQUE	GVI M20	2	4	0
37	Déclencheurs à minimum	de tension 240 V 50 Hz	TELEMECANIQUE	GVI B24	2	4	0
38	Coffrets	en saillie	TELEMECANIQUE	GVI-COI	2	4	0
39	Sectionneur porte-fusible	tripolaire 25A	TELEMECANIQUE	L51 D2531	8	17	0
40	Platine pour encliquetage		TELEMECANIQUE	AX2 DL 01	8	17	0
41	Fusible	pour sectionneurs 10 x 38	TELEMECANIQUE	DF2 CA 10	20	30	0
42	Fusible	pour sectionneurs 10 x 38	TELEMECANIQUE	DF2 CA 12	20	30	0
43	Ronfleurs	24 V	LEGRAND		10	20	0
44	Transformateur	no de sécurité classe I monophasé 50 Hz primaire 220/380 V secondaire 24/48 V 100 VA	LEGRAND	42731	5	10	0
45	Barrettes de jonction	6 mm ²	LEGRAND	34223	10	20	0
46	Barrettes de jonction	10 mm ²	LEGRAND	34225	10	20	0
47	Barrettes de jonction	16 mm ²	LEGRAND	34227	10	20	0
48	Plaque repère	chiffrées de 1 à 50	LEGRAND	37849	10	20	0
49	Porte-fusible unipolaire	16 A	LEGRAND	D1124	10	16	0

Calcul pour déterminer les caractéristiques
thermiques et énergétiques de l'installation
frigorifique de la chambre de congélation

Ce calcul est fait sur la base des caractéristiques existantes des équipements reçus.

Le compresseur reçu pour la chambre de congélation est capable de développer les volumes balayés par les pistons suivants :

$$V_h = 2 \text{ m}^3/\text{heure} - \text{en cas de } \underline{400} \text{ tours/min}$$

$$V_h = 9 \text{ m}^3/\text{heure} - \text{en cas de } \underline{1\ 000} \text{ tours/min}$$

Le volume réel du gaz refoulé par le compresseur dépend du régime c'est-à-dire des pressions d'évaporation et de condensation du réfrigérant dans l'installation.

Le régime de congélation dans la chambre froide est conditionné par les paramètres suivants :

1. Température d'évaporation - $t_o = -20^\circ\text{C}$
2. Pression d'évaporation - $P_o = 2,6.10^5 \text{ Pa}$
3. Température de condensation - $t_c = 45^\circ\text{C}$
4. Pression de condensation - $P_c = 17.10^5 \text{ Pa}$
5. Réfrigérant - fréon
6. Taux de compression - $\sigma = \frac{P_c}{P_o} = \frac{17.10^5}{2,6.10^5} = 6,5$
7. Type de machine frigorifique - à un étage, selon $\sigma < 8$
8. Condenseur - à air
9. Evaporateur - à air

Le facteur décisif pour le fonctionnement correct de l'installation est le nombre de tours de poulie du compresseur (n), qui assure un tel volume balayé par les pistons (V_h) et respectivement un tel débit volumique (V) du réfrigérant donné par le compresseur au cas où le puissance frigorifique créée correspond à la charge thermique de la chambre de congélation.

Le volume balayé par les pistons du compresseur (V_h) peut être déterminé d'après le rapport :

$$V_h = \frac{V}{\lambda}, \text{ m}^3/\text{S}$$

Le rendement volumétrique du compresseur dépend des pressions de condensation (P_c) et d'évaporation (P_o) et est déterminé par la formule suivante :

$$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_w \cdot \lambda_f$$

$$\text{où } \lambda_i = \frac{P_o - \Delta P_o}{P_o} - \frac{1}{c} \left(\frac{P_c + \Delta P_c}{P_c} - \frac{P_o - \Delta P_o}{P_o} \right)$$

$$\lambda_w = \frac{T_o}{T_c} \quad \text{et} \quad \lambda_f = 0,97$$

En substituant les valeurs $P_o = 2,6 \cdot 10^5$; $P_c = 17 \cdot 10^5$; $T_o = 253^\circ\text{K}$ et $T_c = 318^\circ\text{K}$ on peut trouver les valeurs : $\lambda_i = 0,876$; $\lambda_w = 0,8$ et $\lambda_f = 0,97$.

Respectivement nous avons :

$$\lambda = 0,876 \cdot 0,8 \cdot 0,97 = 0,68$$

La valeur demandée du débit volumétrique (V) doit être déterminée en dépendance du débit massique du réfrigérant (G_R), refoulé dans l'évaporateur : de sa part (G_R) dépend de la charge thermique sur l'évaporateur Q_o qui est équivalent à l'apport de chaleur dans la chambre de congélation. Donc, pour déterminer les valeurs de G_R et V il faut utiliser les formules suivantes :

$$G_R = \frac{Q_o}{q_o}, \text{ kg/S et } V = G_R \cdot v_s, \text{ m}^3/\text{S}$$

Les valeurs de rendement spécifique frigorifique de 1 kg de réfrigérant liquide (q_o) et volume spécifique (v_s) de vapeur aspirée par le compresseur doivent être prises du diagramme $i - \lg P$ du réfrigérant R-22. Pour ce fait il est tracé le cycle thermodynamique de la machine frigorifique compte tenu des paramètres susmentionnés (figure 1).

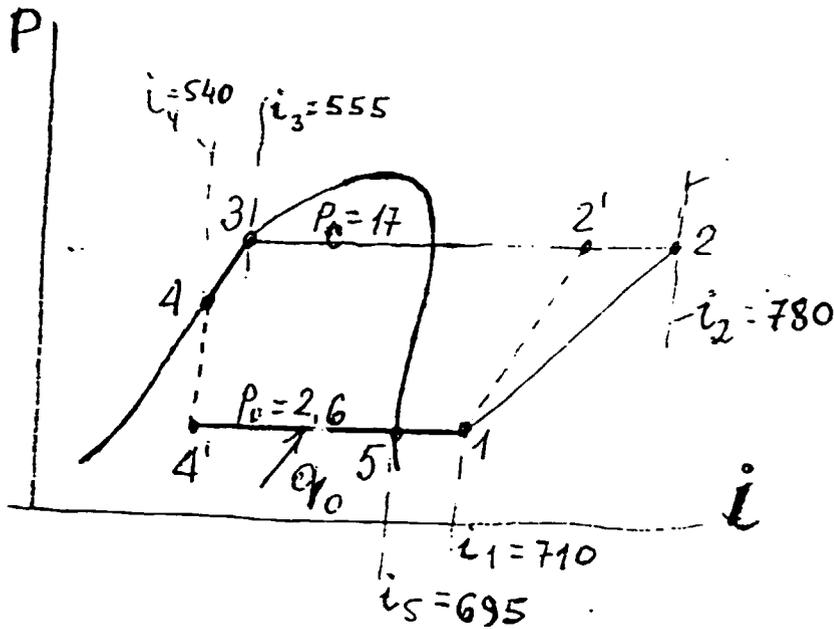


Figure 1

Le cycle (figure 1) permet de déterminer les paramètres principaux de fonctionnement de l'installation :

$$i_4 = 710 \text{ kJ/kg}; \quad t_1 = 0^\circ\text{C}; \quad i_2 = 780 \text{ kJ/kg}; \quad t_2 = 117^\circ\text{C}$$

$$i_3 = 555 \text{ kJ/kg}; \quad t_3 = 45^\circ\text{C}; \quad i_5 = 695 \text{ kJ/kg}; \quad t_5 = -20^\circ\text{C}$$

Pour déterminer la température de liquide à la sortie de l'échangeur de chaleur régénérateur, il faut former le bilan thermique :

$$i_4 = i_3 - (i_1 - i_5); \quad i_4 = 555 - (710 - 695)$$

où : $i_4 = 540 \text{ kJ/kg}$ et $t_4 = 32^\circ\text{C}$

Donc le sous-refroidissement du liquide dans l'échangeur est égal à $\Delta t = 45 - 32 = 13^\circ\text{C}$

Du diagramme est pris aussi le volume spécifique du gaz aspiré

$$v_5 = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Les apports de chaleur dans la chambre de congélation pour les conditions des températures intérieure $t_I = -15^\circ\text{C}$ et extérieure $t_E = 34^\circ\text{C}$ sont égaux à 400 W. En même temps il faut prendre aussi en considération les dégagements de chaleur du moteur ventilateur de l'évaporateur disposé dans la chambre - $Q_v = 185 \text{ W}$ et des élèves se trouvant dans la chambre pendant les études - $Q_{el} = 300 \text{ W}$.

Ainsi la charge thermique sur l'évaporateur de la chambre de congélation est égale à

$$Q_o = 400 + 185 + 300 = 885 \text{ W} = 0,885 \text{ kW}$$

Attendu la charge thermique notée, il faut déterminer l'état de l'air sortant de l'évaporateur (enthalpie - $i_{a.2}$ et température - $t_{a.2}$) compte tenu que la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur est égale à $t_{a.1} = 15^\circ\text{C}$, avec l'humidité relative - $\varphi_{a.1} = 80 \%$:

$$i_{a.2} = i_{a.1} - \frac{Q_o}{G_a}$$

Le processus de refroidissement de l'air circulant dans la chambre de congélation tracé sur le diagramme psychrométrique de l'air humide Y-d, montre que $i_{a.1} = 3,2 \text{ kJ/kg}$. En cas de débit d'air $G_a = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ développé par le ventilateur de l'évaporateur pour $i_{a.2}$ nous avons :

$$i_{a.2} = 3,2 - \frac{0,885}{0,7} = - 4,47 \text{ kJ/kg}$$

L'enthalpie notée signifie que pour garder la température -15°C dans la chambre de congélation, il faut refroidir l'air jusqu'à la température -18°C (à la sortie de l'évaporateur).

En ayant les paramètres trouvés, on peut calculer les valeurs de G_R ; V et V_h :

$$G_R = \frac{0,885}{q_o} = \frac{0,885}{695 - 540} = 0,0057 \text{ kg/s de réfrigérant}$$

$$V = 0,0057 \cdot 0,1 = 0,00057 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_h = \frac{0,00057}{0,68} = 0,0008 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } V_h = 2,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le volume balayé par les pistons du compresseur - $V_h = 2,9 \text{ m}^3/\text{h}$ correspond au nombre de tours de la poulie $n = 580 - 600 \text{ t/min}$. A partir de la valeur de $n = 580 - 600$ on peut déterminer le diamètre de la poulie du moteur.

Pour assurer l'absorption de chaleur $Q_0 = 885 \text{ W}$ et la température intérieure $t_I = -15^\circ\text{C}$, on a besoin d'un évaporateur dont la surface d'échange est égale à :

$$F_{ev} = \frac{Q_0}{K_{ev} \cdot \Delta t_{ev}} = \frac{885}{25.3,5} = 10,1 \text{ m}^2$$

L'évaporateur reçu possède une telle surface, c'est pourquoi il est acceptable pour être utilisé dans l'installation de la chambre "froide".

La charge thermique sur le condenseur à air est égale à :

$$Q_c = G_R (i_2 - i_3) = 0,0057 (780 - 555) = 1,28 \text{ kW}$$

ou $Q_c = 1\,280 \text{ W}$

La surface d'échange de la chaleur du condenseur doit être égale à :

$$F_c = \frac{Q_c}{K_c \cdot \Delta t_c} = \frac{1\,280}{30.8} = 5,3 \text{ m}^2$$

Le condenseur reçu possède une surface supérieure à $5,3 \text{ m}^2$, c'est pourquoi il peut être utilisé dans l'installation.

La puissance électrique absorbée par le moteur du compresseur est égale à :

$$N = \frac{G_R (i_2 - i_1)}{n_{fr} \cdot n_m \cdot n_{entr}} = \frac{0,0057 \cdot (780 - 710)}{0,7 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 0,8 \text{ kW}$$

La charge thermique sur l'échangeur régénérateur :

$$Q_{e.c} = G_R (i_3 - i_4) = 0,0057 (555 - 540) = 0,086 \text{ kW}$$

ou $Q_{e.c} = 86 \text{ W}$

La surface d'échange de l'échangeur régénérateur doit être égale à

$$F = \frac{Q_{e.c}}{K_{e.c} \cdot \Delta t_{e.c}} = \frac{86}{35.50} = 0,05 \text{ m}^2$$

L'échangeur de chaleur reçu est caractérisé par une surface supérieure à $0,05 \text{ m}^2$ et par conséquent il sera utilisé dans l'installation.

Le diamètre du tube d'aspiration de gaz doit être égal à $d_{\text{asp}} = 8 - 9 \text{ mm}$.

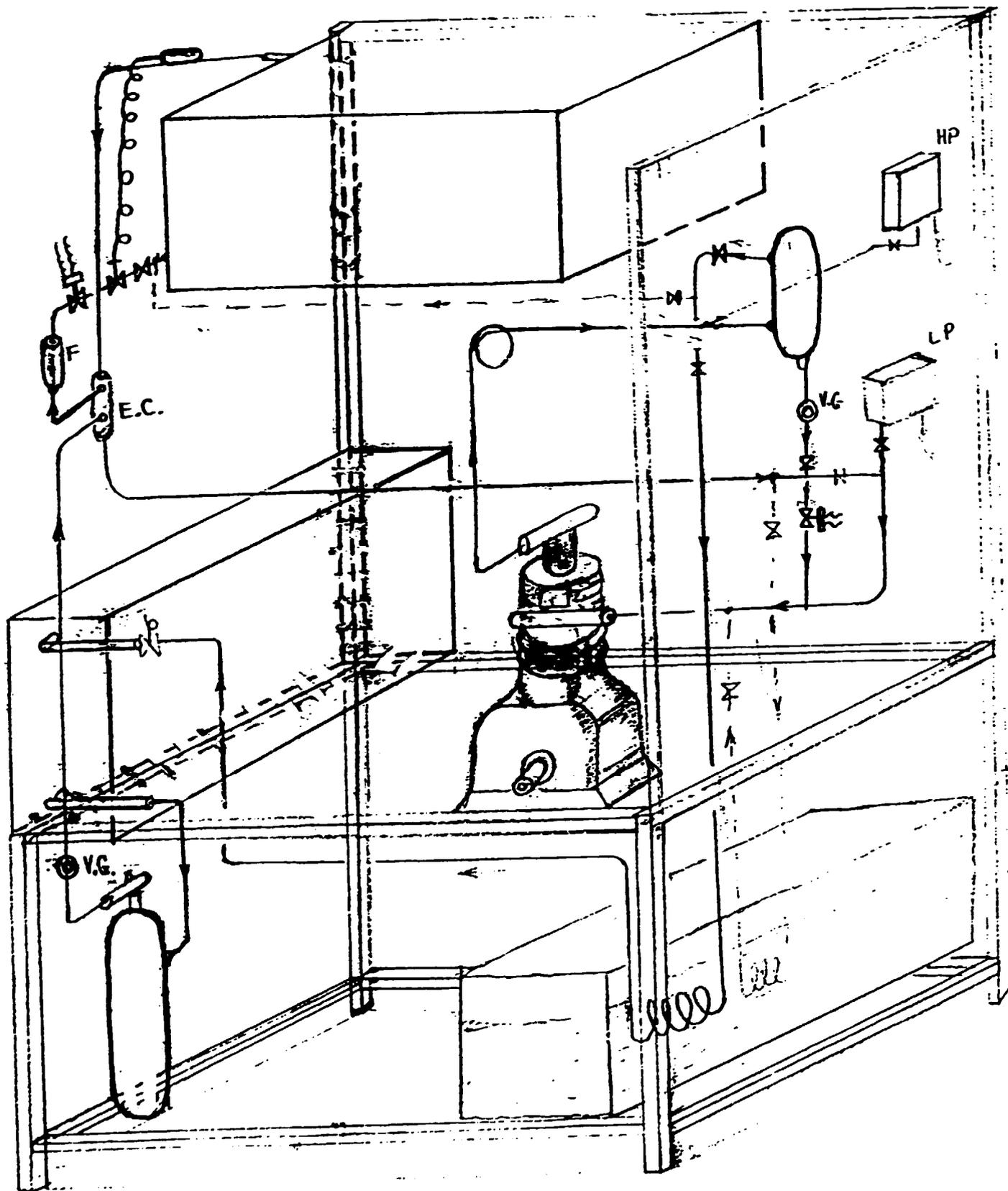
Le diamètre du tube de refoulement est égal à :

$$d_{\text{ref}} = \sqrt{\frac{0,0057 \cdot v_2}{0,785 \cdot 10}} = \sqrt{\frac{0,0057 \cdot 0,018}{0,785 \cdot 10}} \approx 4 \text{ mm}$$

Le diamètre du tube liquide :

$$d_{\text{liq}} = \sqrt{\frac{0,0057 \cdot v_3}{0,785 \cdot 0,8}} = \sqrt{\frac{0,0057 \cdot 0,001}{0,785 \cdot 0,8}} \approx 3 \text{ mm}$$

L'ONUDI a livré tous les tubes en cuivre aux diamètres nécessaires d'une quantité suffisante pour réaliser le montage de toutes les installations frigorifiques prévues.



ANNEXE 4

Bamako, le 15 mars 1990

Devis : N° 2040/3/90/ML

Lycée Technique
BAMAKO
Mali

Objet : Fourniture et pose
transformateur 50 KVA
Appareils de comptage
Disjoncteur M.T.

Fourniture transformateur 50 KVA	1	1 650 000 F.CFA
Pose et raccordement du transformateur	ens	300 000 F.CFA
Fourniture disjoncteur.M.T.	1	1 325 000 F.CFA
Pose et raccordement du disjoncteur	ens	300 000 F.CFA
Fourniture compteur réactif	1	278 700 F.CFA
Fourniture émetteur périodique	1	210 310 F.CFA
Pose compteur réactif		
Pose émetteur périodique	ens	15 000 F.CFA
Etalonnage et pose des plombs par le service comptage	ens	25 000 FCFA

Total de notre offre hors toutes taxes 4 104 010 F.CFA

Non prévu : Honoraires E.D.M. pour la surveillance.

Délais d'approvisionnement 2 mois .

Délai d'exécution des travaux : 2 semaines

Règlement : 50 % à la commande
 Solde à la mise en service.

Restant à votre disposition pour tout renseignement complémentaire,

Veillez agréer, Messieurs, nos salutations distinguées.

Le Directeur

J.P. VENEAU

Bamako, le 15 mars 1990

Devis : N° 2041/3/90/ML

Lycée Technique
BAMAKO
Mali

Objet : Fourniture et pose
câble 4 x 50 mm²

Du disjoncteur de protection dans le
local comptage jusqu'à l'armoire de
protection dans l'atelier.

Fourniture câble 1000 Ro 2 V 4 x 50 mm ²	160	13 050	2 088 000 F.CFA
Pose câble 1000 Ro 2V 4 x 50 mm ² sous colliers attelas	ens	3 650	584 000 F.CFA
Raccordement au disjoncteur de protection par cosses à certir	ens		82 650 F.CFA
Essais	ens		26 500 F.CFA
			<hr/>
TOTAL HORS TOUTES TAXES			2 781 150 F.CFA

Délais d'approvisionnement 2 Jours

Délais d'exécution des travaux : 2 semaines

Règlement : 50 % à la commande
Solde à la mise en Service

Restant à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Veillez agréer, Messieurs, nos salutations distinguées.

Le Directeur

ANNEXE 5

Travail pratique No 1

Sujet :

1. La représentation du schéma principal de l'installation frigorifique
2. Les règles de sécurité du travail sur une machine frigorifique
3. Règlement des mesures

L'équipement : installation frigorifique en cabine.

En se préparant au travail les élèves doivent :

1. Prendre connaissance de la destination, de la construction et du principe de fonctionnement du compresseur, du condenseur, de l'évaporateur, du détenteur et des autres appareils de l'installation frigorifique.
2. Représenter le schéma principal de l'installation frigorifique et donner la description de fonctionnement.
3. Montrer sur le schéma les dispositions des appareils de mesure et du contrôle. Etablir la liste des grandeurs mesurées qui sont nécessaires pour dresser le cycle thermodynamique sur le diagramme $i - \lg P$.
4. Mettre en marche l'installation frigorifique et après installer le fonctionnement stable, exécuter les mesures des paramètres caractéristiques, permettant de dresser le cycle.
5. Dresser le cycle sur le diagramme $i - \lg P$ ou $T-S$ et déterminer les paramètres du réfrigérant sur les points principaux du cycle.
6. Exécuter les calculs afin de déterminer les caractéristiques suivantes :
 - a) Rendement frigorifique de 1 kg de réfrigérant;
 - b) Rendement frigorifique de 1 m³ de réfrigérant;
 - c) Travail spécifique de la compression du réfrigérant;
 - d) Chaleur de condensation de 1 kg de réfrigérant;

- e) Le coefficient de production ϵ de la machine frigorifique;
- f) Le rendement frigorifique spécifique sur 1 kW d'énergie consommée.

Sécurité du travail d'installation frigorifique

Pendant l'exploitation incorrecte des installations frigorifiques, il est possible d'avarier ou d'user l'équipement.

En cas d'utilisation d'ammoniac comme réfrigérant, à cause d'endommagement du compresseur et des autres équipements, il peut y avoir des conséquences graves pour le personnel et pour l'équipement. C'est pourquoi le règlement de sécurité du travail doit être strictement respecté.

Règlement de sécurité du travail :

1. L'installation frigorifique doit être mise à la terre.
2. Le fonctionnement du moteur électrique sans protection d'entraînement par courroie et des poulies est interdit.
3. Les fuites de réfrigérant des étoupes du compresseur doivent être éliminées immédiatement. Les écrous des brides, des étoupes et des robinets doivent être serrés soigneusement pour ne pas les casser.
4. Pour révéler les sources de fuites de réfrigérant il faut utiliser les indicateurs chimiques spéciaux.
5. L'ouverture des cylindres des compresseurs, le changement d'étanche des étoupes, démontage des conduites et des appareils doivent être réalisés après l'évacuation de réfrigérant dans le système.
6. Il est formellement interdit d'utiliser la flamme ouverte en cas d'observation des cylindres et du carter du compresseur, de séparateur d'huile et des autres équipements de l'installation.
7. La salle des machines et des appareils doit être intensivement ventilée.
8. L'évacuation de l'huile des équipements et du collecteur de l'huile doit être exécutée en utilisant des dispositifs d'étranglement pour diminuer la pression. Dans ce cas les ventilateurs de la salle des machines doivent être mis en marche.

9. Avant le remplissage du système par le réfrigérant, il faut vérifier la présence du réfrigérant dans la bouteille. Il est interdit de chauffer la bouteille pendant le remplissage.
10. Dans la salle de machine il faut placarder et apposer les règles de sécurité du travail et les ordres de premiers soins.
11. Il est défendu de faire le soudage sur les appareils et conduites remplies par le réfrigérant.
12. L'installation frigorifique ne peut pas être utilisée en cas d'absence des plombs sur tous les manomètres.

Exécution des premiers soins :

En cas d'une avarie de l'installation à ammoniac et par conséquent d'intoxication du personnel, il faut évacuer les victimes en plein air et appeler le médecin. Si la victime ne respire pas, il faut exercer la respiration artificielle. Il est nécessaire de couvrir la victime par un voile et de frotter ses membres inférieurs et supérieurs pour provoquer la circulation intense du sang. Il est utile de respirer les vapeurs de l'acide acétique de concentration égale à 1 %. Il est recommandé de boire aussi de l'eau gazeuse, du lait chaud et ensuite de verser de l'eau froide sur le dos et le cou.

Mesure des températures :

Pour les épreuves d'installation frigorifique, les températures sont mesurées à l'aide des thermomètres à liquide ou à résistances.

Il est préférable d'utiliser les thermomètres à mercure. Sur les conduites des réfrigérants, saumure et eau doivent être enclavées dans les douilles pour disposer les thermomètres. L'extrémité de la douille doit être placée sur l'axe de la conduite. Pour intensifier la transmission de chaleur entre le bulbe du thermomètre et la douille il faut le remplir d'huile. Tous les thermomètres sont énumérés. Les températures doivent être mesurées à 0,1 près. Il ne faut pas enlever le thermomètre de la douille quand on relève l'indication.

On ne devrait pas approcher les sources de lumière près du thermomètre ou expirer sur le thermomètre quand on relève l'indication.

Le thermomètre doit être disposé au niveau des yeux.

Mesure de pression :

Pour mesurer les pressions inférieures à 2 bars (pression dans l'évaporateur) on peut utiliser les manomètres à mercure.

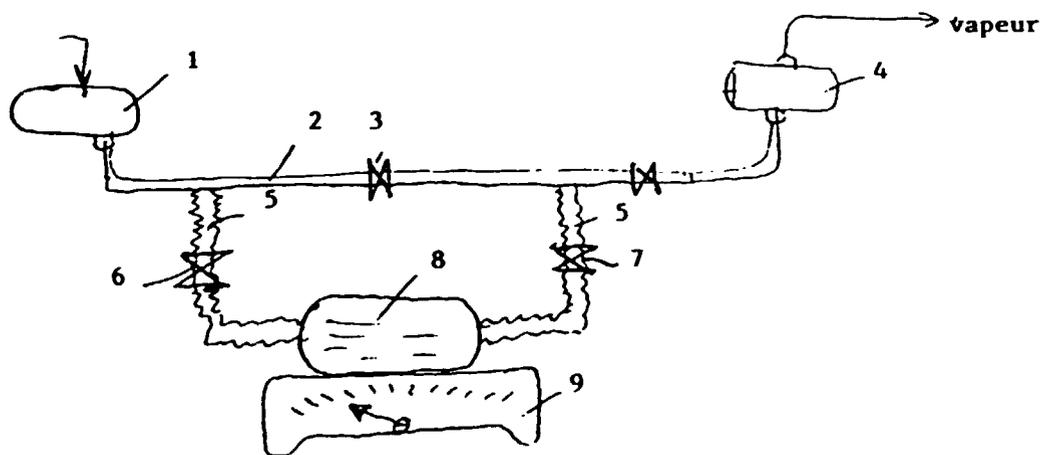
Afin de déterminer la valeur de pression absolue du réfrigérant, il faut ajouter la pression barométrique à la pression indiquée par le manomètre.

$$P_{abs} = P_{man} + P_{bar}$$

Quand on relève l'indication du manomètre, il est recommandé de fermer légèrement le clapet du manomètre pour éliminer la vibration de l'aiguille.

Mesure du débit du réfrigérant :

Pour les épreuves d'installation frigorifique, on a besoin de mesurer les débits massiques, ou volumiques. Le débit massique est déterminé à l'aide du pesage. Le réfrigérant dans l'installation peut être pesé comme suit : une bouteille à l'aide des tubes flexibles est reliée au réservoir du réfrigérant liquide. La bouteille est placée sur une balance spéciale d'après le schéma ci-dessous :



- 1 - Réservoir de liquide; 2 - Tube principal du réfrigérant liquide;
3, 6, 7 - Robinets; 5 - Evaporateur; 6 - Tubes flexibles; 8 - Bouteille
de liquide; 9 - Balance.

Pour mesurer le débit massique du réfrigérant on ferme les robinets 3 et 7 et on ouvre le robinet 6. Par la suite le liquide est coulé dans la bouteille 8 par les tubes flexibles 5. On fixe le laps de temps- Δt de remplissage de la bouteille 8 et la balance montre la masse de liquide - m dans la bouteille. Le débit massique G est déterminé par le rapport : $G = m / \Delta t$, kg/S. Après avoir terminé la mesure on ferme le robinet 6 et on ouvre le robinet 7 pour vider la bouteille 8, ensuite on ferme le robinet 7 et on ouvre le robinet 3.

Le débit volumique du réfrigérant liquide peut être mesuré directement dans le réservoir de liquide muni par un voyant optique avec les traits de repère indiquant le volume. La mesure du débit volumique se fait comme suit : on ferme le robinet du détendeur et on observe l'élévation du niveau de liquide pendant le laps de temps- Δt .

Le rapport de changement du volume sur le laps de temps est le débit volumique.

La mesure de saumure peut être réalisée en utilisant l'une des méthodes ci-dessus.

Travail pratique No 2

Les procédés principaux d'exploitation des machines frigorifiques

Installation d'étude - Equipement frigorifique de l'atelier froid

Matière d'étude :

1. Prendre connaissance de l'ordre de mise en marche et de stoppage du compresseur.
2. Démarrage, réglage et stoppage de l'installation frigorifique à Fréon.
3. Fixation des variations des paramètres caractéristiques d'installation frigorifique en cas de changement :
 - a) D'ouverture du détendeur thermostatique;
 - b) De débit d'air ou de l'eau refroidissant le condenseur.

Avant le changement du régime de fonctionnement de l'installation il faut mesurer les paramètres caractéristiques. Après avoir établi le fonctionnement stable du nouveau régime il faut encore mesurer les paramètres et comparer avec les paramètres précédents.

En analysant le fonctionnement de tous les équipements, il faut prédire la direction des variations des paramètres en cas de changement du régime.

Analyse des données expérimentales

Les élèves présentent un rapport dans lequel ils donnent : 1) la description de démarrage et de stoppage de l'installation frigorifique; 2) une table des paramètres caractéristiques pour chaque changement du régime d'après l'article 3.a et b; 3) une explication brève des résultats obtenus.

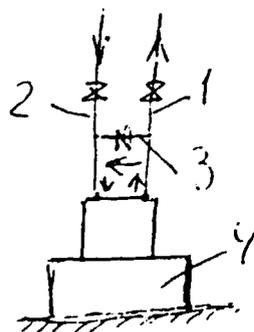
I. Les règles générales du démarrage et du stoppage d'une installation frigorifique

Le démarrage et le stoppage d'une machine frigorifique doivent être réalisés en conformité de leur système et des instructions données par l'usine-producteur.

Démarrage : Il est nécessaire d'abord de vérifier par le registre de la salle des machines les motifs de l'arrêt dernier du compresseur (c'est-à-dire : intervalle prévu par le calendrier des travaux; défauts ou endommagement des pièces du compresseur). En cas d'arrêt du compresseur à cause d'endommagement il faut vérifier s'il est réparable. Ensuite il faut observer le compresseur, enlever les objets mettant obstacle au fonctionnement du compresseur. Puis la poulie doit être tournée à la main et contrôler le niveau de l'huile dans le carter du compresseur. Après les observations indiquées il faut remplir la chemise de refroidissement du compresseur par eau (si elle existe) et démarrer la pompe à eau du condenseur à eau ou le ventilateur du condenseur à air. Puis il faut démarrer le ventilateur de l'évaporateur à air ou la pompe d'eau (de la saumure) de l'évaporateur à liquide.

Au moment du démarrage le compresseur consomme plus d'énergie par rapport au régime de fonctionnement normal.

Les compresseurs jusqu'à une puissance de 20 kW ne sont pas équipés par les moyens de déchargement de démarrage. Dans ce cas on utilise les moteurs électriques avec les moments de mise en marche élevés. Pour les compresseurs aux puissances supérieures à 75 000 kcal/heure on prévoit les by-pass de déchargement automatique ou de main, permettant le passage du gaz comprimé de la ligne de refoulement vers la ligne d'aspiration. Ce système de déchargement est représenté sur la figure 1.



- 1 - Ligne de refoulement
- 2 - Ligne d'aspiration
- 3 - By-pass
- 4 - Compresseur

Figure 1

Avant le démarrage du compresseur (4) les robinets de refoulement (1) et d'aspiration (2) sont fermés et le robinet du by-pass (3) est ouvert. Après la stabilisation du régime de fonctionnement du compresseur les robinets 1 et 2 s'ouvrent et le robinet 3 est fermé.

Mise en marche de l'installation frigorifique qui n'est pas équipée de dispositifs de déchargement :

1. Ouvrir le robinet sur la ligne de refoulement du compresseur et aussi tous les robinets disposés sur la ligne de refoulement à partir du compresseur jusqu'au condenseur et ensuite sur la ligne de liquide à partir du condenseur jusqu'au détendeur et à l'évaporateur et puis à partir d'évaporateur jusqu'au compresseur (ligne d'aspiration). Le détendeur et le robinet d'aspiration (sur la ligne d'aspiration à l'entrée du compresseur) doivent être fermés.
2. Mise en marche du moteur du compresseur.
3. Ouvrir successivement le robinet d'aspiration en ne permettant pas la pénétration des gouttelettes de liquide dans les cylindres du compresseur.
4. Si les bruits et frappes se font entendre dans les cylindres du compresseur, il faut fermer rapidement le robinet d'aspiration à l'entrée du compresseur et ensuite l'ouvrir lentement. Parallèlement, il faut suivre que la pression de refoulement (compression) ne dépasse pas la pression de condensation.

En cas de la hausse excessive et brusque de la pression de refoulement et de condensation, le compresseur doit être arrêté immédiatement.

5. Vérifier que la pompe à l'huile marche normalement à l'aide des manomètres de l'huile.
6. Ouvrir successivement le détendeur et régler le fonctionnement de l'installation selon le régime des températures demandées (données, nécessaires).
7. Enregistrer dans le journal de la salle des machines la date et l'heure de mise en marche du compresseur.

Mise en marche d'une machine frigorifique
à fréon avec la régulation automatique :

Pour les machines automatisées au moment du démarrage les robinets de refoulement et d'aspiration du compresseur doivent être ouverts.

En mettant le compresseur en marche il faut respecter les règles indiquées ci-dessus pour les installations frigorifiques sans les dispositifs de déchargement (sans by-pass). Puis en suivant les températures du gaz dans les lignes d'aspiration et de refoulement, on règle la dimension d'ouverture du détendeur thermostatique, tel que le degré de surchauffage de vapeur du fréon (c'est-à-dire la différence des températures d'évaporation et d'aspiration) soit supérieur à 4°C et inférieur à 7°C.

L'heure de mise en marche doit être enregistrée dans le journal.

Stoppage : Pour arrêter l'installation frigorifique de n'importe quel type de compresseur, il est demandé d'exécuter les procédés suivants :

1. Fermer le détendeur et ensuite le robinet d'aspiration du compresseur.
2. Débrancher le moteur du compresseur.
3. Fermer le robinet de refoulement du compresseur.
4. Arrêter le refoulement de l'eau dans le condenseur à eau ou de l'air dans le condenseur à air.
5. Arrêter le refoulement de l'eau ou de saumure dans l'évaporateur à liquide ou de l'air dans l'évaporateur à air.

Après le stoppage de l'installation il faut enregistrer l'heure et le motif de l'arrêt du compresseur.

II. Le réglage de fonctionnement de l'installation frigorifique

Le réglage de fonctionnement d'une installation frigorifique comprend un complexe des procédés destinés à maintenir les températures nécessaires d'évaporation, de condensation, de sous-refroidissement de liquide, de surchauffage de vapeur, etc. Le maintien de la température d'évaporation demandée est réalisé par le réglage du débit du réfrigérant liquide entrant dans l'évaporateur. Le débit est réglé à l'aide du détendeur.

Pour atteindre un régime de fonctionnement stable il faut donner dans l'évaporateur une telle quantité de réfrigérant liquide qui peut être évaporé entièrement sous l'influence de la charge calorifique sur l'évaporateur (chaleur dégagée de l'air de chambre froide; de la saumure ou des objets soumis au refroidissement). En même temps la quantité de vapeur créée dans l'évaporateur doit être égale au pouvoir d'aspiration du compresseur. Si le détendeur est ouvert beaucoup de réfrigérant liquide ne s'évapore pas entièrement et le compresseur aspire la vapeur humide qui provoque un choc hydraulique. Si le détendeur est ouvert trop peu (insuffisamment) la pression et conformément la température d'évaporation diminuent excessivement. Par conséquent la vapeur sortant de l'évaporateur est très surchauffée. Cette vapeur après avoir été comprimée dans le compresseur devient trop chaude, ce qui provoque un régime dangereux pour le compresseur.

Quand le système est rempli suffisamment par le réfrigérant, le détendeur doit être ouvert $\frac{1}{8}$ - $\frac{1}{4}$ de tour.

Le changement d'ouverture du détendeur n'agit pas immédiatement sur la température d'évaporation. C'est pourquoi après chaque changement de position du détendeur, il faut attendre à peu près une demi-heure.

La température de condensation peut être réglée en changeant le débit d'air (en cas du condenseur à air) ou le débit d'eau (en cas du condenseur à eau) passant par les condenseurs.

La température des vapeurs surchauffées à la sortie du compresseur (dans la ligne de refoulement) dépend des températures d'évaporation et de condensation.

En cas de diminution de la température d'évaporation et d'augmentation de la température de condensation, un accroissement de la température du gaz à la sortie du compresseur aura lieu. La proportion entre ces températures est représentée dans le tableau suivant (pour l'ammoniac) :

Température d'évaporation °C	Température de condensation, °C					
	25	27,5	30	32,5	35	40
0	60	65	70	73	80	95
-2	64	69	74	77	85	100
-4	68	73	78	81	90	105
-6	76	82	89	92	95	108
-8	80	87	93	96	100	111
-10	85	92	98	101	105	115
-12	89	96	103	106	110	119
-14	93	101	108	111	115	123
-16	99	106	113	116	120	127
-18	101	111	118	121	125	131
-20	109	116	125	126	130	135
-22	114	121	128	131	135	139
-24	120	126	133	136	140	144
-26	125	130	137	140	143	146
-28	130	134	140	143	146	148
-30	133	138	143	146	150	152

L'observation et le réglage de l'installation sont exécutés à l'aide des thermomètres disposés sur l'évaporateur, le condenseur, les lignes d'aspiration et de refoulement.

Les symptômes de fonctionnement corrects en cas du régime stable sont les suivants :

1. La température d'évaporation est inférieure de 5°C à la température de la saumure ou de l'air à la sortie de l'évaporateur.
2. La température de condensation est supérieure de 5°C à la température de l'eau (ou de l'air) à la sortie du condenseur.
3. La température du gaz comprimé à la sortie du compresseur doit être supérieure à 70°C et inférieure à 135-140°C (pour l'ammoniac).
4. La différence des températures d'eau à la sortie et à l'entrée du condenseur doit être égale à 5°C.

5. La différence des températures de saumure à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur ne doit pas dépasser 3 - 4°C.
6. En cas des températures d'évaporation négatives la ligne d'aspiration est givrée.
7. L'absence des frappes et chocs dans les cylindres du compresseur.
8. L'absence d'échappement du gaz de l'installation.

Examinons quelques exemples d'influence du changement du régime dans l'un des équipements sur les régimes de fonctionnement des autres appareils.

Exemple 1.

Admettons que l'on a diminué l'ouverture du détendeur. Donc l'évaporateur reçoit moins de réfrigérant liquide par rapport à la quantité du gaz aspiré par le compresseur. A la suite d'une diminution de la quantité de liquide dans l'évaporateur la puissance frigorifique aussi diminue. D'autre part la sous-alimentation de l'évaporation provoque la diminution de la pression d'évaporation et par conséquent la diminution de la température d'évaporation. A cause de l'augmentation de la différence des pressions de condensation et d'évaporation la quantité de liquide qui entre dans l'évaporateur commence à augmenter. En même temps augmente aussi la différence des températures d'air de la chambre froide (ou de la saumure). L'augmentation de la température d'évaporation provoque un accroissement de la puissance frigorifique et une absorption de la chaleur. Ainsi spontanément est établi un régime stable au niveau de la température d'évaporation plus basse.

La stabilisation du flux de liquide dans l'évaporateur signifie qu'il est installé un équilibre entre la quantité de vapeur créée dans l'évaporateur et le pouvoir d'aspiration du compresseur. Par la suite une stabilisation de la pression d'évaporation est obtenue. L'ensemble des processus indiqués entraîne la réduction de la puissance frigorifique. Cela provoque une élévation de la température dans la chambre froide (de la saumure). Mais l'élévation de température dans la chambre froide diminue les apports de chaleur dans la chambre et augmente la différence des températures de l'air de la chambre froide et d'évaporation. Cette dernière augmente la puissance frigorifique de l'installation. A la fin des processus susdits la température de la chambre froide (de la saumure) devient constante et plus haute qu'avant la diminution de l'ouverture du détendeur.

Par la suite la diminution du flux de vapeur dans le condenseur entraîne une diminution de la pression de condensation.

Donc, la diminution de l'ouverture du détendeur provoque l'augmentation de la température de la chambre froide et la diminution des pressions de condensation et d'évaporation.

Si on augmente l'ouverture du détendeur les changements des paramètres passeront inversement.

L'ouverture optimum du détendeur assure un tel flux de liquide entièrement évaporé dans l'évaporateur. Dans ce cas à la sortie de l'évaporateur la vapeur doit être saturée sèche. Ce régime permet d'utiliser l'évaporateur efficacement.

Exemple II.

Examinons l'influence du changement d'apport de chaleur dans la chambre froide. Admettons que la température de l'air extérieur diminue et par conséquent l'apport de chaleur dans la chambre froide aussi diminue. Donc le pouvoir d'absorption de chaleur de l'évaporation sera supérieur à la charge calorifique. A la suite de cette inégalité la température de la chambre froide diminue. Parallèlement la puissance frigorifique de l'installation (le rendement de l'évaporateur) décroît. A cause de l'accroissement de la différence des températures extérieures et intérieures, la charge calorifique dans la chambre froide augmente successivement. Après un certain temps un équilibre entre l'apport de chaleur dans la chambre froide et le rendement de l'évaporateur est installé. Mais la température de la chambre froide deviendra inférieure à la valeur de la température antérieure.

Ainsi le décroissement de la charge calorifique (apport de chaleur) provoque l'abaissement des températures de la chambre froide et de la température d'évaporation.

Exemple III.

Examinons l'influence de changement du débit d'eau dans le condenseur sur le régime de fonctionnement d'une installation frigorifique.

Admettons que le débit d'eau augmente, dans ce cas la quantité de chaleur dégagée du réfrigérant augmente considérablement et par conséquent l'intensité de condensation du gaz aussi augmente. A la suite la pression et conformément la température de condensation diminuent. L'eau est moins chauffée. La différence entre les températures de condensation et d'eau à la sortie du condenseur diminue. Le pouvoir d'absorption de chaleur de chaque kilogramme de réfrigérant dans l'évaporateur augmente. La température d'air dans la chambre froide diminue et s'approche à la température d'évaporation. Tous ensemble, les caractéristiques d'une installation frigorifique sont améliorés et la consommation d'énergie par le compresseur est abaissée.

Cependant il ne faut pas excessivement augmenter le débit d'eau dans le condenseur, parce que cela augmente la consommation d'énergie au niveau de la pompe à eau, qui peut dépasser l'économie d'énergie au niveau du compresseur.

III. Addition de réfrigérant

Pendant le fonctionnement de l'installation frigorifique a lieu une fuite de certaine quantité de réfrigérant par les étoupes du compresseur, par les raccords, en cas d'évacuation de l'huile et de l'air des appareils, etc. La grandeur de fuite dépend de la puissance de l'installation, du type de refroidissement, de la durée du travail et des pressions. L'insuffisance du réfrigérant complique le fonctionnement du compresseur : a) surchauffage excessif de la vapeur comprimée; b) danger d'endommagement des clapets; c) détérioration de l'étanchéité des étoupes. C'est pourquoi il faut ajouter le complément de réfrigérant suffisant pour éliminer les défauts indiqués.

Pour les systèmes de refroidissement direct la perte de réfrigérant ne doit pas dépasser 2,5 à 3 kg par an, référée à chaque 1 000 kcal de puissance frigorifique d'une installation.

Pour les systèmes de refroidissement à saumure - 1 à 1,6 kg par an à chaque 1 000 kcal.

Le schéma d'addition de réfrigérant

Pour remplir le système en réfrigérant il faut que la bouteille du gaz soit liée au tube de remplissage. Ce tube est muni d'un clapet et placé au côté basse pression. La liaison entre le tube de remplissage et la bouteille est

exécutée à l'aide d'un boyau de diamètre 6 - 8 mm et des écrous. La bouteille doit être inclinée la tête en bas.

En ouvrant les clapets sur la bouteille, le boyau de réfrigérant entre dans le système. Quand les pressions dans le système et dans la bouteille deviennent égales il faut fermer le détendeur sur la ligne de liquide et mettre en marche le compresseur. La pression dans l'évaporateur diminue à la suite duquel le réfrigérant est aspiré dans le système. Pendant ce procédé le condenseur doit être refroidi par l'eau (air) d'une manière intense. Il est formellement interdit de chauffer la bouteille du gaz. Au cours du remplissage on doit prendre les précautions suivantes : tenir prêt des masques à gaz et porter des gants en caoutchouc pour éviter les brûlures lorsque l'on travaille avec de l'ammoniac. La bouteille doit être pesée avant et après le remplissage et la quantité du gaz doit être enregistrée après la charge.

IV. Evacuation d'air du système

En général l'air doit être évacué du système par le condenseur à l'aide d'un séparateur d'air. Si le système n'est pas muni de séparateur d'air, l'air est évacué par un manchon spécial qui est disposé sur le condenseur et muni d'un clapet.

Avant l'évacuation de l'air le compresseur est arrêté. Pendant une heure il faut circuler l'eau (l'air) à travers le condenseur. Ensuite il faut joindre un tube flexible au manchon d'air et ouvrir le clapet. L'autre bout du tube est mis dans un seau contenant de l'eau. En ouvrant le clapet de l'air on peut observer les bulles d'air sortant du condenseur. En cas d'ammoniac à la fin d'évacuation d'air l'eau commence à être chauffée. Cela signifie que l'air est sorti entièrement.

Dès que l'eau commence à chauffer il faut fermer le clapet, pour éviter la perte d'ammoniac (l'eau est chauffée à cause de la réaction avec l'ammoniac).

A part la description de l'équipement frigorifique les élèves doivent donner les descriptions et les caractéristiques des appareils de mesure.

Travail pratique No 3

Epreuve d'installation frigorifique à fréon

Ce travail pratique a pour but de :

1. Mettre en oeuvre l'expérience acquise du démarrage, de stoppage et de régulation du régime d'installation frigorifique (compte tenu aussi du travail pratique No 2).
2. Déterminer les caractéristiques des équipements d'après les mesures (voir travail pratique No 2).
3. Calculer et déterminer les caractéristiques frigorifiques de l'ensemble de l'installation.

Avant de commencer à faire ce travail, les élèves doivent étudier et exécuter les travaux pratiques No 1 et No 2.

Description de l'installation :

Le schéma de l'installation frigorifique à fréon est représenté sur la figure 1. L'installation est composée : d'un compresseur à deux pistons verticaux, d'un moteur électrique lié avec le compresseur par courroie, d'un condenseur à air avec le ventilateur, d'un évaporateur à air avec le ventilateur, d'un réservoir de réfrigérant liquide, d'un échangeur de chaleur, d'un détendeur thermostatique, d'un séparateur de l'huile, d'un séparateur de liquide, d'un filtre-déshydrateur et des tuyauteries avec les robinets.

L'installation est munie de thermomètres, manomètres et autres accessoires pour exécuter les mesures et épreuves.

SCHEMA D'INSTALLATION FRIGORIFIQUE

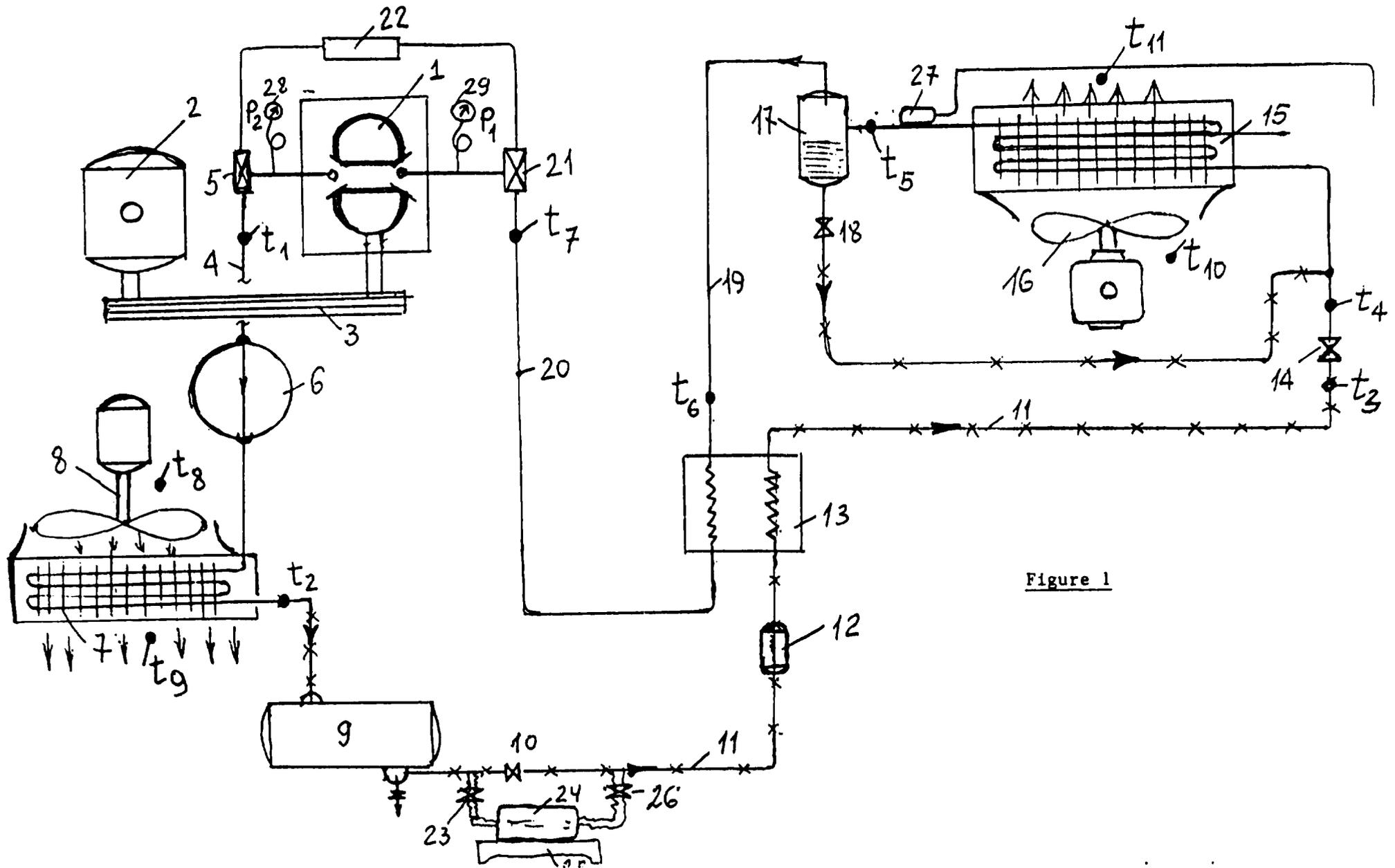


Figure 1

- 1 - Compresseur;
- 2 - Moteur électrique;
- 3 - Entraînement par courroie;
- 4 - Conduite de refoulement;
- 5 - Robinet de refoulement;
- 6 - Séparateur de l'huile;
- 7 - Condenseur à air;
- 8 - Ventilateur avec le moteur;
- 9 - Bouteille (recevoir) de réfrigérant liquide;
- 10 - Robinet de liquide;
- 11 - Ligne de liquide;
- 12 - Filtre-déshydrateur;
- 13 - Echangeur de chaleur;
- 14 - Détendeur thermostatique;
- 15 - Evaporateur de liquide;
- 16 - Ventilateur avec le moteur;
- 17 - Séparateur de liquide;
- 18 - Clapet à liquide;
- 19 - Conduite de vapeur;
- 20 - Ligne d'aspiration;
- 21 - Robinet d'aspiration;
- 22 - Robinet à pression constante;
- 23, 26 - Robinets de liquide;
- 24 - Bouteille de liquide de mesurage du débit (peut être remplacée par un débit-mètre);
- 25 - Balance;
- 27 - Bulbe de réfrigérant;
- 28, 29 - Manomètres de refoulement et d'aspiration.

Principe de fonctionnement :

Le compresseur (1) comprime la vapeur du fréon - 12 (CF_2Cl , nommé R-12) de la pression d'aspiration $-P_0$, jusqu'à la pression de refoulement, qui correspond à la pression de condensation. Le gaz comprimé part à travers le séparateur de l'huile (6) où il est séparé des gouttelettes de l'huile. Ensuite le gaz entre dans le condenseur (7). Ici il est refroidi par l'air, refoulé par le ventilateur (8) et par la suite il est condensé (transformé en liquide) à cause du dégagement de la chaleur de condensation $-Q_c$. Le liquide de fréon se collecte dans le réservoir (9) et puis passe par le filtre-déshydrateur (12) où il est privé d'humidité. Dans l'échangeur (13) le liquide est sous-refroidi et la vapeur venant par la conduite (19) est surchauffée. Cet échange de chaleur augmente l'efficacité de l'installation et diminue le risque de la pénétration du liquide dans le compresseur. Le liquide sous-refroidi dans le détendeur thermostatique (14) est étranglé. A la suite de l'étranglement, la pression du liquide égale à la P_{cond} diminue jusqu'à la pression d'évaporation $-P_0$. Outre cela, le détendeur thermostatique contrôle automatiquement la quantité de liquide passant dans l'évaporateur (15).

Dans l'évaporateur (15) le liquide absorbe la chaleur de l'air circulant dans l'évaporateur à l'aide du ventilateur (16). Par conséquent l'air est refroidi et le liquide est évaporé. La vapeur saturée entre dans le séparateur de liquide (17) où les gouttelettes tombent dans la bouteille et la vapeur sèche par les conduites 19 et 29 est aspirée dans le compresseur à travers l'échangeur (12).

Il est interdit de démarrer ou de stopper l'installation sans observation des professeurs !

Démarrage de l'installation :

- a) Ouvrir le robinet de liquide - 10 et fermer les robinets 23, 26.
- b) Ouvrir le robinet de refoulement - 5.
- c) Mettre en marche le ventilateur - 8 du condenseur - 7.
- d) Mettre en marche le moteur - 2 du compresseur - 1.
- e) Ouvrir successivement le robinet d'aspiration - 21.
- f) Régler le détendeur thermostatique - 14 selon la température correspondante à la pression d'évaporation demandée.
- g) Vérifier la présence et les dispositions correctes des thermomètres et manomètres (voir travail pratique No 2).

Exécution du travail :

1. Vérifier que le compresseur marche normalement et installer un régime stable de fonctionnement, c'est-à-dire les pressions dans le condenseur et l'évaporateur sont constantes.
2. Enregistrer les indications des manomètres, des thermomètres et wattmètres. Les mesures sont exécutées chaque 10 min, pendant 1 h 05 min.
3. Mesurer le débit de réfrigérant liquide à l'aide du débit mètre (23, 24, 25, 26 sur le schéma).
4. Mesurer les débits d'air aux sorties du condenseur et de l'évaporateur à l'aide d'anémomètre.

Les indications de tous les appareils de mesure doivent être enregistrées dans le tableau suivant :

Tableau des mesures

No	Dénomination	Dési- gnation	Unité	Mesures				Valeur moyenne
				I	II	III	IV	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	L'heure de mesure	τ						
2.	Pression d'aspiration	P_1	P_a					$P_{1.m} = \frac{\sum^n P_1}{n}$
3.	Pression de refoulement	P_2	P_a					$P_{2.m}$
4.	Température de vapeur de R-12 dans la conduite d'aspiration	t_7	$^{\circ}C$					$t_{7.m} = \frac{\sum^n t_7}{n}$
5.	Température de vapeur de R-12 dans la conduite de refoulement	t_1	$^{\circ}C$					$t_{1.m}$
6.	Température de liquide à la sortie du condenseur	t_2	$^{\circ}C$					$t_{2.m}$
7.	Température de liquide avant le détendeur	t_3	$^{\circ}C$					$t_{3.m}$
8.	Température du fréon avant l'évaporateur	t_4	$^{\circ}C$					$t_{4.m}$
9.	Température de vapeur à la sortie d'évaporateur	t_5	$^{\circ}C$					$t_{5.m}$
10.	Température de vapeur sèche avant l'échangeur	t_6	$^{\circ}C$					$t_{6.m}$
11.	Débit de liquide R-12	G_f	kg/s					$G_{f.m}$
12.	Température d'air avant l'évaporateur	t_8	$^{\circ}C$					$t_{8.m}$
13.	Température d'air refroidi à la sortie d'évaporateur	t_9	$^{\circ}C$					$t_{9.m}$
14.	Vitesse d'air à la sortie d'évaporateur	W_e	m/s					$W_{e.m}$
15.	Surface de section	F_e	m^2					F_e
16.	Débit massique d'air traversant l'évaporateur	$G_{a.e}$	kg/s					$G_{a.e.m}$

Tableau des mesures (suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17.	Température d'air avant le condenseur	t_{10}	°C					$t_{10.m}$
18.	Température d'air à la sortie du condenseur	t_{11}	°C					$t_{11.m}$
19.	Vitesse d'air à la sortie du condenseur	W_c	m/s					$W_{c.m}$
20.	Surface de section du condenseur	F_c	m ²					$F_{c.m}$
21.	Débit massique d'air traversant le condenseur	$G_{a.c}$	kg/s					$G_{a.c.m}$
22.	Indication d'ampèremètre	I	A					
23.	Indication du voltmètre	U	V					
24.	Puissance électrique consommée par l'installation	N	W					
25.	Humidité relative d'air à l'entrée de l'évaporateur	$\varphi_{e.a}$	%					$\varphi_{e.a.m}$
26.	Humidité relative d'air à la sortie de l'évaporateur	$\varphi_{e.s}$	%					$\varphi_{e.s.m}$
27.	Humidité relative d'air à l'entrée du condenseur	$\varphi_{c.a}$	%					$\varphi_{c.a.m}$
28.	Humidité relative à la sortie du condenseur	$\varphi_{c.s}$	%					$\varphi_{c.s.m}$

Après avoir enregistré les indications des appareils de mesure dans le tableau il faut arrêter le moteur du compresseur dans l'ordre suivant :

- a) Fermer le robinet de liquide - 10 et le robinet d'aspiration - 21;
- b) Débrancher le moteur du compresseur;
- c) Fermer le robinet de refoulement - 5;
- d) Arrêter les moteurs des ventilateurs du condenseur et de l'évaporateur.

Détermination des caractéristiques
frigorifiques et énergétiques de l'installation

1. Dessiner le schéma principal de l'installation frigorifique en montrant les dispositions de tous les appareils de mesure. Donner l'explication brève du fonctionnement de chaque équipement de l'ensemble de l'installation.
2. Calculer les valeurs moyennes de chaque paramètre mesuré et enregistrer dans le tableau des mesures (colonne 9).
3. D'après les données des mesures, tracer les diagrammes de changement des paramètres pendant l'épreuve de l'installation comme on a montré sur les figures 2 et 3. Analyser les diagrammes figure 1 et figure 2.
4. A l'aide des valeurs moyennes des paramètres P_0 (pression d'évaporation) et P_c (pression de condensation) et des températures t_1 ; t_2 ; t_3 ; t_4 ; t_5 ; t_6 et t_7 , tracer le cycle frigorifique sur le diagramme de réfrigérant correspondant (à la manière de la figure 4).

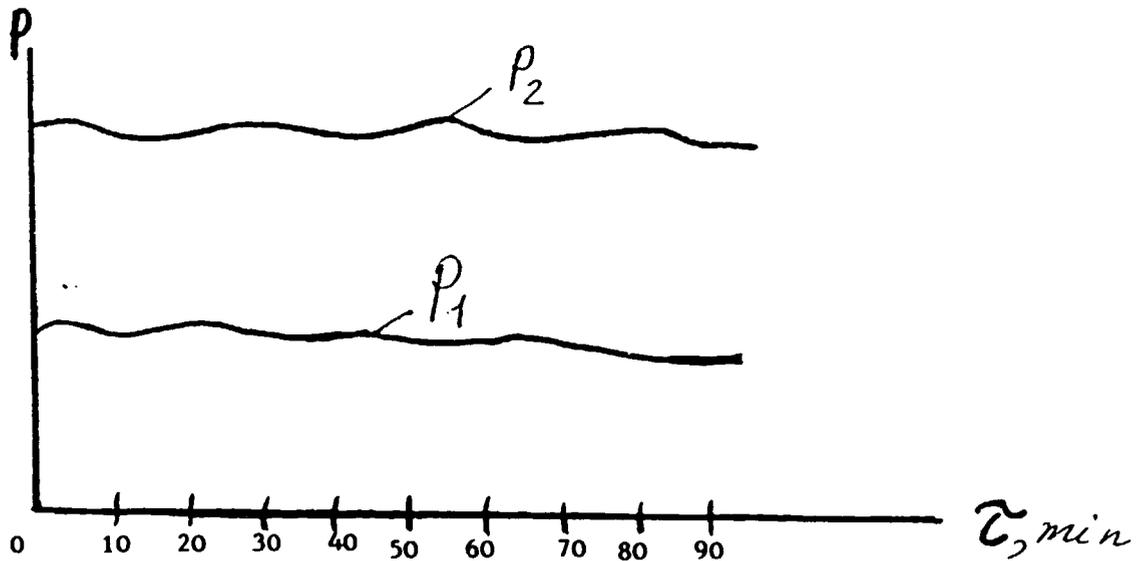


Figure 2 : Diagrammes de changement des valeurs des pressions d'aspiration - P_1 et de refoulement - P_2

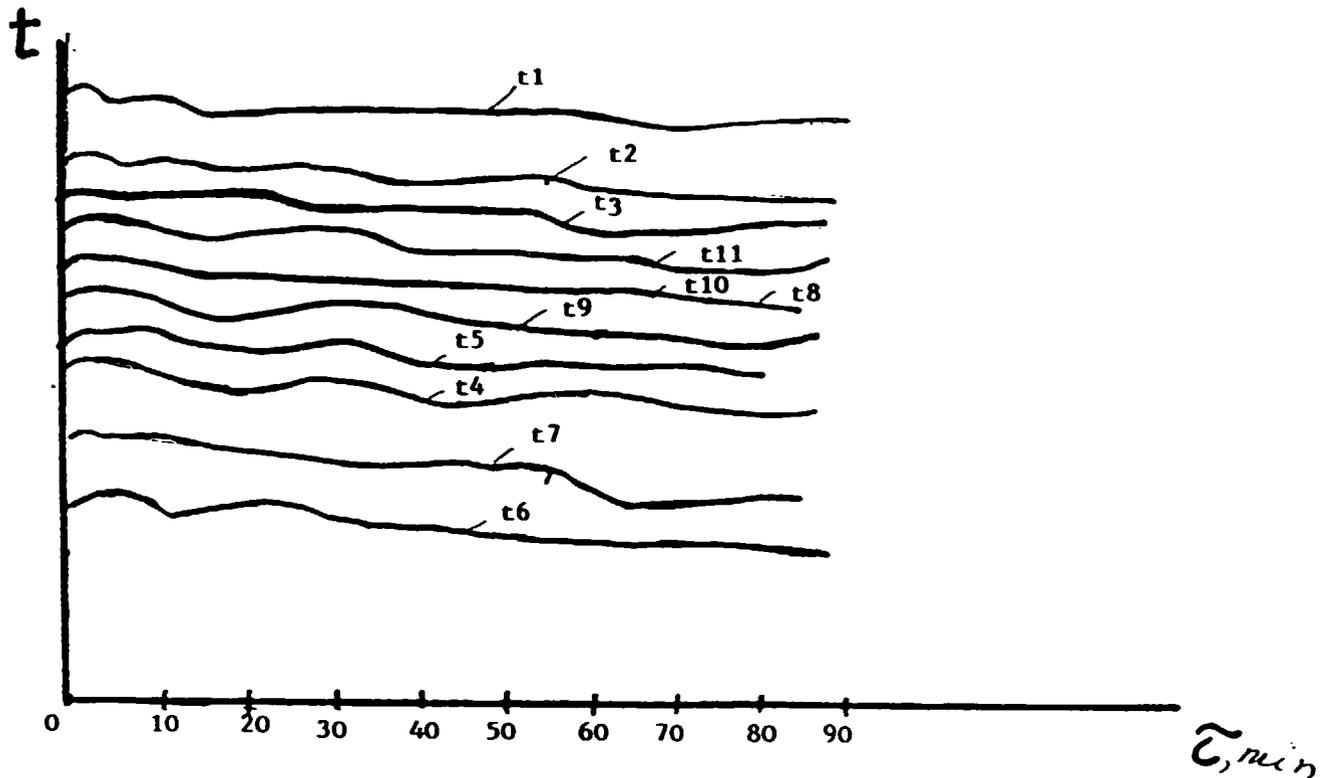


Figure 3 : Diagrammes de changement des valeurs des températures dans les différents équipements de l'installation

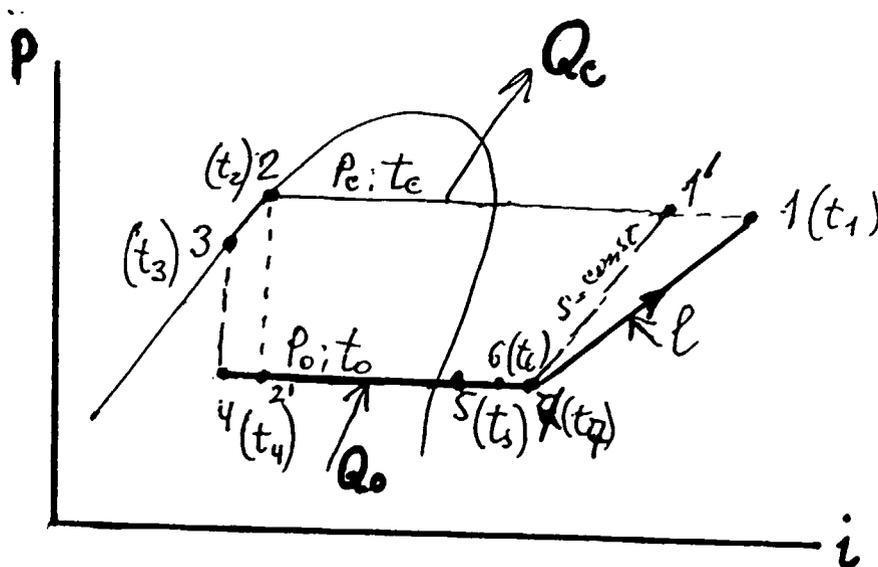


Figure 4 : Cycle thermodynamique de la machine frigorifique

5. Déterminer la puissance frigorifique de l'évaporateur, qui est égale à la quantité de chaleur dégagée d'air refroidi dans l'évaporateur, par la formule suivante :

$$Q_{0,\text{air}} = G_{a,e} (i_{e,a} - i_{e,s}) , \text{ kW}$$

Les enthalpies d'air à l'entrée ($i_{e,a}$) et à la sortie ($i_{e,s}$) de l'évaporateur sont déterminées à l'aide du diagramme psychrométrique i-d. Pour ce but il faut marquer les points des états de l'air avant et après l'évaporateur sur le diagramme i-d, en utilisant les paramètres $A(t_{8,m}; \varphi_{e,a,m})$ et $S(t_{9,m}; \varphi_{e,s,m})$. Les enthalpies $i_{e,a}$ et $i_{e,s}$ sont prises à l'aide des points A et S, comme il est montré sur la figure 5.

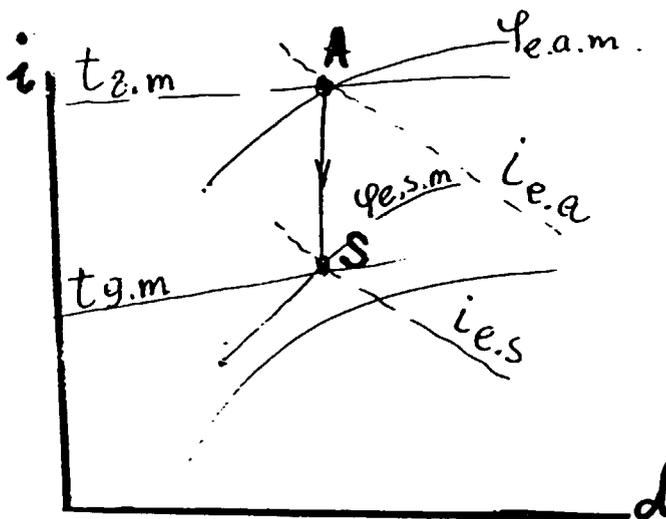


Figure 5 : A - S Processus de refroidissement d'air dans l'évaporateur

Les humidités relatives de l'air sont mesurées à l'aide d'un psychromètre d'Assmane.

6. Déterminer la puissance frigorifique de l'évaporateur à l'aide du diagramme $i - P$ de réfrigérant (figure 4) par la formule suivante :

$$Q_{o.r} = G_f (i_5 - i_4) , \text{ kW}$$

7. Comparer les valeurs $Q_{o.air}$ et $Q_{o.r}$. Si les mesures sont réalisées correctement la différence entre eux ne doit pas dépasser 5 - 7 % :

$$\frac{Q_{o.air} - Q_{o.r}}{Q_{o.air}} \leq 7 \%$$

8. Calculer la valeur moyenne de la puissance frigorifique de l'évaporateur comme suit :

$$Q_{o.m} = \frac{Q_{o.air} + Q_{o.r}}{2}$$

9. Calculer le débit moyen de réfrigérant par la formule suivante :

$$G_{f.m} = \frac{Q_{o.m}}{i_5 - i_4} , \text{ kg/S}$$

10. Déterminer la puissance électrique, consommée par le compresseur - N_c :

$$N_c = G_{f.m} (i_1 - i_7) , \text{ kW}$$

i_1 et i_7 sont prises du diagramme $i - P$.

11. Calculer la charge thermique sur le condenseur par la formule suivante (la chaleur absorbée par l'air traversant le condenseur) :

$$Q_c = G_{a.c} (i_{c.s} - i_{c.a}) , \text{ kW}$$

Les enthalpies de l'air avant ($i_{c.a}$) et à la sortie ($i_{c.s}$) du condenseur sont déterminées à l'aide du diagramme psychrométrique ayant en vue les paramètres de l'air (t_{11} ; $\varphi_{c.s}$) et (t_{10} ; $\varphi_{c.a}$), mesurées préliminairement.

12. Calculer la charge thermique sur le condenseur à l'aide du diagramme $i - P$ du réfrigérant par la formule suivante :

$$Q_{c.r} = G_{f.m} (i_1 - i_2) , \text{ kW}$$

13. Comparer les valeurs Q_c et $Q_{c.r}$.
14. Déterminer la charge thermique sur l'échangeur de chaleur par les formules :

$$Q_{e.ch} = G_{f.m} : (i_2 - i_3) , \text{ kW}$$

ou $Q_{e.ch} = G_{f.m} : (i_7 - i_6) , \text{ kW}$

15. Former le bilan thermique (énergétique) de l'installation frigorifique :

$$Q_c = N_c + Q_{o.m} , \text{ kW}$$

16. Déterminer la consommation totale de la puissance électrique par l'installation

$$N_t = U \cdot I , \text{ kW}$$

(U et I - indications moyennes du voltmètre et de l'ampèremètre).

17. Déterminer la puissance totale absorbée par les moteurs des ventilateurs, de l'évaporateur et du condenseur :

$$\sum N_v = N_t - N_c , \text{ kW}$$

18. Calculer le coefficient de production frigorifique de l'installation :

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{o.m}}{N_c}$$

19. Calculer le rendement frigorifique spécifique pour chaque kW d'énergie consommée :

$$\eta = \frac{Q_{o.m}}{N_t}$$

20. Déterminer le volume de gaz déplacé par le compresseur (débit volumique du compresseur) :

$$V_c = G_f \cdot v_7 , \text{ m}^3/\text{S}$$

où v_7 - volume spécifique du gaz aspiré par le compresseur, m^3/kg est déterminé sur le diagramme $i - P$, pour le point "7".

21. Déterminer le volume de gaz déplacé par le compresseur (débit volumique) théoriquement - $V_{c.t}$, et comparer avec la même grandeur, déterminée par l'épreuve (art. 20).

Le débit volumique du compresseur est calculé par l'expression suivante :

$$V_{e.t} = \lambda \cdot V_h$$

où λ - rendement volumétrique du compresseur

V_h - volume balayé par les pistons du compresseur, m^3/S .

La valeur de V_h ne dépend pas du régime (des paramètres) de fonctionnement de l'installation frigorifique. Elle est marquée sur le compresseur en fonction de la vitesse de rotation de la poulie.

Le rendement volumétrique λ est conditionné par les paramètres de fonctionnement du compresseur (P_o et P_c) et peut être déterminé par la formule :

$$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_w \cdot \lambda_f$$

Pour déterminer la valeur du rendement volumétrique indicatif - λ_i on peut le calculer par la formule suivante :

$$\lambda_i = \frac{P_o - \Delta P_o}{P_o} - \bar{c} \left[\frac{P_c + \Delta P_c}{P_c} - \frac{P_o - \Delta P_o}{P_o} \right]$$

ΔP_o - perte de pression dans les soupapes d'aspiration. On peut prendre $\Delta P_o = 0,3$ bar.

ΔP_c - perte de pression dans les soupapes de refoulement; peut être pris $\Delta P_c = 0,5$ bar.

\bar{c} - volume mort spécifique, peut être pris égal à 0,06 (6 %).

Le rendement volumétrique d'échauffement des cylindres λ_w est calculé par le rapport :

$$\lambda_w = \frac{T_{o.m}}{T_{c.m}} ; T_{o.m} = t_{o.m} + 273; T_{c.m} = t_{c.m} + 273$$

Le coefficient tenant compte des fuites du gaz est pris égal à 0,95 - 0,97.

Le changement du régime de fonctionnement du compresseur fait varier la valeur du rendement volumétrique λ .

22. Calculer le débit massique du compresseur et comparer avec ses valeurs déterminées préliminairement (art. 9) par la formule :

$$G'_f = V_{c.t} / v_7 \quad , \quad \text{kg/S}$$

23. Déterminer la puissance frigorifique d'après la caractéristique du compresseur :

$$Q'_o = G'_f (i_5 - i_4) \quad , \quad \text{kW}$$

Comparer Q'_o avec $Q_{o.air}$ et $Q_{o.r.}$

24. Déterminer le taux de compression du gaz :

$$\sigma = \frac{P_{c.m}}{P_{o.m}}$$

Si $\sigma \geq 8 - 9$ il est indispensable d'utiliser l'installation frigorifique à deux étages.

25. Déterminer le taux de perfection thermodynamique de l'installation d'après l'expression :

$$T = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_c}$$

Le coefficient de productivité frigorifique du cycle de Carnot est déterminé par la formule :

$$\mathcal{E}_c = \frac{T_{o.m}}{T_{c.m} - T_{o.m}}$$

Si $T \leq 0,5$ il faut améliorer la construction de l'installation pour augmenter son efficacité énergétique.

Dans le rapport les élèves donnent les propositions d'augmentation de l'efficacité.

Travail pratique No 4

Les règles principales de montage d'une installation frigorifique

Ce travail a pour but d'enseigner aux élèves de réaliser le montage des installations frigorifiques.

Montage des conduites

En dépendance du type et diamètre des conduites, elles peuvent être reliées l'une avec l'autre à l'aide des brides, du soudage, laminage et à vis. Les conduites de cuivre jusqu'à 20 mm de diamètre peuvent être reliées à l'aide du laminage. Si le diamètre dépasse 20 mm, on peut faire la liaison par soudage en utilisant un produit de brasage dur dont le degré de fusion est égal à 550°C. Les brasures dont le degré de fusion est 250°C sont utilisés pour le soudage des conduites de cuivre aux diamètres inférieurs à 15 mm. Il est interdit de monter les conduites de réfrigérant dans les couloirs, cages d'escalier en cas de présence des jonctions. Les conduites doivent être montées parallèlement aux murs et éviter les coudes autant que possible.

Les conduites doivent être suspendues au plafond ou aux murs à l'aide des fixateurs ou des supports.

La distance entre les fixateurs ne doit pas dépasser 3 m. Les robinets sur les conduites aux diamètres supérieurs à 25 mm doivent être posés sur les supports. Les conduites verticales doivent être supportées à l'aide des fixateurs suspendus au plafond ou posées sur le plancher.

Si la conduite traverse les murs, le plafond ou le plancher, il faut placer les douilles des tubes dans les trous.

En tout cas la pose des conduites doit être réalisée de telle façon pour répondre aux demandes suivantes :

- a) Alimentation en réfrigérant d'une quantité nécessaire pour l'évaporateur;
- b) Retour de l'huile dans le carter du compresseur;
- c) Prévention d'une grande perte de charge (perte pression) dans les conduites;

- d) Prévention de la pénétration de liquide dans le compresseur;
- e) Prévention de l'arrêt de l'huile dans l'évaporateur ou les conduites d'aspiration.

Construction de la conduite d'aspiration

La conduite d'aspiration doit être disposée d'une manière ne permettant pas la pénétration de liquide ou de l'huile dans le compresseur en cas de fonctionnement ou d'arrêt. Pendant l'arrêt du compresseur le détendeur thermostatique souvent ne se ferme pas et le liquide s'abonde dans l'évaporateur. Par la suite quand le compresseur est démarré le liquide déborde la conduite d'aspiration et ensuite il entre dans le compresseur. C'est pourquoi en cas de disposition de l'évaporateur au-dessus du compresseur la conduite d'aspiration doit être plus haute que le thermoballon du détendeur thermostatique pour que le liquide ne pénètre pas dans le compresseur pendant son arrêt (voir figure 1).

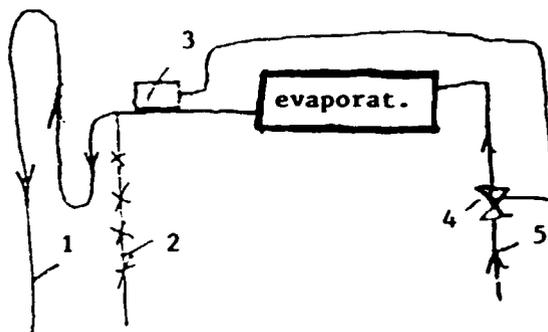


Figure 1

- 1 - Conduite d'aspiration avec tronçon de levage (attrape de liquide)
- 2 - Conduite d'aspiration sans tronçon de levage
- 3 - Thermoballon
- 4 - Détendeur thermostatique
- 5 - Conduite de liquide

En cas de fonctionnement du compresseur dans le régime basse pression du carter le tronçon d'attrape du liquide n'est pas nécessaire. Ce régime est préférable pour le retour de l'huile de l'évaporateur dans le carter.

Quand l'évaporateur se trouve au-dessous du compresseur le tronçon d'attrape est fait comme il est montré sur la figure 2.

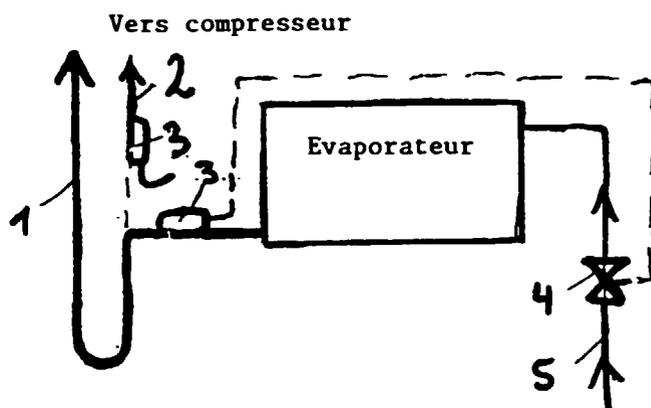


Figure 2

- 1 - Conduite d'aspiration avec tronçon de levage (attrape de liquide)
- 2 - Conduite d'aspiration sans levage
- 3 - Thermoballon
- 4 - Détendeur
- 5 - Conduite de liquide

Pour attraper et évaporer le liquide pénétrant dans la conduite d'aspiration il faut installer aussi un échangeur de chaleur. Dans cet appareil le liquide est évaporé en absorbant la chaleur du gaz refoulé.

Les tronçons horizontaux de conduite d'aspiration doivent avoir une pente vers le compresseur pour alléger le déplacement de l'huile vers le carter.

Les diamètres des tronçons verticaux de la conduite d'aspiration doivent être inférieurs aux diamètres des tronçons horizontaux pour assurer le déplacement de l'huile en cas de diminution de charge frigorifique. Le raccordement des tronçons verticaux et horizontaux est montré par la figure 3.

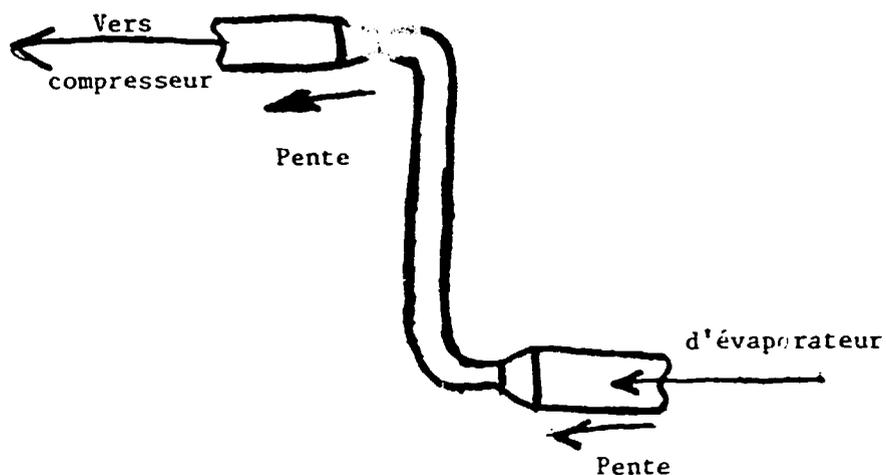


Figure 3

En cas de plusieurs évaporateurs disposés parallèlement il faut utiliser les conduites d'aspirations individuelles, liées avec le collecteur horizontal comme on a montré sur la figure 4.

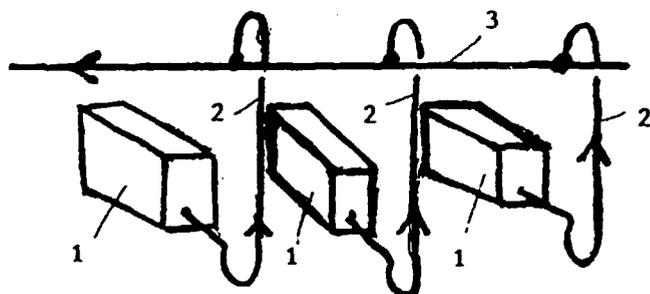


Figure 4

- 1 - Evaporateurs
- 2 - Conduites verticales d'aspiration individuelles
- 3 - Collecteur horizontal d'aspiration

Si la série des évaporateurs est rangée aux différents niveaux le raccordement des conduites d'aspiration doit être réalisé comme sur la figure 5.

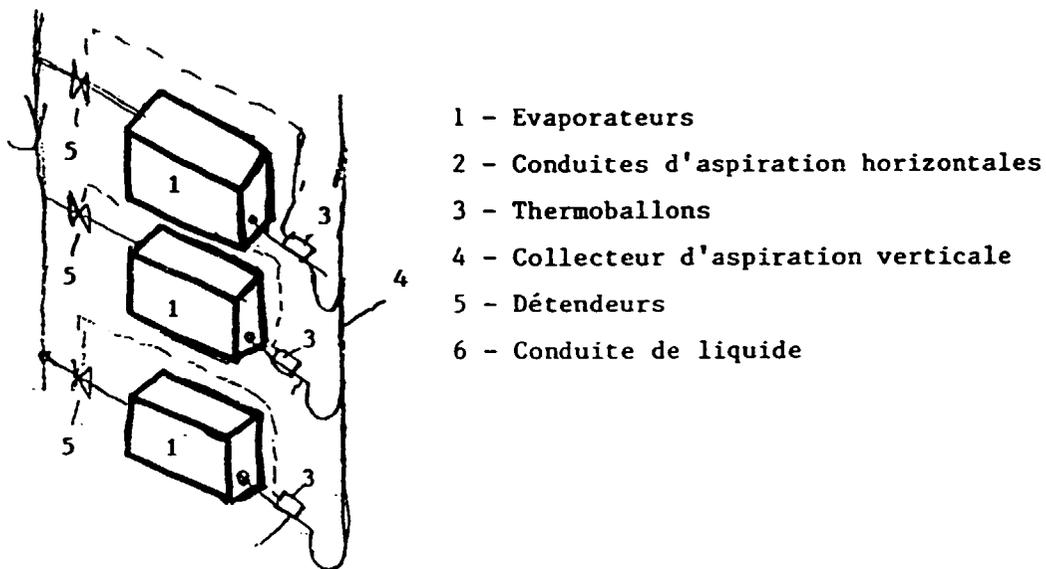


Figure 5

Le raccordement du collecteur d'aspiration avec une série des compresseurs est représenté sur la figure 6.

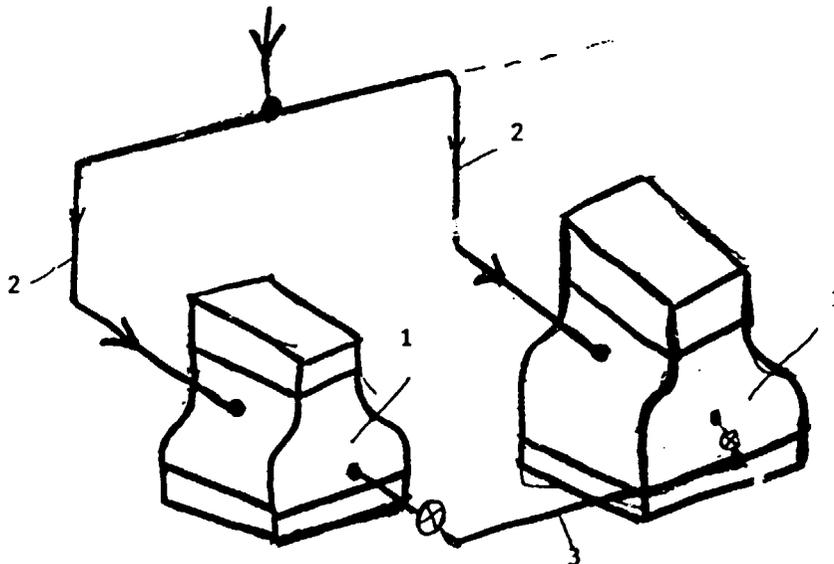


Figure 6

- 1 - Compresseurs
- 2 - Conduites d'aspiration
- 3 - Conduite d'égalisation des pressions dans les carters

Construction de la conduite de refoulement

Les tronçons horizontaux de conduite de refoulement doivent avoir des pentes vers le condenseur (à la direction de déplacement du gaz) afin que l'huile sortant du compresseur puisse se déplacer dans le condenseur. Quand le compresseur ne fonctionne pas l'huile étant collée sur la surface intérieure de conduite de refoulement verticale s'égoutte dans le compresseur. Si la hauteur de la conduite dépasse 2 - 3 m, la quantité de cette huile est significative pour endommager le compresseur. Pour éviter ce danger, il faut construire une boucle dans la partie inférieure de la conduite de refoulement. Dans cette boucle se collecte aussi le liquide réfrigérant qui est condensé pendant l'arrêt de l'installation. Les boucles doivent être prévues par chaque 7,5 m de conduite verticale de refoulement. La boucle se présente entre le raccordement des deux coudes à 90° et doit avoir une hauteur de 0,5 m (voir figure 7). En cas de présence du séparateur de l'huile on n'a pas besoin des boucles, parce que l'huile s'écoule dans le séparateur. Au point culminant de la conduite de refoulement ou du condenseur, il faut placer le robinet d'évacuation d'air du système.

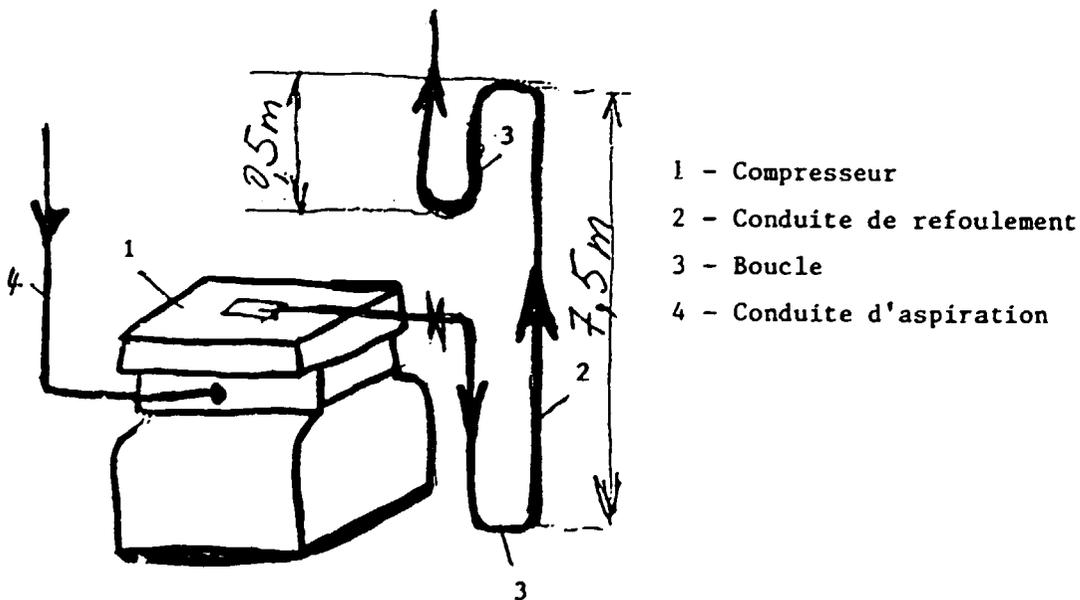


Figure 7

En cas d'une installation de plusieurs compresseurs en parallèle, la conduite de refoulement doit être montée de sorte que l'huile sortant d'un compresseur ne pénètre pas dans l'autre qui se trouve en arrêt. Pour ce but les conduites de refoulement de chaque compresseur sont liées avec le collecteur de refoulement au niveau du plancher, comme montré sur la figure 8. Dans ce cas l'huile reste dans le collecteur et ne monte pas dans le compresseur.

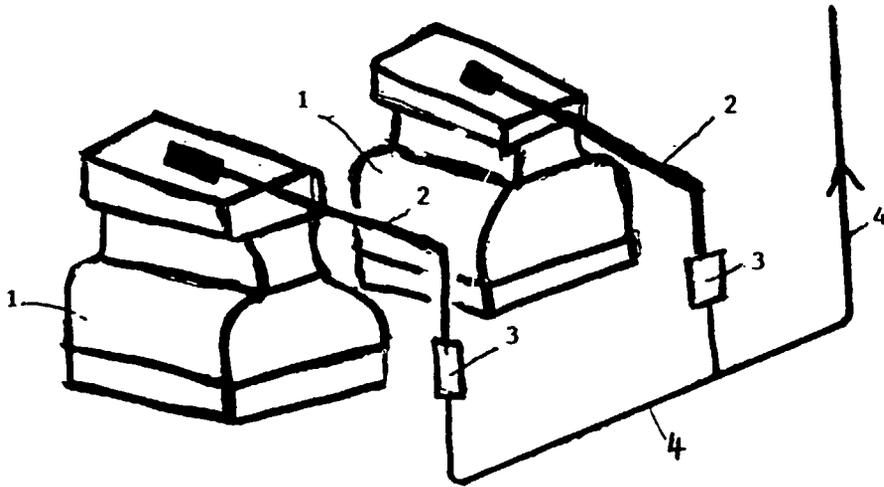
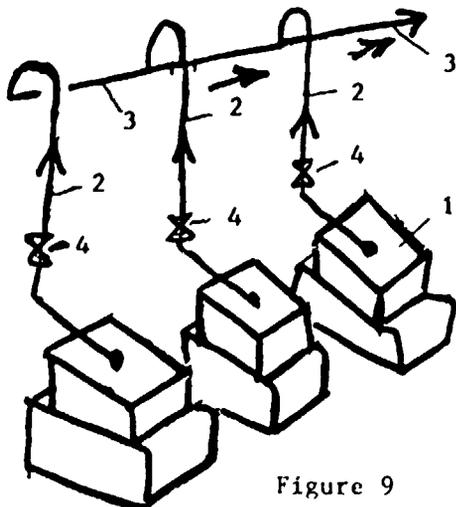


Figure 8

- 1 - Compresseurs
- 2 - Conduites de refoulement
- 3 - Silencieux
- 4 - Collecteur de refoulement

Si le collecteur de refoulement est disposé au-dessus des compresseurs les conduites de refoulement des compresseurs doivent être liées avec le collecteur en descendant de haut (voir figure 9). Dans ce cas l'huile se trouvant dans le collecteur ne coule pas dans les compresseurs.



- 1 - Compresseurs
- 2 - Conduites de refoulement
- 3 - Collecteur de refoulement
- 4 - Robinets de refoulement

Figure 9

Construction de la conduite de réfrigérant liquide

Dans la conduite du liquide l'huile se déplace avec le liquide facilement vers l'évaporateur. Pour prévenir l'évaporation du liquide qui diminue la productivité de fonctionnement du détendeur, il faut garder une pression supérieure à la pression de saturation du liquide. Pour ce but, il est nécessaire de refroidir le liquide après le condenseur au moins 5°C à l'aide de l'échangeur de chaleur ou du sous-refroidisseur monté sur la ligne liquide. Le degré du sous-refroidissement du liquide doit correspondre à la perte de pression dans la conduite à cause du frottement et du déplacement vertical du liquide. La perte de pression statique dans les tronçons verticaux est déterminée par la formule :

$$\Delta P_v = \rho g H, P_a$$

où : ρ - densité de liquide, kg/m³;

H - distance verticale de déplacement du liquide (longueur de la conduite verticale), m;

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot \sqrt{\text{N/kg}}$$

La perte de pression à cause du frottement peut-être déterminée par les tables spéciales ou bien par la formule suivante

$$\Delta P_f = \lambda \frac{\rho W^2}{2} \cdot \frac{l}{d}, P_a$$

où : λ - coefficient de perte de charge linéaire;

ρ - densité du liquide (ou du gaz);

W - vitesse de déplacement du liquide, m/s;

l - longueur de la conduite, m;

d - diamètre de conduite, m.

Pour déterminer le degré de sous-refroidissement du liquide il faut exécuter les procédés suivants :

1. Tracer le processus de condensation du réfrigérant sur le diagramme $i - l_p$, d'après la pression P correspondant à la température de condensation t_c (droite 1-2 figure 10).

2. Calculer la perte de pression totale ΔP :

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_v, P_a.$$

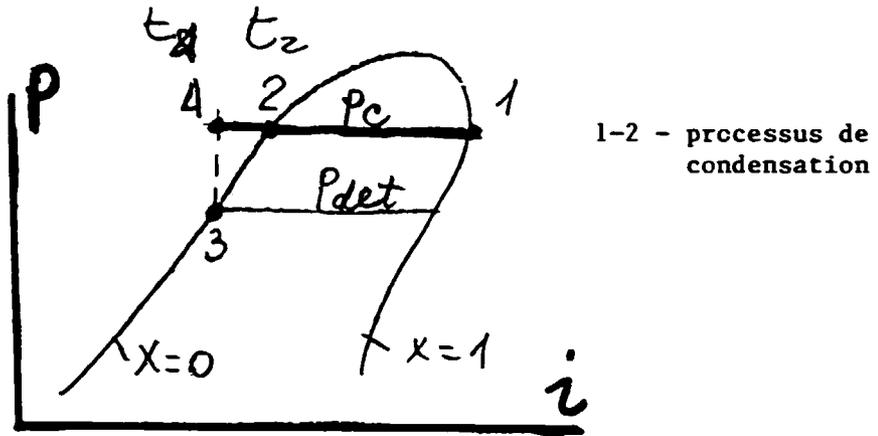


Figure 10

3. Déterminer la pression du liquide devant le détendeur par l'expression suivante :

$$P_{det} = P_c - \Delta P, P_a$$

4. Marquer l'état de liquide saturé devant le détendeur par le point "3" (figure 10), à l'aide d'intersection de courbe $X = 0$ avec la droite P_{det} .
5. Tracer une droite verticale par $i = \text{const}$ de point "3", jusqu'à l'intersection avec la ligne "1-2". Point d'intersection "4" soit l'état demandé du liquide devant le détendeur.
6. Déterminer le degré de sous-refroidissement du liquide dans l'échangeur de chaleur - $\Delta t_{s.r}$

$$\Delta t_{s.r} = t_2 - t_4$$

Si on ne peut pas atteindre la valeur $\Delta t_{s.r}$ à l'aide de l'échangeur de chaleur il faut ajouter aussi un sous-refroidisseur à eau.

Construction de la conduite de communication du condenseur avec la bouteille liquide

La bouteille liquide sert à garder le niveau constant du liquide dans le condenseur et en même temps à assurer une réserve de liquide dans l'installation. La bouteille est placée sous le condenseur et reliée avec ce dernier à l'aide d'une conduite d'égalisation des pressions. L'égalisation des pressions est nécessaire pour assurer la descente du liquide du condenseur vers la bouteille. La hauteur entre le niveau du liquide dans la bouteille et le raccordement de la conduite avec le condenseur doit être supérieure à 300 mm. Toutes les conduites horizontales doivent avoir les pentes vers la bouteille (20 mm sur chaque 1 m). Sur la figure 11 on a montré le schéma de liaison du condenseur avec la bouteille de liquide.

Sur la figure 12 est montré le schéma de disposition des conduites en cas de deux condenseurs parallèles.

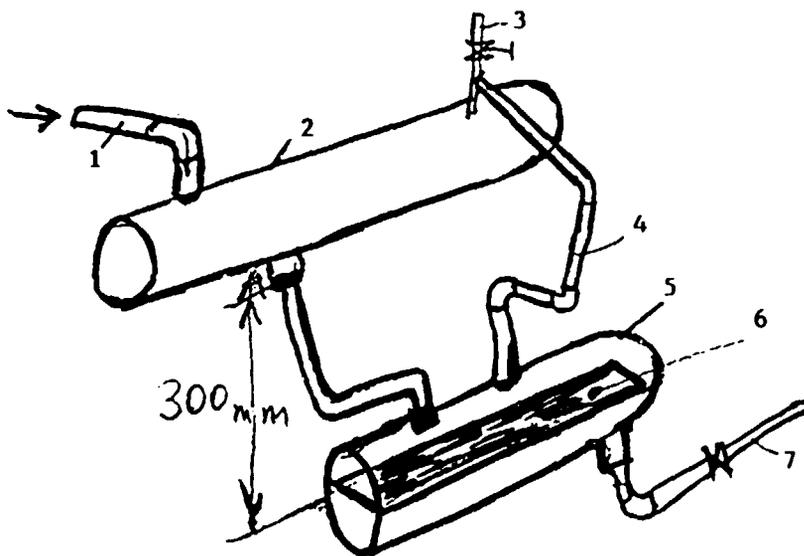


Figure 11

- 1 - Conduite de vapeur
- 2 - Condenseur
- 3 - Robinet d'évacuation d'air
- 4 - Conduite d'égalisation des pressions
- 5 - Bouteille de liquide
- 6 - Niveau de liquide
- 7 - Conduite de liquide

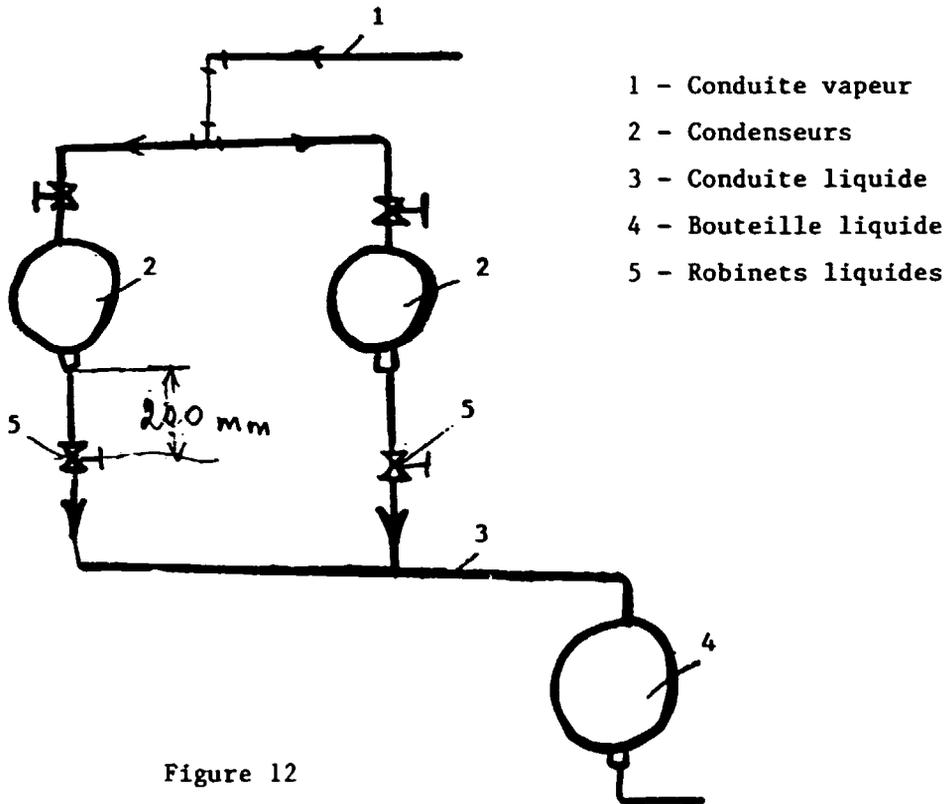


Figure 12

La vitesse du liquide dans la conduite liquide (3) ne doit pas dépasser 0,75 m/s.

Montage du séparateur d'huile et retour de l'huile dans le compresseur

Le séparateur de l'huile est monté sur la conduite de refoulement d'après le schéma représenté sur la figure 13.

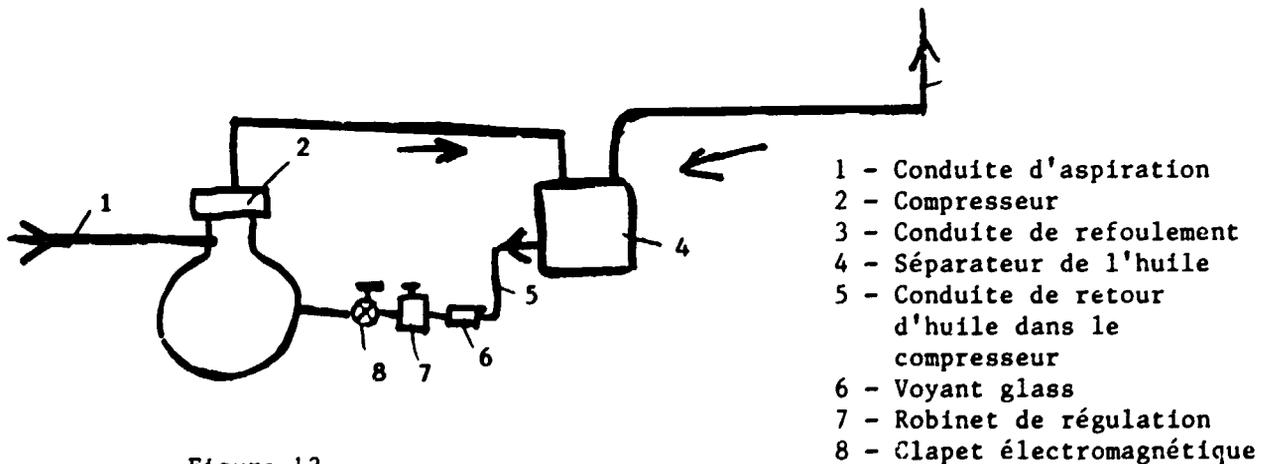


Figure 13

Pendant l'arrêt du compresseur il est possible que la vapeur se trouvant dans le séparateur de l'huile et dans la conduite de refoulement soit condensée et le liquide pénètre dans le compresseur. Afin de prévenir cette pénétration, la conduite d'évacuation de l'huile du séparateur doit être raccordée à la conduite d'aspiration du compresseur (non avec le carter). La conduite d'évacuation de l'huile doit être munie par un clapet électromagnétique, un voyant glass et robinets à main (voir figure 13). En observant par le voyant glass, il faut à l'aide du robinet régler le flux de mélange de l'huile et du liquide afin que le mélange coule lentement dans la conduite d'aspiration. Le robinet magnétique est bloqué avec le relais magnétique de démarrage du compresseur et par conséquent le robinet s'ouvre quand le compresseur démarre. Ainsi le mélange ne pénètre pas dans le compresseur, lorsqu'il est arrêté. Le séparateur de l'huile doit être bien isolé. Sur la ligne de mélange on monte un clapet inverse.

Une certaine quantité de l'huile est toujours attendue à l'évaporateur. En cas du réfrigérant ammoniac, l'huile descend au fond de l'évaporateur et retourne facilement dans le carter. Quant au fréon, l'huile reste sur la surface de liquide, parce qu'elle est plus légère que le fréon. Pour évacuer l'huile de l'évaporateur on envoie un peu plus de liquide qu'il ne faut (on peut régler à l'aide du détendeur thermostatique). Dans ce cas une petite quantité du mélange (liquide avec l'huile) entre dans la conduite d'aspiration. Ainsi l'huile est évacuée de l'évaporateur. Le liquide réfrigérant est ensuite évaporé dans l'échangeur de chaleur puis monté sur la ligne d'aspiration, avant le compresseur, comme le montre la figure 14.

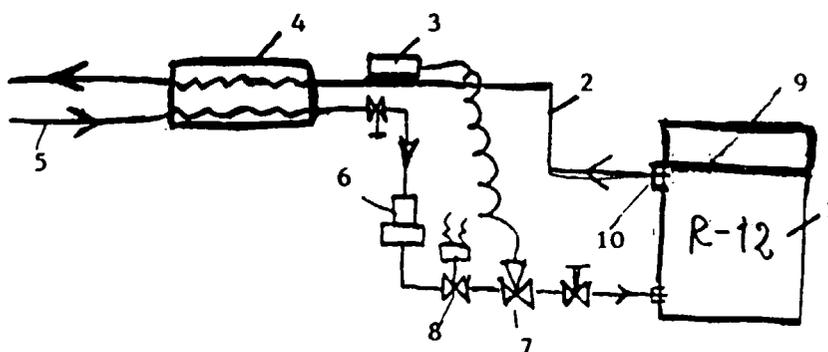


Figure 14

- 1 - Evaporateur à fréon
- 2 - Conduite d'aspiration (mélange de l'huile et de fréon)
- 3 - Ballon thermostatique
- 4 - Echangeur de chaleur
- 5 - Liquide venant du condenseur
- 6 - Filtre
- 7 - Détendeur thermostatique
- 8 - Clapet électromagnétique
- 9 - Niveau de liquide dans l'évaporateur
- 10 - Tube de sortie d'évaporateur (en cas de R - 12)

Comme on voit sur la figure 14, le niveau du liquide (9) dans l'évaporateur atteint le tube de sortie (10).

Voyant glass

Le voyant glass est monté sur la conduite liquide plus près de la bouteille liquide, mais éloigné des robinets. A l'aide du voyant glass on peut relever la quantité suffisante de réfrigérant dans le système. En cas d'une insuffisance de réfrigérant dans le liquide on voit des bulbes. Si la conduite liquide est bien longue, il vaut mieux placer un voyant glass supplémentaire avant le détendeur thermostatique.

La présence des bulbes dans le deuxième voyant glass signifie que le liquide est étranglé dans la conduite liquide. Pour éliminer les bulbes il faut augmenter le sous-refroidissement du liquide ou bien diminuer la perte de pression du liquide.

Dégivrage de l'évaporateur

Dégivrage par chauffage électrique :

Le dégivrage des évaporateurs à air se fait souvent à l'aide des résistances électriques, montées dans les tubes des évaporateurs.

Pour exécuter le dégivrage, on ferme le robinet électromagnétique sur la ligne liquide. A la suite l'évaporateur est vidé de liquide et à cause de la diminution de pression dans la conduite d'aspiration, le pressostat basse pression arrête le compresseur. En même temps le ventilateur de l'évaporateur s'arrête et les résistances sont mise en marche.

Après le dégivrage les résistances sont débranchées, le robinet électromagnétique du liquide s'ouvre, le ventilateur et le compresseur se mettent à marcher par l'intermédiaire du pressostat.

Pendant le dégivrage l'eau tombe dans la cuvette disposée au-dessous de l'évaporateur. La cuvette est aussi chauffée à l'aide des résistances. L'eau de la cuvette est évacuée vers l'extérieur.

Dégivrage par chauffage avec la vapeur ou dégivrage par gaz chaud :

Il existe plusieurs méthodes (schémas) de dégivrage à l'aide des vapeurs. Mais on utilise toujours la chaleur du gaz comprimé, qui entre dans l'évaporateur.

La méthode la plus efficace et rationnelle est la méthode appelée "Thermobanc". Le schéma de "Thermobanc" est montré sur la figure 15.

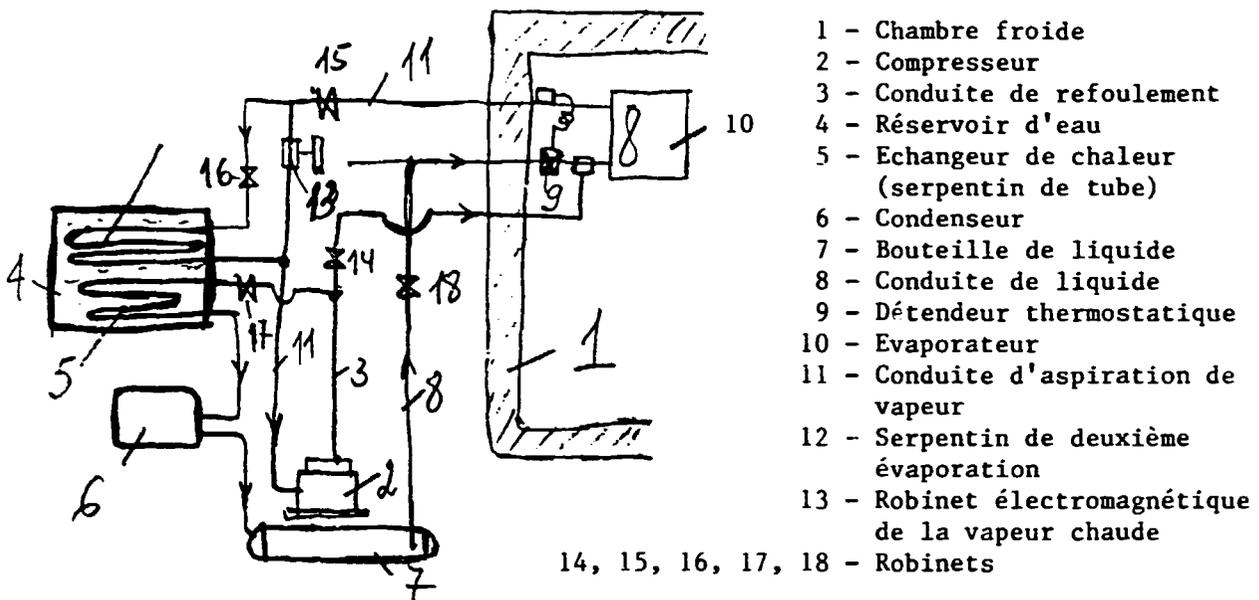


Figure 15 "Thermobanc"

Le schéma "Thermobanc" fonctionne comme suit :

Régime de refroidissement : Le gaz comprimé dans le compresseur (2) entre dans l'échangeur (5) à travers la conduite de refoulement (3) et le robinet qui est ouvert (17). La vapeur sous refroidie est condensée ensuite dans le condenseur (6). Par ce fait le liquide se collecte dans la bouteille (7) passant par la conduite du liquide (8) et le robinet ouvert (18) puis entre dans l'évaporateur (10). La vapeur à travers la conduite d'aspiration 11 et les robinets 15 et 13 est aspirée par le compresseur. La chaleur dégagée par le gaz dans l'appareil (5) et l'eau dans le réservoir (4) est chauffée. Dans ce régime les robinets 14, 16 sont fermés.

Régime de dégivrage : Les robinets 17,18, 15 et 13 sont fermés et les robinets 14 et 16 sont ouverts. Le gaz comprimé chaud entre dans l'évaporateur (10). La chaleur du gaz dégivre la surface de l'évaporateur. Par la suite le dégagement de chaleur par le gaz est condensé à travers la conduite 11 et le robinet 16, le liquide entre dans le serpentin du deuxième évaporateur 12. En absorbant la chaleur d'eau chaude du réservoir (4) le liquide est évaporé puis aspiré par le compresseur.

Pendant le dégivrage le ventilateur de l'évaporateur doit être arrêté.

Calcul des caractéristiques constructives
du climatiseur - humidificateur pour le local
des dimensions 496 x 396 x 280 à Bamako (CRES)

Les caractéristiques constructives et énergétiques d'un climatiseur dépendent de la charge thermique dans le local - Q_e , qui est la somme de l'apport de chaleur dans le local à travers des parois extérieures (murs; toit et fenêtres) et du dégagement de chaleur du personnel et des appareils dans le local.

Les apports de chaleur à travers des parois ΣQ_{ap} ont lieu à cause de rayonnement solaire et de la différence des températures extérieure et intérieure. La valeur de ΣQ_{ap} dépend des paramètres d'air extérieur (t_E ; φ_E), intérieur (t_I ; φ_I), d'intensité de rayonnement solaire sur les parois (J_{toit} ; J_{murs} ; J_{fen}) et des caractéristiques thermophysiques des parois (K_{mur} ; K_{toit} ; K_{fen}).

Comme paramètres de calcul pour l'air extérieur à Bamako on a pris :

$$t_E = 39^\circ\text{C}; \varphi_E = 20 \% \text{ (saison sèche) et } t_E = 31^\circ\text{C}; \varphi = 50 \% \text{ (saison humide)}$$

Les paramètres d'air intérieur pour assurer les conditions conformes dans le local sont les suivants :

$$t_I = 28^\circ\text{C}; \varphi_I = 40 - 60 \%$$

Les intensités du rayonnement solaire présumptives sont :

$$\text{Pour le toit - } J_{toit} = 900 \text{ W/m}^2; \text{ pour le mur ouest - } J_{mur} = 850 \text{ W/m}^2$$

Les coefficients de transmission de chaleur pour le toit, les murs et les fenêtres sont les suivants (d'après les calculs) :

$$K_{murs} = 3,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}; K_{fen} = 5,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}; K_{toit} = 2,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Les dimensions du local sont :

$$\text{longueur - } a = 4,96 \text{ m}; \text{ largeur - } b = 3,96 \text{ m}; \text{ hauteur - } h = 2,8 \text{ m}$$

Les dimensions des fenêtres - 1,1 x 0,8 m.

$$\begin{aligned} \text{Les surfaces des murs : } F_1 = F_2 &= 5 \times 2,8 = 14 \text{ m}^2; \\ F_3 = F_4 &= 4 \times 2,8 = 11,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{La surface du toit : } F_t = 4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$$

$$\text{Les surfaces des fenêtres : } F_f = 0,88 \text{ m}^2$$

Apports de chaleur à travers les murs :

$$Q_{\text{mur.1}} + Q_{\text{mur.2}} = 3,2 \cdot \overline{(14 - 0,88)} + (14 - 1,76) \overline{7} \cdot (39 - 28) = 893 \text{ W}$$

$$Q_{\text{mur.3}} + Q_{\text{mur.4}} = 3,2 \cdot 14 \cdot (39 - 28) = 493 \text{ W}$$

Apports de chaleur à travers le toit :

$$Q_t = 20 \cdot 2,8 \cdot (39 - 28) = 616 \text{ W}$$

Apports de chaleur à travers les fenêtres :

$$Q_{\text{fen}} = 3 \cdot 0,88 \cdot 5,5 \cdot (39 - 28) = 160 \text{ W}$$

Donc l'apport de chaleur total à travers les parois dû à la différence des températures extérieure et intérieure est égal à :

$$\sum Q_I = 893 + 493 + 616 + 160 = 2\ 162 \text{ W}$$

Compte tenu de la valeur du coefficient d'absorption de rayonnement par les surfaces de mur ouest et du toit égal à $P = 0,65$ les apports de chaleur au rayonnement solaire sont les suivants :

$$Q_{\text{mur.ouest (R)}} = 11,2 \cdot \frac{0,65 \cdot 850}{23} = 269 \text{ W}$$

$$Q_{\text{toit (R)}} = 20 \cdot \frac{0,65 \cdot 900}{23} = 502 \text{ W}$$

L'apport de chaleur total au rayonnement est :

$$\sum Q_R = 269 + 502 = 771 \text{ W}$$

Donc l'apport de chaleur à travers toutes les parois extérieures est égal à :

$$\sum Q_{\text{ap}} = 2\ 162 + 771 = 2\ 933 \text{ W}$$

Le dégagement de chaleur dans le local aura lieu du personnel effectuant les tests du climatiseur. La valeur de ce dégagement peut être prise égale à 200 W.

Ainsi la valeur d'excès de chaleur qui doit être dégagée du local par le climatiseur (charge thermique sur le climatiseur ou bien rendement (puissance) frigorifique du climatiseur) est :

$$Q_{\text{ex}} = 2\ 933 + 200 = \underline{\underline{3\ 133}} \text{ W} \approx 3,133 \text{ kW}$$

Pour établir les paramètres demandés dans le local il faut refouler l'air refroidi dont le débit doit être égal à :

$$G_{\text{air}} = \frac{Q_e}{i_c - i_c}, \text{ kg/s}$$

Les enthalpies d'air intérieur i_I et d'air refoulé dans le local par le climatiseur peuvent être déterminées à l'aide des processus de traitement d'air, tracés sur le diagramme psychrométrique d'air humide (annexe 1). Sur le diagramme le processus EC représente l'humidification - refroidissement adiabatique d'air extérieur. On voit que, à la sortie du climatiseur, l'air extérieur est humidifié jusqu'à l'humidité relative $\varphi_c = 90 \%$ et en même temps il est refroidi jusqu'à la température $t_c = 22^\circ\text{C}$. Il faut noter que la valeur de t_c dépend de l'état de l'air extérieur. S'il est plus sec la valeur t_c diminue.

L'air d'état "c" dont l'enthalpie est égale à $i_c = 62 \text{ kJ/kg}$ est refoulé dans le local où il absorbe la chaleur excès Q_{ex} . Par conséquent il est chauffé jusqu'à l'état correspondant aux paramètres demandés dans le local. Cet état est marqué par le point "I" sur le diagramme dont l'enthalpie est égale à $i_I = 68,5 \text{ kJ/kg}$.

Donc le débit d'air traité et refoulé dans le local est :

$$G_{\text{air}} = \frac{3,133}{68,5 - 62} = 0,482 \text{ kg/s (débit massique)}$$

ou bien $G_{\text{air}} = 1\,735 \text{ kg/heure}$.

Le débit volumique du ventilateur est :

$$V_{\text{air}} = \frac{G_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{1\,735}{1,24} \approx 1\,400 \text{ m}^3/\text{heure}$$

La pression développée par le ventilateur doit être au moins égale à $P_v = 400 P_a$, pour surmonter la résistance hydraulique d'humidificateur et des autres éléments du climatiseur.

Respectivement la puissance électrique demandée pour le ventilateur du type centrifuge ou bien axial doit être :

$$N_v = \frac{0,482 \cdot 400}{1,24 \cdot 0,6} \approx 260 \text{ W}$$

L'humidification adiabatique d'air extérieur est réalisée dans la cassette de matière hygroscopique à cause de contact d'air avec l'eau.

Le débit d'eau arrosant la cassette doit être égal à

$$W = 0,6.G_{\text{air}} = 0,6.1\ 735 = 1\ 040\ \text{kg/h}$$

La puissance électrique de la pompe à eau est égale à

$$N_{\text{pompe}} = \frac{1\ 040.0,5.10^4}{3\ 600.1\ 000.0,6} = 3\ \text{W}$$

La pompe doit développer une pression de 0,5 m ou 5 000 P_a.

Donc la puissance totale demandée par le climatiseur est égale à 263 W sur la puissance frigorifique - 3 133 W.

Il faut prendre en considération que les climatiseurs basés sur les machines frigorifiques pour la même puissance frigorifique demandent au moins 1 200 W.

L'épaisseur de la cassette hygroscopique doit être 20 cm.

Ventilateur : débit volumique - 1 400 m³/heure

pression - 300 - 500 P_a

puissance - 200 - 260 W

Pompe à
eau

: débit - 900 - 1 100 litres/heure

pression - 5 000 P_a (0,5 m d'eau)

puissance - ≈ 5 W

Descriptif de projet

Titre : Montage et développement des équipements frigorifiques et de climatisation centrale de la section "froid" de l'ECICA

Numéro :

Pays : Mali

Budget total ONUDI :

(non compris frais d'agence)

Date prévue pour le démarrage :

Durée prévue : 7 mois

Service responsable du suivi :

PE code :

Agent d'exécution du gouvernement : Ministère de l'éducation nationale.
Division de l'enseignement technique

Requête officielle du gouvernement :

Endossement du Représentant résident du PNUD :

Description succincte :

Le projet vise à achever le montage des équipements frigorifiques et construire un système de climatisation centralisée dans l'atelier de la section "froid" de l'Ecole centrale pour l'industrie, le commerce et l'administration (ECICA - Bamako) afin de permettre la formation solide des spécialistes dans les domaines de refroidissement et de climatisation aptes à créer des entreprises dans la sous-région. Il vise également à développer et réaliser les schémas technologiques des systèmes de refroidissement et climatisation adaptés aux conditions climatiques, énergétiques et économiques des pays de la sous-région dont le but est d'offrir aux entreprises extérieures un support technologique adéquat pour l'augmentation d'efficacité énergétique et économique des installations frigorifiques et de climatisation.

Le projet vise aussi à créer une base technologique pour la fabrication des climatiseurs et équipements pour les installations frigorifiques dans les pays de la sous-région.

A. CONTEXTE

Le sous-secteur

Dès l'indépendance acquise une réforme du système de l'éducation a été mise en place avec pour objectif de donner à l'ensemble des Maliens une formation de base adaptée aux nécessités du développement. Mais le secteur de l'Education nationale doit faire face, comme les autres secteurs de l'économie, à de lourds handicaps dus à la modicité des moyens dont l'Etat dispose. Malgré les efforts consentis, le Mali est l'un des pays les moins alphabétisés du continent.

Les réflexions faites par le gouvernement découvrent que l'un des problèmes fondamentaux de développement se situe au niveau de la formation insuffisante des cadres moyens, techniques et ouvriers qualifiés, de l'inadéquation du système de formation par rapport aux besoins du pays. L'absence des spécialistes qualifiés et des bases de formation des cadres supérieurs (surtout dans les domaines de refroidissement et climatisation) ne permet pas de développer la technologie efficace et adaptée aux conditions locales.

Stratégie du pays hôte

Les stratégies nationales arrêtées par le gouvernement visent à réduire les contraintes physiques, humaines et énergétiques qui pèsent sur le développement du pays et à améliorer les conditions de vie des populations, en essayant de réduire la dépendance vis-à-vis des facteurs extérieurs.

A cet égard, une des options du gouvernement est d'assurer la participation active des populations à leur propre développement. Dans le cadre de sa politique d'enseignement, le gouvernement met l'accent sur le renforcement des liens entre les institutions éducatives et la vie active par la promotion et la mise en oeuvre de programmes de sensibilisation des jeunes diplômés aux possibilités de création de PME-PMI.

L'aspect important de cette stratégie est la réduction brusque de consommation d'énergie électrique pour les buts industriels et domestiques, en utilisant des installations de petite consommation d'énergie électrique.

Assistance antérieure ou en cours

Le domaine de la formation et de la création d'emplois fait l'objet d'interventions de la part de bailleurs de fond, tels que la CEE, de l'USAID, de la Banque mondiale, de la France (coopérants et enseignants français) et du PNUD.

Dans la période janvier-juillet 1990 l'ONUDI a réalisé une assistance importante pour réhabiliter l'atelier de la section froid de l'ECICA. Sur la base des équipements livrés par l'ONUDI, un expert du froid et climatisation a commencé à construire les équipements frigorifiques d'atelier du secteur froid de l'ECICA.

Cadre institutionnel du sous-secteur

Il s'agit principalement du Ministère de l'Education nationale, Direction nationale de l'enseignement secondaire général technique et professionnel, Division de l'enseignement technique et du Ministère de l'emploi et de la fonction publique, lequel est responsable de la coordination et de la dynamisation des programmes mis en oeuvre au niveau de la création d'emplois et de l'encadrement des jeunes diplômés. Il s'agit enfin de l'ECICA, elle-même seule institution existante au Mali pour la formation des cadres moyens des secteurs publics et privés.

B. JUSTIFICATION DU PROJET

Problème visé par le projet et situation actuelle

Pour relancer l'économie nationale, le Gouvernement du Mali met en place une politique de développement des PME-PMI et de désengagement de l'Etat dans les activités productives, en encourageant le secteur privé.

Parmi tous les besoins dont souffre l'économie malienne, un créneau de développement apparaît clairement : c'est le secteur du froid industriel - climatisation dans les bureaux, les entreprises, les équipements touristiques, chez les particuliers, équipements de réfrigération pour les entreprises traitant des produits alimentaires.

Actuellement, il n'existe pas au Mali d'entreprises assurant le développement et la maintenance de tels équipements. Il n'existe également pas de formation de techniciens adaptée dans ce domaine. L'ECICA est l'une des

seules écoles Inter-Etat en Afrique de l'Ouest à posséder une section "froid" destinée à former des techniciens et à assurer un support aux entreprises locales.

Pendant la période janvier-juillet 1990 un expert de l'ONUDI (M. Melikian Z.) a commencé à organiser le montage des équipements livrés par l'ONUDI dans l'atelier "froid" de l'ECICA. Compte tenu du retard lié à l'acheminement tardif du matériel, aux difficultés d'adaptation de certains éléments, l'absence du transformateur, de la salle des machines et des autres matériels, le montage et la mise en marche des installations frigorifiques prévus n'ont pas été achevés.

Une requête a été formulée par le Ministère de l'Education nationale du Mali pour continuer les travaux de réhabilitation d'atelier froid de l'ECICA.

Situation au terme du projet

Lorsqu'on aura construit et équipé l'atelier répondant aux conditions requises, lorsqu'on aura formé l'équipe d'encadrement à l'utilisation des nouveaux équipements, l'ECICA aura les moyens techniques de dispenser une formation efficace, en s'appuyant sur des programmes déjà mis au point. L'atelier s'ouvrira également sur les entreprises extérieures et leur fournira un support technologique adéquat.

Bénéficiaires cibles

Les principaux bénéficiaires du projet sont d'une part :

- les entreprises,
- les bureaux,
- les particuliers

pour qui la section "froid" de l'ECICA organisera les certains services d'entretien, de projets d'adaptations de matériel et de développement des installations frigorifiques et climatisations et d'autre part :

- les étudiants et entrepreneurs potentiels qui auront la possibilité de recevoir une formation solide et adaptée dans un créneau qui ne demande qu'à se développer au Mali et dans les autres pays du Sahel.

Stratégie

Les bénéficiaires immédiats des activités du projet sont :

- L'ECICA qui recevra l'assistance nécessaire à la mise en oeuvre de son programme de formation destiné aux frigoristes. L'ECICA acquiera une compétence dans ce domaine qui sera reconnue et utile dans toute l'Afrique de l'Ouest.
- Les entreprises locales et les particuliers, qui trouveront en cet atelier des appuis et des conseils ainsi que des possibilités de réparation de leur matériel et de formation sur leurs équipements.

Une fois que quelques entreprises se seront créées dans ce secteur du froid industriel, c'est la population toute entière qui bénéficiera des retombées : facilités de réparation et fabrication des climatiseurs adaptés aux conditions locales, des équipements industriels pour les entreprises, développement de technologies de production de froid sur la base de petite consommation d'énergie électrique.

Raisons justifiant l'aide fournie par l'ONUDI

Dans ce projet, l'ONUDI apportera une assistance technique pour achever la construction des installations frigorifiques, démarrer les activités de l'atelier froid de l'ECICA et aussi pour réaliser les nouveaux systèmes de refroidissement et climatisation de petite consommation d'énergie électrique.

A l'issue des discussions au niveau du Ministère de l'Education nationale du Mali, une requête officielle a été adressée à l'ONUDI par M. M. Traoré, chef de cabinet du Ministère de l'Education nationale.

Considérations particulières

Le projet aura pour but d'établir une relation étroite entre les institutions de formation et le secteur des entreprises privées. Il organisera aussi une base technique et technologique pour la création des PME-PMI de fabrication des climatiseurs adaptés aux conditions locales.

Engagement du pays hôte

L'ECICA apportera le soutien nécessaire à la réussite du projet et à sa durabilité : trois professeurs maliens et un professeur coopérant français assureront le suivi des activités de l'atelier.

C. OBJECTIFS DE DEVELOPPEMENT

Ce projet vise à développer le secteur des PME-PMI, en particulier dans le domaine du "froid industriel" au Mali et, par la suite, dans les pays du Sahel.

La relance de ce secteur sera initiée suivant deux grands axes :

- Le développement des PME-PMI dans ce secteur par la formation de jeunes techniciens destinés à évoluer dans le secteur privé,
- La mise à disposition des entreprises locales d'un centre de conseil et d'appui pour tous les problèmes liés à la climatisation et réfrigération.

D. OBJECTIFS IMMEDIATS, RESULTATS ET ACTIVITES

Objectif immédiat

L'objectif immédiat de ce projet consiste à réhabiliter l'atelier de la section "froid" de l'ECICA : construction, installation d'équipements, démarrage des activités. Une fois rénové, cet atelier permettra de dispenser une formation initiale solide (environ 10 techniciens frigoristes formés par an), de développer des techniques de froid et climatisation adaptées aux conditions locales, de favoriser le transfert de ces technologies entre l'ECICA et les entreprises locales.

Résultat

L'atelier de la section froid réhabilité, équipé, opérationnel et permettant la formation adéquate d'au moins 10 frigoristes par an aptes à créer leur entreprise. Cet atelier sera également un lien permanent effectif avec les entreprises.

Description de l'atelier :

1. Fonctions de l'atelier

- Travaux pratiques de la section;
- Mise au point de nouvelles technologies par le développement de projets avec les entreprises : transfert de fabrication.

2. Personnel

- Quatre professeurs maliens et un professeur de la coopération française dont les activités sont totalement intégrés dans celles de l'ECICA sous la responsabilité des Maliens.

3. Méthodes et procédures appliquées

L'atelier abrite les travaux pratiques des études de froid qui préparent au brevet de technicien en quatre ans, la première année étant commune aux électriciens et aux frigoristes.

Enseignement pratique - atelier

Les séances d'atelier seront divisées en trois parties :

- Une partie montage électrique et frigorifique,
- Une partie essais et mesures,
- Une partie réglage et dépannage.

Ces parties seront séparées ou imbriquées suivant l'exercice à effectuer et les connaissances acquises. La progression des exercices pratiques se fera parallèlement à celle de la technologie et schéma. En début de chaque exercice, la sélection du matériel sera faite sur catalogue. En fin d'exercice, l'élève effectuera un rapport écrit soit sous forme de bon de commande, soit sous forme de rapport d'essai et mesure étayé par des schémas et des tableaux synoptiques.

Les besoins manifestés par des entreprises locales ou des particuliers seront pris en compte et intégrés, dans une optique pédagogique, dans le calendrier des travaux pratiques.

Enseignement théorique

a) Conservation

Dans un premier temps, on étudie la chimie biologique. Ceci permet de comprendre l'action du froid sur les différents constituants organiques et son rôle à travers les vitamines et enzymes, sur leurs métabolismes. Ayant mis en évidence l'intérêt du froid pour la conservation des denrées alimentaires, on étudie dans un deuxième temps les modifications physico-chimiques et les maladies éventuelles liées à l'utilisation de cette technique de conservation. Enfin, on détaille les diverses technologies frigorifiques et leur mode d'application utilisés pour la fabrication et la conservation des produits alimentaires.

b) Technologie

Le but du technicien frigoriste étant d'installer, conduire et maintenir en état les installations frigorifiques celui-ci devra avoir une connaissance approfondie des différents éléments constituant l'installation.

Aussi, dans ce programme, on s'efforcera d'étudier pour chaque appareil :

- Son rôle,
- Sa place dans l'installation,
- Son principe de fonctionnement,
- Ses matières et procédés de fabrication,
- Ses réglages et leurs influences sur l'installation,
- Ses avantages et inconvénients par rapport à d'autres technologies.

c) Schéma

Le schéma frigorifique et électrique doit, dans le respect des normes en vigueur :

- Traduire sous forme symbolique l'étude répondant au cahier des charges,
- Servir de liaison entre bureau d'études et installateur,
- Permettre une compréhension claire et rapide des installations.

Le schéma électrique sera abordé en introduisant les notions d'automatisation telles que logique binaire, tableau d'analyse, Grafcet.

d) Calcul projet

Les exercices traités doivent permettre à l'élève de comprendre les différentes notions de physique appliquée au froid. Ils doivent aussi permettre la sélection des différents éléments constituant une installation frigorifique ou une installation de climatisation. Les élèves pourront travailler sur des projets intéressant les entreprises locales.

4. Locaux et installations

Le plan d'implantation est joint en annexe 1.

La surface actuelle représente environ 60 % de la surface utile. D'où nécessité de rénover de nouveaux locaux.

La distribution d'énergie électrique dans l'atelier nécessite un transformateur de 100 kW.

5. Equipements

Le nom des équipements et leurs caractéristiques techniques sont précisés en annexe 2.

a. Installation en cabine

Les montages en cabine permettront la familiarisation avec les appareillages frigorifiques, leurs positions et leurs raccordements dans une installation. Ils concrétiseront le cours de schéma électrique par les réalisations des différents systèmes de commande. Ils permettront d'étudier les opérations préalables à la mise en route d'une installation ainsi que leur mise en route et leur entretien. Enfin, ils serviront de base à la technique du dépannage.

b. Chambres froides

Pour répondre aux exigences du programme, deux chambres froides sont préconisées.

Chacune d'elles sera refroidie par un évaporateur plafonnier. Les compresseurs, condenseurs et bouteille de liquide seront communs aux deux chambres froides. Ce type d'installation permet d'étudier :

- Les différents systèmes de dégivrage et de variation de puissance,
- Des essais en réfrigération,
- Des essais en congélation.

c. Installation de climatisation

L'accent doit être mis sur les installations de climatisation centralisées. L'installation préconisée dans cette étude aura un double but :

- Climatiser les ateliers de froid,
- Familiariser les élèves à ce type de matériel par différentes manipulations.

Activités

Les activités du projet comprennent essentiellement l'installation des équipements, leur mise en route, la formation des enseignants à leur utilisation et le suivi de l'utilisation. Elles portent également sur le développement de techniques de froid et climatisation adaptées aux conditions locales en relation avec les entreprises extérieures et intégrées dans les programmes de formation.

1. Calculs et projet de climatiseur central et choix des équipements compte tenu des caractéristiques climatiques et propriétés constructives et thermiques d'atelier froid. Commande et acquisition des équipements de climatiseur central (à la participation de l'expert).
2. Achèvement du montage des chambres froides et installations en cabines. Aménagement de l'atelier et mise en route.
3. Installation du climatiseur central avec les gaines de distribution d'air traité dans l'atelier. Tests et mise en marche du climatiseur central. Elaboration et tirage des manuels des travaux pratiques sur la climatisation.
4. Formation des professeurs à l'utilisation des nouvelles installations de refroidissement et de climatisation. Suivi de l'utilisation des équipements au cours des travaux pratiques.
5. Réalisation des appareils de climatisation et installation frigorifique adaptés aux conditions climatiques et économiques locales.
6. Visites des entreprises par l'expert et études des besoins exprimés par les entreprises.

L'expert mettra au point avec les professeurs leur intégration dans la formation et participera à la définition et à la réalisation de projets permettant de répondre à ces besoins.

7. Activité de conseil dans le domaine de la conception de nouvelles technologies.

E. APPORTS

	<u>Apports nationaux</u>	<u>Apports ONUDI</u> <u>(US dollars)</u>
Personnel	4 professeurs ouvriers	1 expert, spécialiste du froid et climatisation 6 mois
		Mission ONUDI pour le suivi du projet 8 000
		Rénovation de la salle de dépannage 5 000
Equipements		Equipements pour les installations en cabines (pour compléter jusqu'à 4 postes) 10 000
		Equipements pour le climatiseur central 55 000
		Equipements pour le climatiseur adapté aux conditions locales 3 000
Divers	Mise à disposition des locaux, approvisionnement d'électricité, d'eau	Visites des entreprises par l'expert (missions) 5 000
		Divers 10 000
		Voiture Essence 3 000

Matériel pour la construction des supports des installations en cabines

Tube carré pour les supports		\$ 1 000
Acétylène		260
Oxygène		240
Boulons, vis, rondelles		50
Peinture à l'huile		50
Baguettes argents		280
Baguettes à arc		40
Construction des supports		180
Bureaux des mesures		2 000
Evaporateurs à air	11	700
Condenseurs à air	11	500
Condenseurs coaxiaux à eau	5	1 000 (plus puissante)

(Voir liste dans dossier)

F. RISQUES

Probabilité approximative
(forte, moyenne, faible)

1. Risques majeurs

Néant.

2. Risques à surveiller

La dégradation du budget de fonctionnement de l'ECICA contraindrait celle-ci à ne plus appliquer les programmes de formation prévus et compromettrait la réalisation des résultats du projet.

faible

G. OBLIGATIONS, PREALABLES ET CONDITIONS PRELIMINAIRES

L'ECICA rénovera la salle de dépannage, soudage et brasage. La distribution d'énergie électrique sera également assurée dans ces locaux.

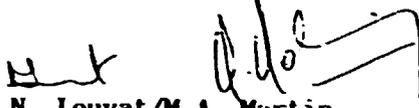
H. SUIVI, RAPPORT ET EVALUATION

Un premier rapport intermédiaire sera établi après trois mois et demi d'exécution du projet.

L'agent d'exécution effectuera une mission de monitoring aux alentours du quatrième mois. Enfin un rapport final sera établi à l'achèvement du projet.

Vers la fin de l'achèvement des activités, le projet fera l'objet d'une évaluation interne suivant les règles et procédures établies à cet égard par l'ONUDI.

VISA ET APPROBATION

Proposition soumise par:  N. Louvat/M.A. Martin

Date: 12 JAN 89

Visé par:

 M. Delos, Chef, IO/T/ENG

Date: 12 JAN 89

Mme. A. Tcheknavorian-Asenbauer
Directrice, IO/T

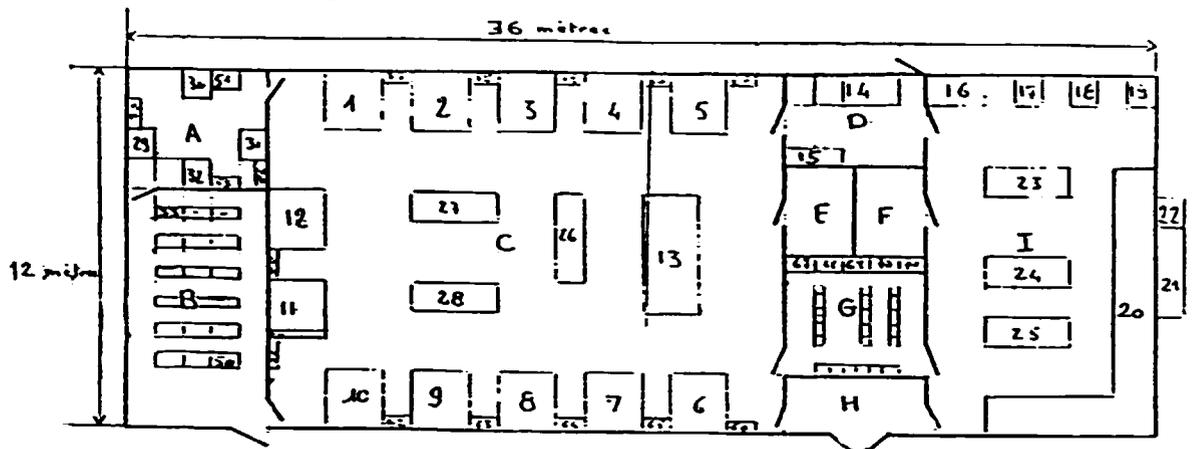
Date: 12 JAN 89

M.H. Khouadja
Chef, PPD/AREA/LDC

Date:

ANNEXE I - Plan d'implantation des ateliers "froid" et "climatisation"

I PLAN D'IMPLANTATION



II DESIGNATION DES SALLES

A: Bureau	5 x 4	20 m ²
B: Salle de cours	5 x 8	40
C: Atelier de Cablages et de mesures	18 x 12	216
D: Salle des machines	5 x 3	15
E: Chambre froide 1	3 x 2,5	7,5
F: Chambre froide 2	3 x 2,5	7,5
G: Magasin	5 x 4	20
H: Hall d'entree	5 x 2	10
I: Atelier de soudage et brasage	12 x 8	96
<u>Surface totale</u>		<u>452 m²</u>

III DESCRIPTIF DE L'AMENAGEMENT

- 1 à 12 : Cabines de cablage et mesure
- 13 : Banc d'essai liquide incongelable
- 14 : Banc d'essai climatisation
- 15 : Banc d'essai chambre froide
- 16 : Bassin
- 17 : Touret à meuler
- 18 : Perceuse
- 19 : Four à étuver
- 20 : Postes de soudage et brasage
- 21 : Bouteilles oxygène et acétylène
- 22 : Compresseur d'air
- 23 à 28 : Etablis
- 29 à 32 : Bureaux des professeurs
- 33 à 35 : Bureaux des élèves
- 36 à 71 : Armoires de rangement
- 72 à 75 : Etagères

Atelier achiel 225 m²

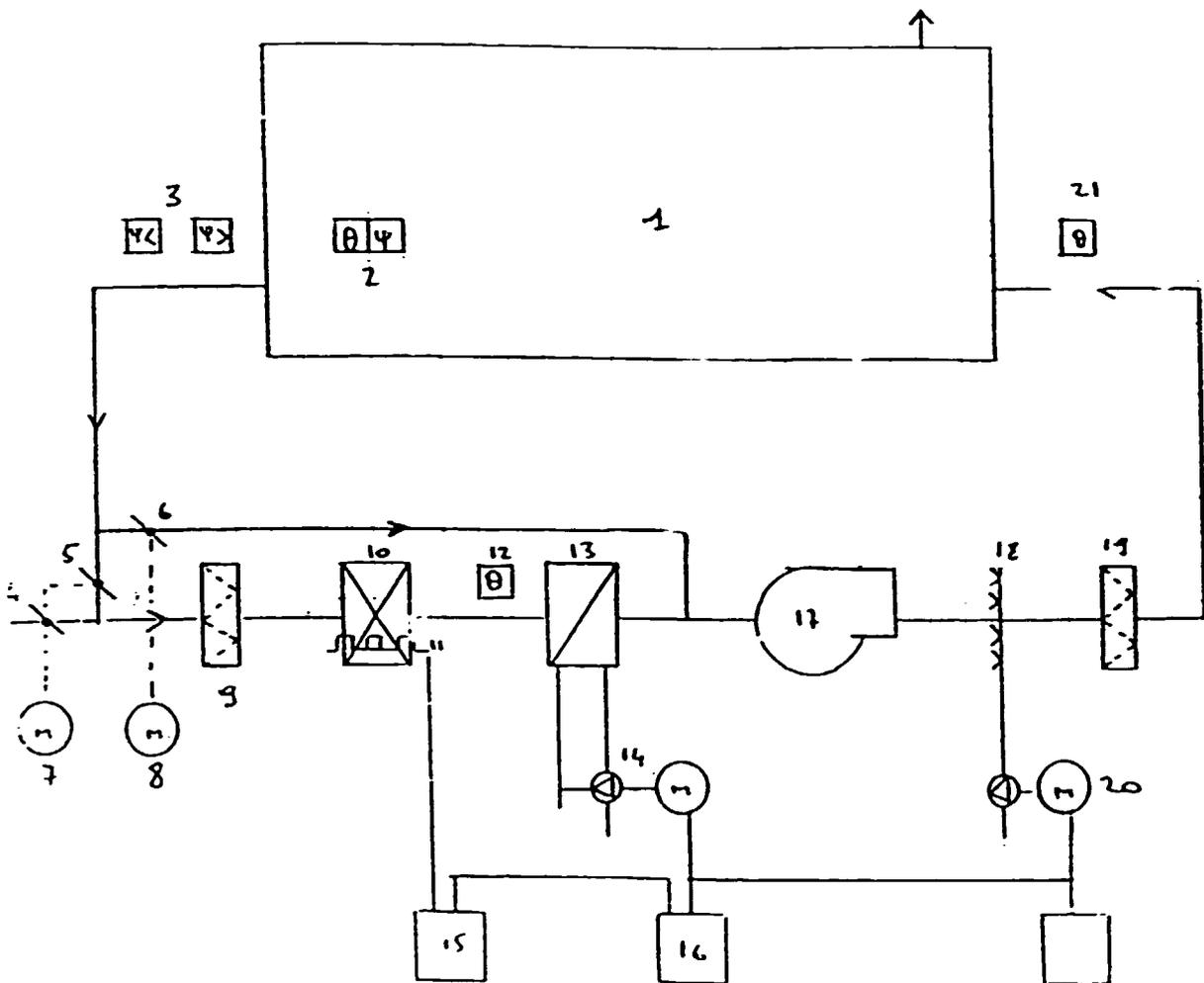
Atelier plan 370 m²

→ 3 bis plus grand

ANNEXE 2

C - INSTALLATION DE CLIMATISATION

SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION DE CLIMATISATION



- | | |
|--|--|
| 1 - Atelier climatisé | 12 - Sonde de régulation de la batterie chaude |
| 2 - Sonde mixte permettant le contrôle de la température et de l'hygrométrie | 13 - Batterie à eau glacée |
| 3 - Hygrostat d'hygrométrie excessive et insuffisante | 14 - Vanne 3 voies permettant la régulation de l'eau |
| 4 - Registre sur l'air neuf | 15 - Régulateur sur batterie chaude |
| 5 - Registre sur l'air recyclé | 16 - Régulateur sur batterie froide |
| 6 - Registre sur l'air bypassé | 17 - Ventilateur |
| 7 - Moteur de commande des registres | 18 - Rampe d'admission de la vapeur |
| 8 - Moteur de commande des registres | 19 - Filtre |
| 9 - Préfiltre à déroulement automatique | 20 - Vanne deux voies pour admission vapeur |
| 10 - Batterie de préchauffage | 21 - Thermostat de signalisation d'une température excessive |
| 11 - Résistance électrique | |

EQUIPEMENT DES ATELIERS FROID ET CLIMATISATION

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
		<u>CLIMATISATION CENTRALISEE</u>					
1	Batterie froide à eau glacée	Température sèche à l'entrée 30,5°C Température humide " 22,5°C Température sèche à la sortie 20,5°C Température humide " " 18,5°C Facteur de by passage = 0,25 Température de rosée 17°C			1		
2	Batterie chaude	Chauffage par résistance électrique Puissance 4 Kw			1		
3	Rampe de pulvérisation	Humidification par évaporation d'eau montée en ébullition par des résistances électriques - Puissance = 3,3 Kw			1		
4	Ventilateur de	soufflage débit 15000 m ³ /h			1		
5	Ventilateur d'extraction	débit 500 m ³ /h			1		
6	Préfiltre	sur l'air extérieur			1		
7	Filtre	sur l'air de soufflage			1		
8	Caisson de mélange	à 2 registres			1		
9	Groupe de refroidissement	d'eau (eau glacée) comprenant			1		
10		- un échangeur multitubulaire			1		
11		- un circuit hydraulique avec pompe accélérateur pour l'alimentation de la batterie froide			1		
12		- un condenseur à air avec 4 ventila- teurs triphasés			1		
13	Compresseur	à R22 comprenant un système de réduction de puissance Puissance 42000 Kcal/h à 5°C			1		
14	Protection de surchauffe	au refoulement par système électrique ou thermostat d'injection			1		
15	Armoire de commande	incluant la régulation et les sécurités			1		
16	Gaine et bouche de	soufflage couvrant la largeur de l'atelier					
17	Gaine	de reprise couvrant la longueur de l'atelier					
18	Servo moteur pour	registre de volets			1		
19	Servo moteur pour	registre air bypassé			1		

ARTICLE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	MARQUE	REFERENCE	QUANTITE	PRIX	
						Unitaire	Total
20	Robinet motorisé	3 voies pour batterie froide			1		
21	Robinet motorisé	pour rampe de pulvérisation			1		
22	Pupitre de commande	de la centrale comprenant l'équipement électrique, la régulation et les sécurités			1		
23	Valise de manipulation	SCS avec régulateur	SCS		1		
24	Matériel diagnostic	pour régulation SCS 229			1		
25	Simulateur de sondes	231			1		
26	Panneaux Polygyr	module (5156) de chez et avec régulateur	GYR		1		
27	Step contrater	5 contact, potentiométrique, temporisation 1 1/2 minute	HONEYWELL	S 984 D 1007	1		
28	Potentiomètre	manuel 135 ohm (112894 FA)	HONEYWELL		1		
29	Régulateur		HONEYWELL	R 7420 A 1004	1		
30	Step controler		HONEYWELL	Q 642.. L 1006	1		
31	Régulateur		JAEGER	ARIA 10/00	1		
32	Régulateur		JAEGER	ARIA 20	1		
33	Régulateur		JAEGER	ARIA 130	1		
34	Robinet		JAEGER	T BL 304 A4	1		
35	Servo moteur		JAEGER	SMAT 120 P 100	1		
36	Sonde	Température soufflage			1		
37	Sonde	Température ambiante			1		
38	Sonde	Humidité ambiante			1		
39	Sonde	Humidité reprise d'air <			1		
40	Sonde	Humidité reprise d'air >			1		
41	Sonde	de ressoufflage si manque d'air			1		
42	Automate séquentiel		TELEMECANIQUE	TS X 47	1		
43	Interface	Sortie analogique	TELEMECANIQUE	TS X AST 200	3		
44	Interface	Détecteur de seuil	TELEMECANIQUE	TS X AQJ 203	3		
45	Sonde	Platine Pt 100			6		