

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE
UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO**

----oo0oo----

**DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE ET PRODUCTIQUE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE
FILIERE GENIE INDUSTRIEL**

----oo0oo----



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Génie Industriel

**MISE EN PLACE DE LA MAINTENANCE
DES ENGINES FRIGORIFIQUES
(LOGICIEL DEPANNENGINS)**

Numéro de série : 21 / 2004

***Présenté par* ANDRIANANDRASANA Feno Mamitiana**

***Sous la direction de :* Monsieur RANAIVOSON ANDRIAMBALA H.
Maître de conférences
Date de soutenance 03 Mars 2005**

- Promotion 2004 -

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE
UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO**

----oo0oo----

**DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE ET PRODUCTIQUE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE
FILIERE GENIE INDUSTRIEL**

----oo0oo----



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Génie Industriel

**MISE EN PLACE DE LA MAINTENANCE
DES ENGINES FRIGORIFIQUES
(LOGICIEL DEPANNENGINS)**

Numéro de série : 21 / 2004

***Présenté par* ANDRIANANDRASANA Feno Mamitiana**

***Président de jury* : Monsieur RANARIJAONA Jean Désiré
Maître de conférences**

***Sous la direction de* : Monsieur RANAIVOSON ANDRIAMBALA H.
Maître de conférences**

***Examineurs* : Monsieur RABENARIVO Michel
Enseignant à l'ESPA**

**Monsieur ANDRIAMANALINA William
Enseignant à l'ESPA**

**Monsieur RASOLOFOARINDRIAKA Allain,
Enseignant à l'ESPA
Date de soutenance 03 Mars 2005**

REMERCIEMENT

Nous tenons à présenter nos vifs et sincères remerciements à l'endroit des personnes suivantes :

- Monsieur RANDRIANOELINA Benjamin, Directeur de l'Ecole supérieure Polytechnique d' Antananarivo qui nous a permis de soutenir ce mémoire ;
- Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, chef de département de la filière Génie Industriel
- Monsieur RANARIJAONA Jean Désiré, enseignant à l'Ecole Polytechnique d'Antananarivo, président du jury;
- Monsieur RANAIVOSON Andriambala H., enseignant à l'Ecole Polytechnique d'Antananarivo qui, malgré ses importantes responsabilités, n'a pas ménagé son temps pour nous diriger dans ce travail. Ses remarques et ses conseils ont su orienter nos réflexions ;
- Messieurs les membres de jury à savoir :
 - Monsieur RABENARIVO Michel, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;
 - Monsieur ANDRIMANALINA William, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;
 - Monsieur RASOLOFOARINDRIAKA Allain, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;

Qui ont bien voulu assister à cette soutenance et juger ce mémoire

- Tous les enseignants de l'ESPA qui m'ont facilité les tâches durant ma formation au sein de l'ESPA.
- Ma famille qui m'a toujours soutenu tant moralement que matériellement pendant mes études ;
- Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail. Qu'ils trouvent ici nos remerciements les plus sincères.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
 PARTIE I : BASES THEORIQUES	
CHAPITRE I : PRODUCTION DU FROID.....	2
I.1 - Généralités.....	2
I.2 - Procédés de production du froid.....	2
I.2.1 - Effet PELTIER.....	2
I.2.2 - La désaimantation adiabatique.....	2
I.2.3 - Les mélanges réfrigérants.....	2
I.2.4 - Détente d'un gaz comprimé.....	2
I.2.5 - Evaporation d'un liquide pur.....	3
I.3 - Utilité du froid dans les transports.....	3
I.4 - Production du froid dans les transports.....	3
I.4.1 – Les cycles idéals irréalisables de Carnot.....	4
I.4.2 - Cycle théorique.....	5
I.4.3 - Cycle pratique.....	6
I.5 - Les éléments principaux pour la production du froid.....	8
I.5.1 - L'évaporateur.....	8
I.5.1.1 - Evaporateur noyé.....	8
I.5.1.2 - Evaporateur non noyé.....	8
I.5.2 – Le moto compresseur.....	9
I.5.3 - Le condenseur.....	9
I.5.4 - Le détendeur.....	9
I.5.5 - Les fluides frigorigènes.....	10
I.6 - Les appareillages annexes.....	11
I.6.1 - Le séparateur d'huile.....	11
I.6.2 - Le réservoir liquide.....	12
I.6.4 - Le filtre déshydrateur.....	12
I.6.5 - Voyant liquide.....	12
I.6.6 - Échangeur.....	12
I.6.7 - Les tuyauteries.....	12
I.7 - Classification des engins frigorifiques.....	12
1 - Classe A.....	12
2 - Classe B.....	12
3 - Classes C.....	13
I.7.1- Avantages.....	13
I.7.2 - Inconvénients.....	13
I.8 - Description des engins frigorifiques.....	14
I.8.1 - Classe A.....	14
Système de dégivrage.....	14
Circuit fluidique.....	14
I.8.1.1 - Catégorie A1.....	15
I.8.1.2 - Catégorie A2.....	15
I.8.2 - Classe B.....	15
a- Système de dégivrage.....	16
b- Circuit fluidique.....	16
I.8.3 - Classe C.....	17

a- Système de dégivrage.....	17
b- Circuit fluide.....	17
CHAPITRE II : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES	
FRIGORIFIQUES DANS LES TRANSPORTS.....	19
II.1 - Fonctionnement et utilité des différents éléments importants dans le mécanisme des engins.....	19
II.2 – Automatisme.....	20
II.2.1 – Classe A1.....	20
II.2.1.a – Mécanisme.....	20
II.2.2- Classe A2.....	21
II.2.2.a- Mécanisme.....	21
II.2.3- Classe B.....	22
II.2.3.a- Mécanisme.....	22
II.2.4- Classe C.....	23
II.2.4.a- Mécanisme.....	23
PARTIE II : COMPARAISON DES SYSTEMES MONOBLOCS ET	
AUTRES SYSTEMES STATIQUES	
CHAPITRE I : SYSTEMES D'ISOLATION.....	24
I.1- Les divers modes de transfert de la chaleur.....	24
I.1.1- Généralités.....	24
I.1.2- Transmission de la chaleur par conduction.....	24
I.1.2.a- Etude de la conduction.....	24
I.1.2.b- Expression de la conductivité thermique.....	25
I.1.2.c- Mur plan.....	26
I.1.2.d- Conduction de la chaleur, en régime permanent, dans une paroi homogène à face parallèle.....	27
I.1.3- Transmission de la chaleur par convection.....	28
I.1.5- Transmission de la chaleur combinée (cas réelle).....	29
CHAPITRE II : PROPOSITION DE SYSTEME DE COMMANDE.....	32
II.1- Classe A1.....	32
II.1.a- Tableau de bord	32
II.1.b-Circuit de commande d'un engin de la classe A1.....	33
II.1.c-Circuit de puissance.....	34
II.2- Classe A2.....	35
II.2.a- Tableau de bord.....	35
II.2.b-Circuit de commande d'un engin de la classe A2.....	36
II.2.c-Circuit de puissance.....	37
II.3- Classe B.....	38
II.3.a- tableau de bord.....	38
II.3.b-Circuit de commande d'un engin de la classe B.....	39
II.4- Classe C.....	40
II.4.a- tableau de bord.....	40
II.4.b-Circuit de commande et circuit de puissance.....	41
II.5- Différenciation des deux systèmes.....	41
II.5.1- Fonctionnement.....	41
II.5.2- Pannes.....	42
II.6- Stabilité et vibration	43

CHAPITRE I : ETUDE DES PANNES DANS LES CONTENEURS.....	44
I.1- Pannes fréquentes rencontrées.....	44
I.1.1- Pannes électriques.....	44
I.1.2- Pannes mécaniques.....	44
I.1.3- Pannes électriques liées à l'état mécanique du véhicule	44
I.1.4- Exploitation des pannes.....	45
I.1.4.1- Panne électrique.....	45
I.1.4.1.a- Source d'alimentation.....	45
I.1.4.1.b- Circuit de commande.....	46
I.1.4.1.c- Moteurs électriques.....	47
I.1.4.2- Pannes mécaniques.....	48
CHAPITRE II : PROPOSITION DE GESTION DE LA MAINTENANCE DES ENGIN.....	49
II.1- Formation du personnel.....	49
A. formation technique (notion de technologie du camion frigorifique).....	49
B. formation pratique	49
II.2- Planning de maintenance.....	49
AVANT CHAQUE TRANSPORT.....	50
TOUTES LES 360 HEURES DE MARCHE.....	51
TOUTES LES 1250 HEURES DE MARCHE.....	52
II.3-TABLEAU RESUMANT LES MAINTENANCES.....	53
CHAPITRE III : LOGICIEL DE CALCUL ET SIMULATION DES PANNES EN VISUAL BASIC	54
III.1- Présentation du logiciel.....	54
III.2- Calcul du temps optimal de réparation des pannes.....	54
III.2.1- Démonstration.....	54
III.2.2- Calcul du temps de dépannage.....	57
III.3 – Organigramme pour la détection des pannes.....	57
III.4- Le logiciel.....	58
CHAPITRE IV : ENVIRONNEMENT.....	60
IV.1- Impactes environnementaux.....	60
IV.1.1-Destruction de la couche d'ozone.....	60
<i>Mécanisme de destruction.....</i>	<i>61</i>
IV.1.2-Rechauffement de la planète.....	61
IV.2- Quelques éléments destructeurs de l'environnement.....	61
IV.3-Mesures prise pour lutter contre la destruction de la couche d'ozone.....	61
CONCLUSION.....	63

ANNEXES

INTRODUCTION

L'île de Madagascar est située à 300 km à l'Est du continent Africain, séparée par le canal de Mozambique, se trouve dans l'hémisphère sud au milieu de l'océan Indien et traversée par le tropique du Capricorne. Elle est située entre le 12° et le 26° latitude Sud, dans la zone équatoriale. Ce qui la classe dans les pays tropicaux c'est-à-dire parmi les pays chauds avec changement de climat.

Les secteurs agricoles, pêches et élevages demeurent les principales ressources des activités économiques et réclamant une conservation adéquate.

A cet effet, une installation frigorifique est à prévoir.

La technique du froid connaît une expansion notable même si auparavant cette technique était peu développée et peu appliquée vu l'ambiguïté de la situation économique de cette époque.

Comme Madagascar est une île en voie de développement, les produits bovins pêchés, récoltés et leurs dérivés peuvent être transportés d'une province à l'autre avec des changements de température dans des conteneurs.

Le présent mémoire s'intitule : MISE EN PLACE DE LA MAINTENANCE DES ENGINS FRIGORIFIQUES (logiciel DEPANNENGINS).

Cet ouvrage comporte les trois (3) parties suivantes :

1. BASES THEORIQUES se répartissant comme suit :
 - Les principes de production du froid dans les transports et la classification des engins ;
 - Le fonctionnement et les types de mécanisme ainsi que leur système de régulation ;
2. COMPARAISON DES SYSTEMES MONOBLOCS ET AUTRES SYSTEMES STATIQUES
 - Systèmes d'isolation ;
 - Proposition de système de commande ;
3. OPTIMISATION D'EXPLOITATION DES CONTENEURS FRIGORIFIQUES DANS LES TRANSPORTS et se répartissant comme suit :
 - Etude des pannes dans les conteneurs ;
 - Proposition de gestion de la maintenance des engins ;
 - Un logiciel de simulation des pannes programmé en VISUAL BASIC
 - L'étude d'impact environnemental de l'exploitation du froid dans le transport.

Il a pour but ainsi de vulgariser l'intervention sur les pannes rencontrées et aussi de visualiser sur logiciel les systèmes mécaniques, fluidiques et électriques d'un engin afin de maîtriser la maintenance proprement dite. Pour cela, la connaissance de tous les comportements des systèmes concernés est indispensable.

PARTIE I

BASES THEORIQUES

CHAPITRE I : PRODUCTION DU FROID

I.1 - Généralités

Les procédés de production du froid sont très nombreux, mais l'importance relative de chaque procédé est très inégale.

On peut classer les différents procédés actuellement connus en fonction de la nature des phénomènes de base qu'ils exploitent.

Certains phénomènes purement physiques sont exploitables et ils sont basés soit sur les propriétés thermodynamiques des fluides, soit sur les propriétés électriques ou magnétiques de certains solides.

D'autres phénomènes utilisables pour la production du froid sont de nature physico-chimique.

Les procédés qui utilisent les propriétés thermodynamiques des fluides et essentiellement des fluides gazeux constituent l'ensemble des cycles à compression et détente. Le fluide véhiculé, appelé fluide frigorigène, peut subir ou non un changement de phase.

I.2 - Procédés de production du froid

I.2.1 - Effet PELTIER

Ce sont les machines thermoélectriques. Il s'agit ici de la mise en oeuvre des propriétés thermoélectriques de certains solides, généralement des alliages métalliques. Il en résulte un refroidissement lors du passage d'un courant, dans un sens donné, entre l'une des parties de la jonction ou soudure de deux surfaces conductrices de nature différente.

I.2.2 - La désaimantation adiabatique

L'obtention de températures avoisinant le zéro absolu n'est actuellement réalisée que par l'utilisation des phénomènes thermiques qui accompagnent la désaimantation adiabatique de certains cristaux.

Le retour en position initiale des dipôles magnétiques des atomes d'une substance paramagnétique, après avoir été forcé à s'aligner par un champ magnétique puissant, on interrompe ensuite le champ tout en supprimant le contact avec l'hélium liquide où baigne la substance ; les dipôles en perdant leur alignement, provoquent l'absorption d'une grande quantité de chaleur qui ne peut être prise que par la substance elle-même et qui se refroidit. En répétant l'opération on peut abaisser la température jusqu'à 0.001°K

I.2.3 - Les mélanges réfrigérants

Ce procédé utilise les propriétés physico-chimiques liées aux phénomènes thermiques qui se manifestent lors de la dissolution de certains solides ou liquides dans des solvants liquides ou lors de l'absorption de certaines vapeurs dans des absorbants solides ou liquides.

Cette dissolution absorbe une quantité de chaleur équivalente à sa chaleur latente de fusion. On peut utiliser plusieurs mélanges avec deux ou plusieurs constituants comme le mélange de « neige + chlorure de calcium » par exemple.

I.2.4 - Détente d'un gaz comprimé

La compression d'un gaz élevant sa température, réciproquement la détente d'un gaz comprimé abaissera la température du gaz détendu.

Le fait de la détente du gaz à travers un orifice étroit absorbe des calories. On peut utiliser l'air comme agent réfrigérant agissant sur l'eau à travers un échangeur. C'est sur ce principe que sont basées les machines permettant la liquéfaction des composants de l'air (azote, oxygène, etc. . .)

I.2.5 - Evaporation d'un liquide pur

Du point de vue économique et pratique, les procédés à compression et détente d'un liquide pur sont incontestablement de loin les plus importants.

Après avoir été comprimé et condensé, le fluide frigorigène se détend et s'évapore. Cette détente et évaporation s'accompagnent d'une absorption d'une quantité de chaleur équivalente à la chaleur latente de vaporisation du liquide.

Ces types de machine utilisent les propriétés thermodynamiques d'un fluide frigorigène. Elles se distinguent selon que la détente se fait avec ou sans production de travail extérieur.

I.3 - Utilité du froid dans les transports

Des denrées périssables sont introduites dans les conteneurs, ces denrées se pourrissent et subissent des altérations si l'on tente de les transporter ou de les conserver au-delà d'une certaine période.

On utilise, soit la conservation par la chaleur, soit la conservation par le froid qui est en outre notre cas.

La conservation par le froid a pour but de :

- détruire les microbes ou les germes
- stopper leur développement par l'abaissement de la température, suppression de l'humidité et par la modification de l'atmosphère.

L'utilité du froid dans les transports, que ce soit maritime, aérienne ou terrestre est donc de maintenir l'état physique et la fraîcheur des denrées ou produits depuis leur entreposage jusqu'à leur dépôt.

Nous tenons à signaler que les denrées entrantes devront, à cause des pertes de charges thermiques lors de leur entreposage dans les conteneurs, être proches de leur température de conservation pour des raisons économiques et les états mécaniques des engins frigorifiques selon leurs types et cela avant de les transporter.

I.4 - Production du froid dans les transports

L'utilisation des basses températures s'est très fortement répandue dans l'industrie et dans la vie domestique. Le refroidissement des corps jusqu'à une température inférieure à celle du milieu ambiant est obtenu au moyen d'une installation frigorifique fonctionnant suivant un cycle thermique inverse, c'est-à-dire suivant un cycle inverse de Carnot. Le froid dans toutes ses enceintes est obtenu en absorbant la chaleur qui y est rependu.

On emploie dans les transports le cycle à compression de vapeur avec changement de phase en utilisant un fluide frigorigène que nous considérons comme un gaz parfait et que ces fluides obéissent à la loi de la thermodynamique.

En comprimant les vapeurs de fluide frigorigène de façon polytropique sa température et sa pression augmentent jusqu'à la température et pression de condensation pour le condenser. Cette condensation lui permet de dégager hors de l'enceinte à refroidir la quantité de chaleur qu'on vient d'absorber. Après être condensé, le fluide frigorigène sera détendu par le détendeur pour libérer la pression et en contact avec la pression atmosphérique dans l'évaporateur les fluides frigorigènes se vaporisent en absorbant de la chaleur et ceux-ci forment le cycle à compression de vapeur pour la

production de froid dans notre cas. Mais en pratique tous les cycles correspondants à cela ne sont pas toutes réalisables.

I.4.1 – Les cycles idéals irréalisables de Carnot

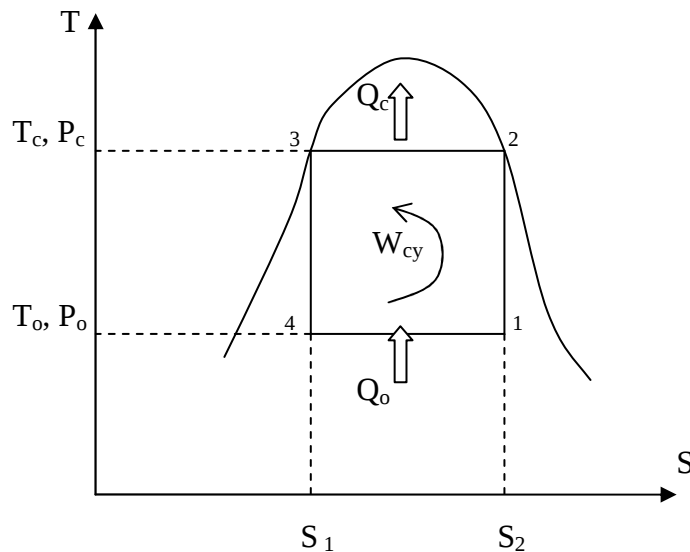


Fig. I.1 : cycle idéal de Carnot dans un diagramme entropique (T, S)

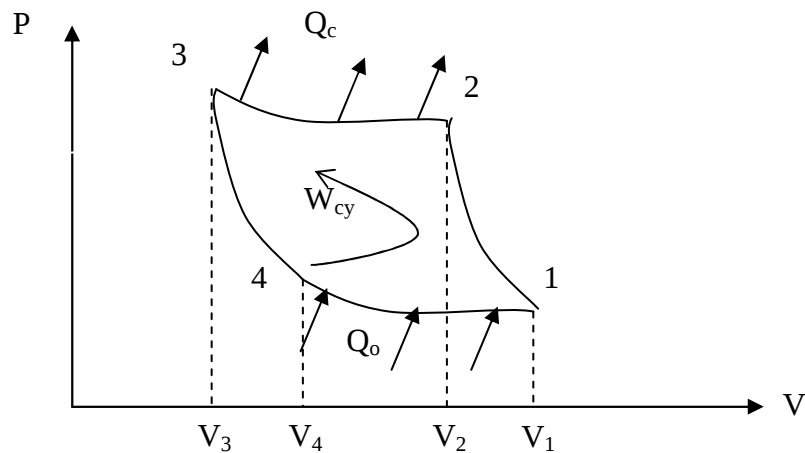


Fig. I.2 : cycle frigorifique réversible de Carnot dans un diagramme (P, V)

Le travail produit par le gaz lors de sa détente est représenté par l'aire située sous la courbe 1-4-3, le travail dépensé pour la compressé par l'aire sous la courbe 1-2-3 et, par conséquent la différence de ces travaux est donné par l'aire 1-2-3-4-1 (diagramme P,V). Désignons cette différence des travaux par W_{cy} .

Pour le diagramme entropique, rapporté à un kilogramme de fluide frigorigène, on a :

- puissance frigorifique massique, absorbée au niveau de l'évaporateur

$$Q_0 = T_0 (S_2 - S_1) \quad [\text{kJ/kg}]$$

- puissance calorifique massique, cédée au niveau du condenseur

$$Q_c = T_c (S_2 - S_1) \quad [\text{kJ/kg}]$$

- travail massique à fournir par le compresseur

$$\begin{aligned} W_{cy} &= Q_c - Q_0 \\ \Rightarrow W_{cy} &= T_c (S_2 - S_1) - T_0 (S_2 - S_1) \quad [\text{kJ/kg}] \\ &= (T_c - T_0) (S_2 - S_1) \end{aligned}$$

- Coefficient de performance:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ca} = \varepsilon_{\max} &= \frac{Q_o}{W_{cy}} \\ &= \frac{T_o}{T_c - T_o} \end{aligned}$$

On constate que le coefficient de performance du cycle idéal de Carnot ne dépend que de la température d'évaporation et celle de condensation quel que soit le fluide frigorigène employé. C'est pour ça qu'il est dit maximal et sans unité. Ceci est obtenu si la température d'évaporation (T_0) est plus élevée et la température de condensation (T_c) plus faible en leurs limites, c'est-à-dire que lorsque le travail du compresseur est d'autant plus faible.

I.4.2 - Cycle théorique

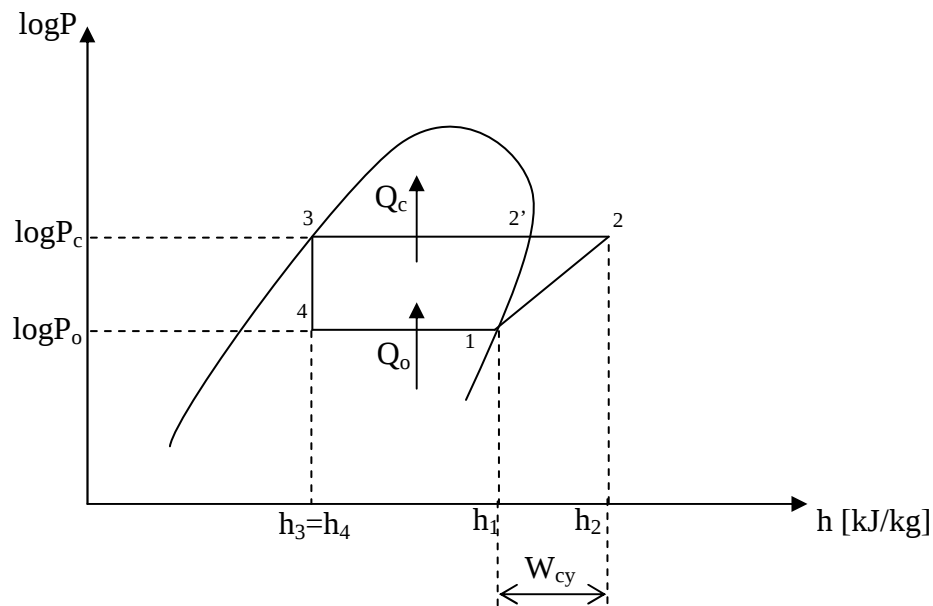


Fig. I.3 : cycle théorique représenté dans un diagramme enthalpique (h , $\log P$)

On a :

- (Q_0) : puissance frigorifique massique, absorbée au niveau de l'évaporateur

$$Q_0 = h_1 - h_3 \quad [\text{kJ/kg}]$$

- (Q_c) : puissance calorifique, cédée au niveau du condenseur

$$Q_c = h_2 - h_3 \quad [\text{kJ/kg}]$$

- $$\begin{aligned} W_{cy} &= Q_c - Q_0 \\ &= h_2 - h_1 \quad [\text{kJ/kg}] \end{aligned}$$

- $$\varepsilon_{is} = \frac{Q_o}{W_{cy}}$$
- $$\varepsilon_{is} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1}$$

1 – 2 : compression
2 – 3 : désurchauffe
3 – 4 : condensation
4 – 5 : sous refroidissement
5 – 6 : détente
6 – 7 : évaporation
7 – 1 : surchauffe

$$Q_0 = h_1 - h_5 \quad [\text{kJ/kg}]$$

- $$Q_c = h_2 - h_6 \quad [\text{kJ/kg}]$$

- $$\begin{aligned} W_{cy} &= Q_c - Q_0 \\ W_{cy} &= h_2 - h_1 \quad [\text{kJ/kg}] \end{aligned}$$

- le coefficient de performance : ε

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W_{cy}}$$

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$

Pour le froid, ce coefficient doit être inférieur à 3,5.

Le diagramme (fig. I.4) est à l'issue du schéma fluide généralisé des conteneurs suivants :

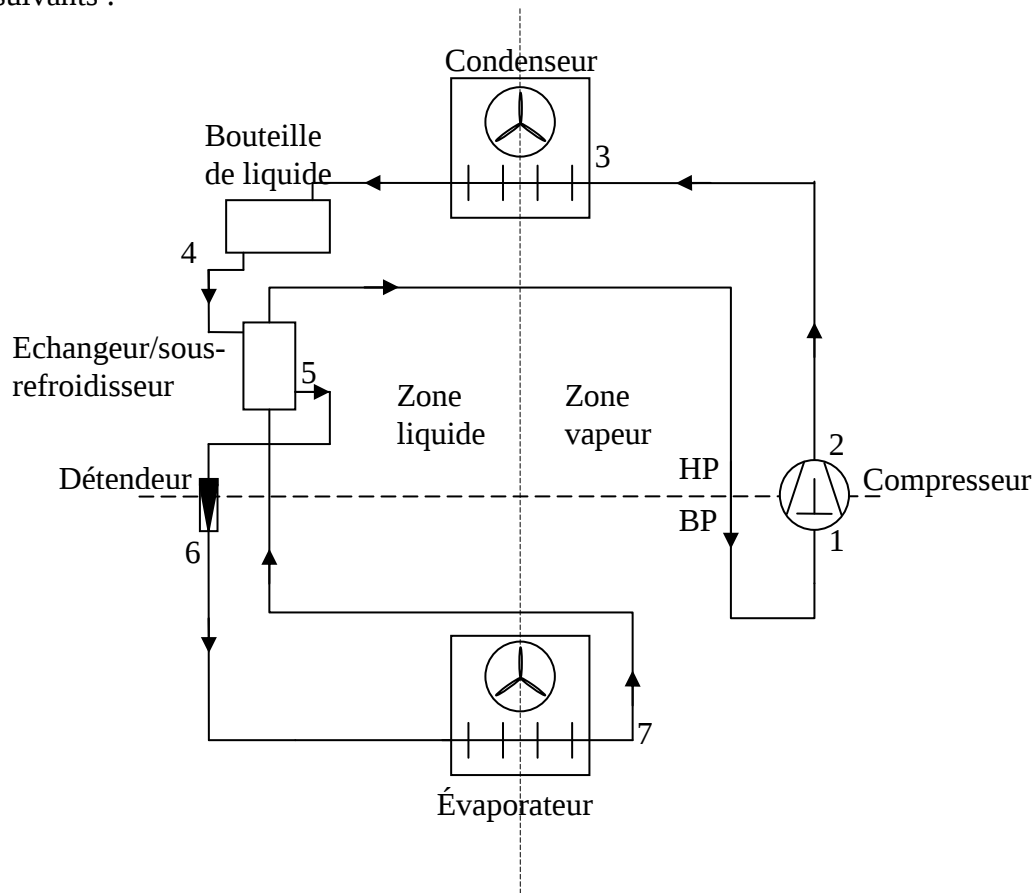


Fig. I.5 : circuit fluide généralisé des conteneurs frigorifiques

Pour un cycle à compression de vapeur :

Le compresseur aspire les vapeurs surchauffées de fluide frigorigène à l'état (1) et en assure la compression de façon polytropique, ce qui les porte à l'état (2) auquel correspond une température T_c et une pression P_c . Il y a ensuite désurchauffe des vapeurs de fluide frigorigène comprimé de l'état (2) à l'état (3), c'est-à-dire entre la sortie du compresseur et l'entrée du condenseur (désurchauffe initiale) puis elles subissent une condensation à pression constante P_c de l'état (3) à l'état (4). Le fluide frigorigène sera alors à l'état totalement liquide (liquide saturant) au point (4). Après être condensé le fluide traverse un échangeur de chaleur dont le rôle est double : d'une part sous-refroidir le fluide frigorigène liquide provenant du condenseur et simultanément surchauffer les vapeurs de fluide frigorigène à l'aspiration du compresseur, ce qui permet d'augmenter la production frigorifique Q_0 . Ensuite le fluide traverse le détendeur pour passer de la pression de condensation P_c à la pression de

vaporisation P_0 et à sa sortie il traverse l'évaporateur pour l'évaporation et est surchauffé au moyen de l'échangeur avant d'être aspiré et comprimé pour recommencer le cycle.

I.5 - Les éléments principaux pour la production du froid

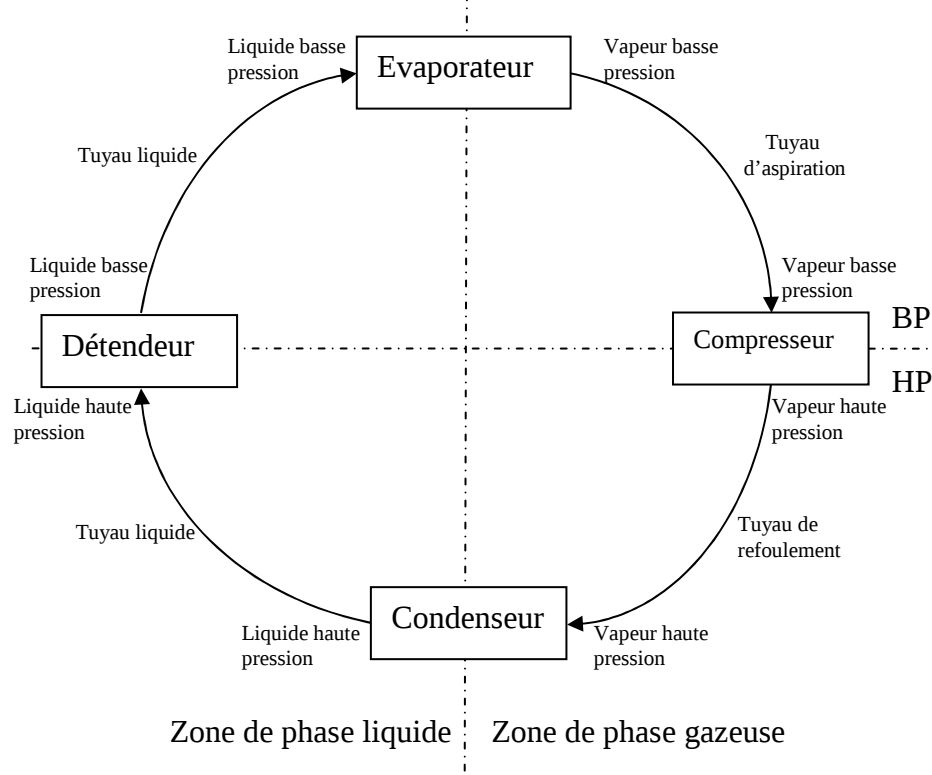


Fig. I.6 : les éléments principaux pour la production du froid dans les transports

I.5.1 - L'évaporateur

L'évaporateur dans lequel le fluide frigorigène se vaporise en enlevant une certaine quantité de chaleur Q_0 [J] au médium à refroidir est constitué d'un tube et peut être muni de plusieurs ailettes.

C'est un échangeur de chaleur entre le fluide extérieur et le fluide frigorigène, et la vitesse d'extraction de la chaleur se caractérise par la puissance frigorifique à l'évaporateur.

$$Q_0 = (\text{Surface de l'évaporateur}) \times (\text{coefficient de transfert de chaleur}) \times (\text{différence de température})$$

Dans les transports, il existe 2 types d'évaporateurs :

- évaporateur noyé
- évaporateur non noyé

I.5.1.1 - Evaporateur noyé

C'est un évaporateur à immersion. Il est ici immergé dans le fluide à refroidir tel que la saumure.

I.5.1.2 - Evaporateur non noyé

On utilise surtout l'évaporateur à circulation d'air forcée. Il consiste, essentiellement en un ensemble de surfaces froides sur lesquelles passe de l'air mis en mouvement forcé par un ventilateur.

L'écartement des ailettes dépend aussi bien de la température de la chambre froide que de la nature et de l'émission de la vapeur d'eau des denrées à refroidir. Pour les denrées qui ne dégagent que peu de vapeur, l'écartement des ailettes est faible. Pour les denrées conservées à très basse température, elles émettent beaucoup de vapeur d'eau et on doit avoir un écartement moyen.

I.5.2 - Le moto compresseur

C'est l'ensemble d'un moteur et d'un compresseur dans lequel se passe la compression du fluide. Selon leur montage, on peut les classer en deux catégories :

- les moto compresseurs hermétiques : le moteur et le compresseur sont enfermés dans un carter inaccessible
- les moto compresseurs semi hermétiques : le moteur et le compresseur sont séparés. Ils se sont reliés par un organe de transmission.

La façon dont le fluide frigorigène est comprimé dans le compresseur permet de classer le compresseur en compresseur volumétrique ou en compresseur centrifuge.

Pour les compresseurs volumétriques, la compression est due à la variation du volume dans le cylindre. Ils peuvent être rotatifs ou alternatifs à pistons.

Le rôle des compresseurs est d'aspirer les vapeurs formées dans l'évaporateur à la pression P_0 , les comprime et les refoule à la pression P_c .

I.5.3 - Le condenseur

C'est dans le condenseur que se passe la condensation du fluide frigorigène, la désurchauffe des vapeurs comprimés et le sous-refroidissement partiel des liquides condensés. Cela en cédant une certaine quantité de chaleur Q_c aux milieux extérieurs.

Suivant la nature de son fluide extérieur, on peut classer les condenseurs en condenseur à eau ou en condenseur à air.

Dans les transports, on utilise le condenseur à air. Son fluide extérieur est alors l'air. Il est composé d'un tube serpentin et des ailettes. Le nombre des ailettes est limité de sorte que l'air puisse y circuler. Le condenseur à air peut être à circulation naturelle ou à circulation forcée. Le notre est à circulation forcée.

Le condenseur à air à circulation naturelle est utilisé pour les installations de très faible puissance.

Le condenseur à air à circulation forcée peut être utilisé pour les installations ayant une puissance jusqu'à 2 000 kW.

I.5.4 - Le détendeur

Le détendeur laisse passer le fluide frigorigène liquide du condenseur à la haute pression P_c vers l'évaporateur à basse pression P_0 . Il n'y a pas d'échange d'énergie ou de chaleur avec l'extérieur. Il comporte un autre dispositif comme pour assurer l'alimentation normale en fluide frigorigène de l'évaporateur.

Dans les transports on utilise le détendeur thermostatique à égalisation de pression externe. Sa fermeture et son ouverture dépendent de la surchauffe du fluide frigorigène sortant de l'évaporateur.

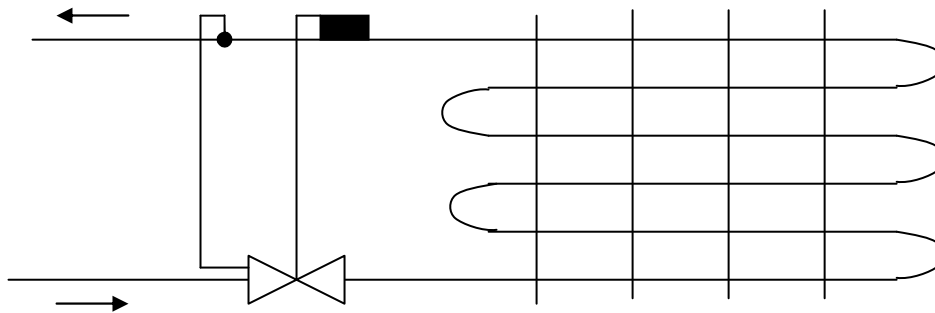


Fig. I.7 : détendeur thermostatique à égalisation de pression externe

Ce détendeur est dit d'égalisation de pression interne si la pression d'injection agit directement sous le soufflet qui est utilisé pour un évaporateur à perte de charge négligeable.

I.5.5 - Les fluides frigorigènes

Le fluide frigorigène est le premier élément pouvant être considéré comme le noyau du système de production du froid. Il peut se changer en deux états physiques : liquide et vapeur. C'est le fluide frigorigène qui absorbe la chaleur et la rejette hors du milieu à refroidir.

Il existe plusieurs fluides frigorigènes :

• L'anhydride sulfureux : SO_2

C'est un fluide incolore, non inflammable et non explosif ayant une odeur piquante. Son point d'ébullition à la pression atmosphérique est de $-10^\circ C$. Ses fuites sont faciles à détecter en utilisant les vapeurs d'ammoniac qui, en contact du SO_2 donne naissance à une couleur blanchâtre. Il n'a aucune action sur le lubrifiant et les métaux tant qu'il est sec, c'est-à-dire que l'utilisation du SO_2 soit dépourvue de toute humidité.

• Le chlorure d'éthyle : C_2H_5Cl

Faible tension de vapeur et pour avoir une température d'évaporation de $-16^\circ C$, on doit travailler avec un vide de 50 cm de Hg. On évite aussi l'entrée d'humidité avec l'utilisation de C_2H_5Cl car sa réaction avec l'humidité provoque la formation d'hydrate solide qui peut boucher le circuit.

• Le chlorure de méthyle: CH_3Cl

Il est incolore et à une température inférieure à $100^\circ C$ il n'attaque pas les métaux couramment employés en réfrigération mais, il attaque le zinc, l'aluminium et les alliages légers. Ses fuites peuvent être détecté à l'aide d'une lampe haloïde. Le CH_3Cl n'est pas toxique, il n'a aucun effet sur les yeux. La présence d'humidité dans le circuit a pour effet d'une formation d'hydrate solide.

• Le difluorodichlorométhane : CCl_2F_2 appelé aussi R12

C'est un fluide incolore, sans odeur et non inflammable. Sa température d'ébullition est de $-29^\circ C$. Il n'a pas de réaction avec l'humidité. Aux températures normales d'évaporation, sa tension de vapeur est supérieure à la pression atmosphérique.

Par contre, quand il est en présence d'une flamme vive, on a une formation d'un gaz dangereux appelé « phosgène ».

- **Le tetrafluorodichloroéthane : $C_2Cl_2F_4$ appelé aussi R114**

Il est surtout utilisé dans les petits groupes hermétiques de faible puissance car sa pression de refoulement est peu élevée. En présence d'eau, il attaque les métaux. Au point de vue thermique il est voisin du CH_3Cl .

- **Le monofluorotrichlorométhane : CCl_3F appelé aussi R11**

Il est thermiquement voisin du CH_3Cl . Ses vapeurs doivent être absolument écartées d'une flamme vive car ils sont faciles à se déformer en phosgène.

- **$CHClF_2$ ou R22**

Le R22 n'a aucune action avec l'humidité. Il ne provoque pas de trouble grave qu'après un séjour de 2h en atmosphère polluée pour une concentration de 10 % en volume.

- **Le R502**

C'est un mélange azéotrope de réfrigérant à 48,8 % de R22 et 51,2 % de R115.

Sa production frigorifique est supérieure à celle du R22. Le R502 dissout moins d'eau que le R22. Ceci est environ de 5 fois plus que le R12.

- **$CClF_3$ ou R13**

On peut obtenir avec le R13 une température de $-80^\circ C$ à $-100^\circ C$ dans les compresseurs à pistons fonctionnant en cascade si à l'étage supérieur de la cascade de la machine, le fluide frigorigène utilisé est le R12 ou le R22.

Le R13 attaque le magnésium et les alliages légers.

D'après toutes les caractéristiques de ces différents fluides frigorigènes, on peut en conclure qu'un fluide frigorigène parfait a les qualités suivantes :

1. sans odeur ;
2. non inflammable et non explosif en mélange avec l'air ;
3. sans effet sur la santé et pour les denrées à conserver en cas de fuite ;
4. pas d'action sur les métaux employés en réfrigération ;
5. fuites faciles à détecter ;
6. faible volume spécifique de la vapeur saturée ;
7. point d'ébullition sous la pression atmosphérique ;
8. chaleur latente de vaporisation très élevée ;
9. contribution à l'effet de serre ;
10. être d'un coût moins cher.

I.6 - Les appareillages annexes

Ils diffèrent le froid ménager du froid industriel à part le système de régulation et de sécurité.

I.6.1 - Le séparateur d'huile

Son rôle est de séparer l'huile au fluide frigorigène au moment du refoulement du compresseur afin de :

- éviter l'accumulation de l'huile dans les parties basses pressions de l'installation car l'huile y est trop visqueuse ;
- permettre le maintien du niveau suffisant de l'huile dans le carter pour la lubrification des organes du moteur ;
- minimiser la concentration de l'huile dans le fluide frigorigène.

I.6.2 - Le réservoir liquide

Il est monté en position verticale ou horizontale après le condenseur. Il reçoit le fluide frigorigène venant du condenseur. Il est nécessaire pour éviter la sous-alimentation de l'évaporateur quand il y a une importance d'apports calorifique en provenance du milieu à refroidir, et il n'existe que pour les installations industrielles.

I.6.4 - Le filtre déshydrateur

Il est nécessaire pour retenir les limailles et les parcelles de métal ou des impuretés pouvant être entraînées par le fluide. Il est utile aussi pour maintenir la quantité d'eau contenue dans le fluide en dessous d'une valeur maximale, pour ne pas congeler cet apport d'eau dans les parties les plus froides de l'installation.

I.6.5 - Voyant liquide

Il sert à indiquer l'état physique du fluide et de vérifier l'efficacité du déshydrateur. Il permet aussi de nous indiquer le manque de fluide dans l'installation en présentant des bulles. Il est monté après le filtre déshydrateur sur les tuyauteries liquides.

I.6.6 - Échangeur

Il permet d'améliorer la puissance frigorifique en sous-refroidissant d'une part, le liquide admis au détendeur et d'autre part, de surchauffer les vapeurs sortant de l'évaporateur.

I.6.7 - Les tuyauteries

Ce sont les éléments assurant la communication entre les éléments mentionnés ci-dessus les uns à des autres.

On pourra bien vérifier cette communication par les schémas fluidiques qui suivront. Mais il y aura toujours une différence entre ces schémas fluidique et les conteneurs selon leurs classes.

I.7 - Classification des engins frigorifiques

Dans les transports, il y a trois types d'engins frigorifiques suivant le type d'entraînement du compresseur.

1 - Classe A

Le compresseur peut être entraîné soit par un moteur électrique, soit par un moteur thermique mais pas les deux à la fois. Elle se divise en deux catégories selon le type de mécanisme qu'on verra par la suite.

Ils peuvent atteindre la température de conservation -20°C .

2 - Classe B

Le compresseur ne peut être entraîné que par un moteur thermique seulement. Ils peuvent aussi atteindre la température de conservation -20°C .

3 - Classes C

Dans cette classe, le compresseur ne peut être entraîné que par un moteur électrique seulement et le froid obtenu est stocké par un fluide frigoporteur tel que le saumure.

Le saumure et l'évaporateur de l'installation frigorifique sont contenus dans des plaques montées sur les murs dans le conteneur. Il est préférable que ces camions transportent les denrées à conservation positive, c'est-à-dire supérieur à -3°C.

I.7.1- Avantages

L'avantage de l'utilisation de camion frigorifique, c'est qu'ils peuvent transporter des denrées périssables pour les régions les moins accessibles aux autres systèmes de transports.

a- Classe A

Elle présente beaucoup d'avantage du point de vue pratique et économique parce que ces engins frigorifiques peuvent fonctionner n'importe où. On peut mettre en marche le moteur thermique en cours de route et de mettre en marche le moteur électrique lors d'un stationnement près d'une source de tension électrique 380V, raison d'économiser le carburant.

b- Classe B

Le moteur d'entraînement du compresseur peut être mis en marche en cours de route et dans des endroits les plus lointains.

c- Classe C

Elles peuvent être mis en marche quand on se stationne près d'une source de tension électrique 380V et n'utilisent pas de carburant.

I.7.2 - Inconvénients

L'inconvénient de l'utilisation de camion frigorifique, c'est qu'ils ne peuvent transporter que d'une faible quantité de produit (selon l'indique leurs plaques signalétiques) par rapport au système de transport ferroviaire et au moyen de transport maritime.

a- Classe A

Le moteur électrique devient une charge pour le moteur thermique quand c'est celui-ci qui est en marche au moyen du système d'accouplement

b- Classe B

Economiquement le carburant devient une dépense folle quand on s'arrête près d'une source d'énergie électrique

c- Classe C

L'installation frigorifique ne peut fonctionner qu'auprès d'une source d'énergie électrique et en cas de panne mécanique majeure indépendante de l'installation frigorifique, les denrées pourraient subir une échauffement ou altération jusqu'à l'épuisement du froid stocké dans le saumure.

Tous ces engins frigorifiques ont tous leur utilisation et leur spécification selon le type de denrées à transporter.

I.8 - Description des engins frigorifiques

I.8.1 - Classe A

Les véhicules dans cette classe sont très utilisés par plusieurs sociétés qui se répartissent sur Madagascar et comme nous l'avons déjà mentionné ci-dessus cette classe se divise en deux catégories et c'est leur type de mécanisme, leur tableau de bord chacun suivie de leur circuit de commande qui les différencies.

Système de dégivrage

Ces camions utilisent le dégivrage par gaz chaud en utilisant une électrovanne pneumatique, et ceci est contrôlé par un pendule de dégivrage tout les 2 heures de marche. Ce dégivrage peut être manuel et temporisé ou automatique selon le type de commande imposé.

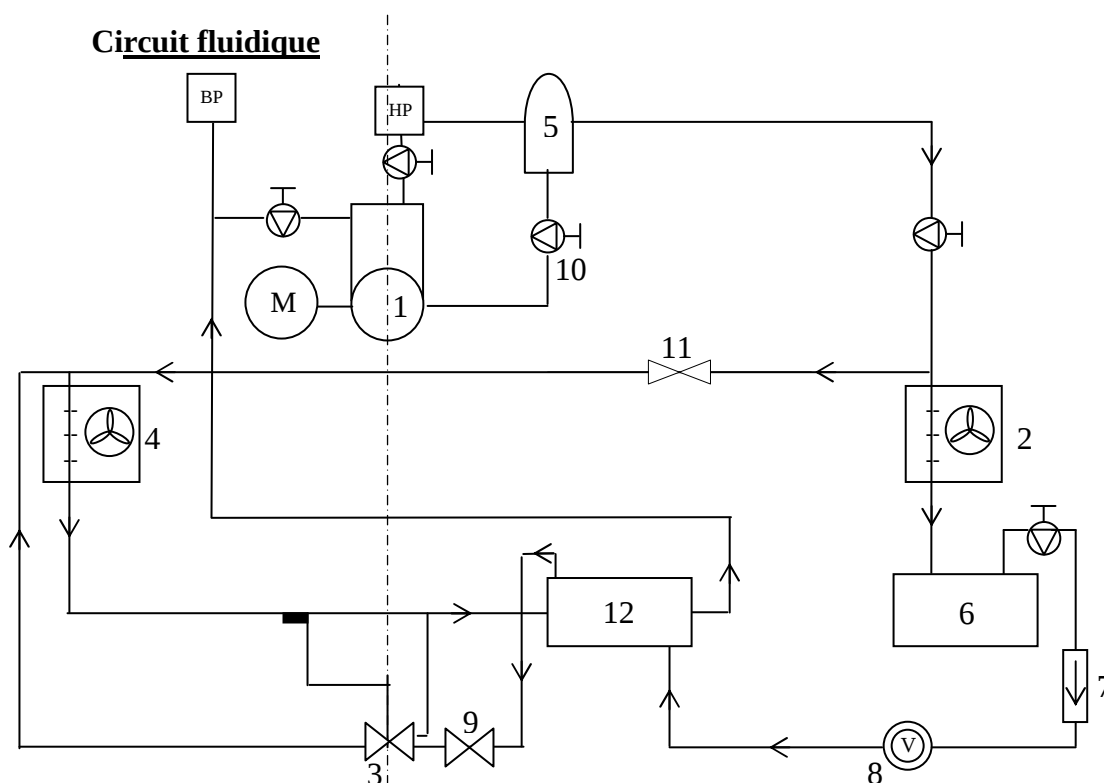


Fig. I.8 : circuit fluidique des engins de la classe A

M : moteur d'entraînement du compresseur

- (1) : compresseur
- (2) : condenseur
- (3) : détendeur thermostatique
- (4) : évaporateur
- (5) : séparateur d'huile
- (6) : bouteille liquide
- (7) : déshydrateur
- (8) : voyant liquide
- (9) : électrovanne liquide
- (10) : vanne à main
- (11) : électrovanne pneumatique pour dégivrage
- (12) : échangeur / sous-refroidisseur

I.8.1.1 - Catégorie A1



Fig. I.9 : photo d'un camion de la catégorie A1

I.8.1.2 - Catégorie A2

Il se différencie de la catégorie A1 par la disposition de son mécanisme et son circuit de commande. L'armoire des mécanismes se trouve au dessus de la cabine du chauffeur.



Fig. I.10 : photo d'un camion de la catégorie A2

I.8.2 - Classe B

Les véhicules dans cette classe sont utilisés pour réaliser des transports ou des livraisons des denrées périssables dans des endroits lointains pour cela, il faut emmener des carburants pré calculé (ex : 80litres de gas-oil pour Tana-Morondava c'est-à-dire 15litre/100km). Il faudrait bien vérifier leur mécanisme et leur tableau de bord pour les distinguer avec ceux de la classe A



Fig. I.11 : photo d'un camion de la classe B

a- Système de dégivrage

Ces camions utilisent le dégivrage par gaz chaud en utilisant une électrovanne pneumatique dès que le thermostat détecte une diminution excessive de la température. Ce dégivrage peut être manuel et temporisé ou automatique selon le type de commande imposé.

b- Circuit fluide

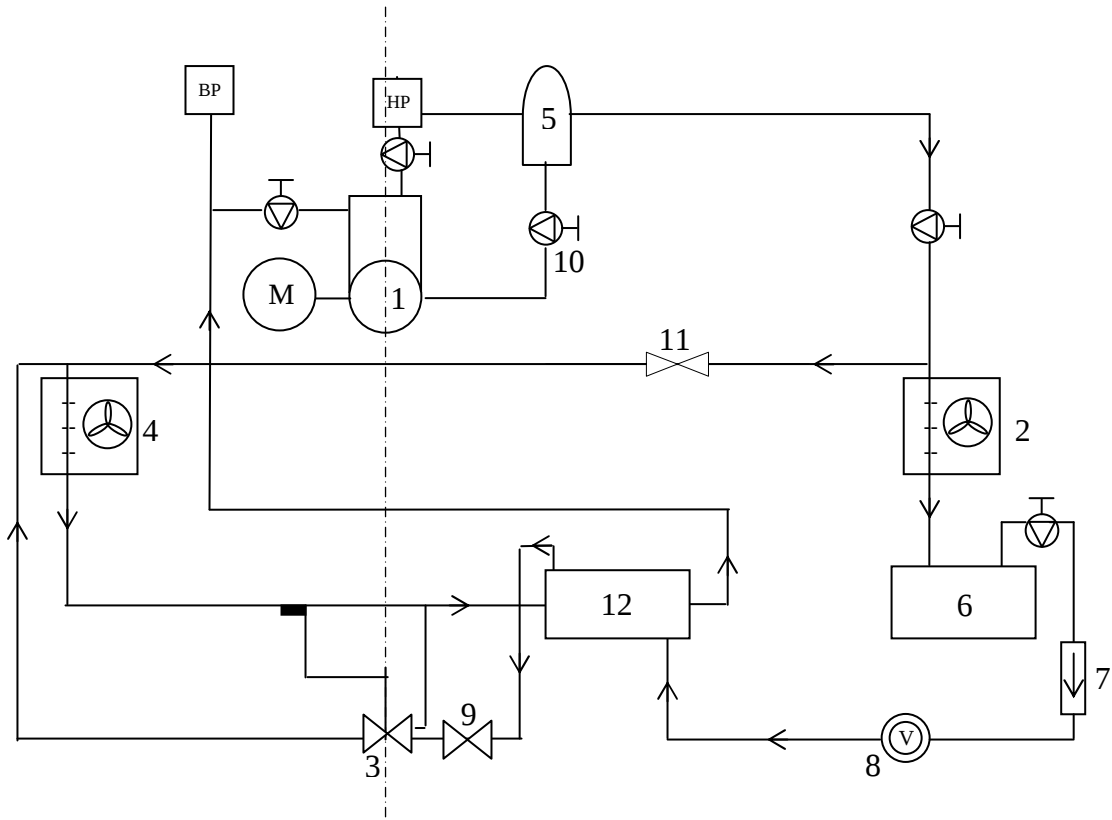


Fig. I.12 : circuit fluide des engins de la classe B

M : moteur thermique pour l'entraînement du compresseur

(1) : compresseur

(2) : condenseur

(3) : détendeur thermostatique

(4) : évaporateur

(5) : séparateur d'huile

(6) : bouteille liquide

(7) : déshydrateur

(8) : voyant

(9) : électrovanne liquide

(10) : vanne à main

(11) : électrovanne pneumatique pour dégivrage

I.8.3 - Classe C

Les camions dans cette classe utilisent des récipients (en forme de plaque) disposés sur les murs et plafond, remplie de saumure qui est un fluide frigoporteur et incongelable, où l'évaporateur de l'installation frigorifique y baigne. Ils sont surtout utilisés pour les livraisons des denrées à réfrigérer pendant la durée d'épuisement du froid stocké dans la saumure. Ils sont presque semblables aux installations frigorifiques ménagères sauf que les leurs sont montés sur un véhicule muni d'un échangeur.



Fig. I.13 : photo d'un camion de la classe C

a- Système de dégivrage

Le dégivrage est non fréquent. Ils utilisent le dégivrage par arrosage d'eau douce sur les plaques.

b- Circuit fluidique

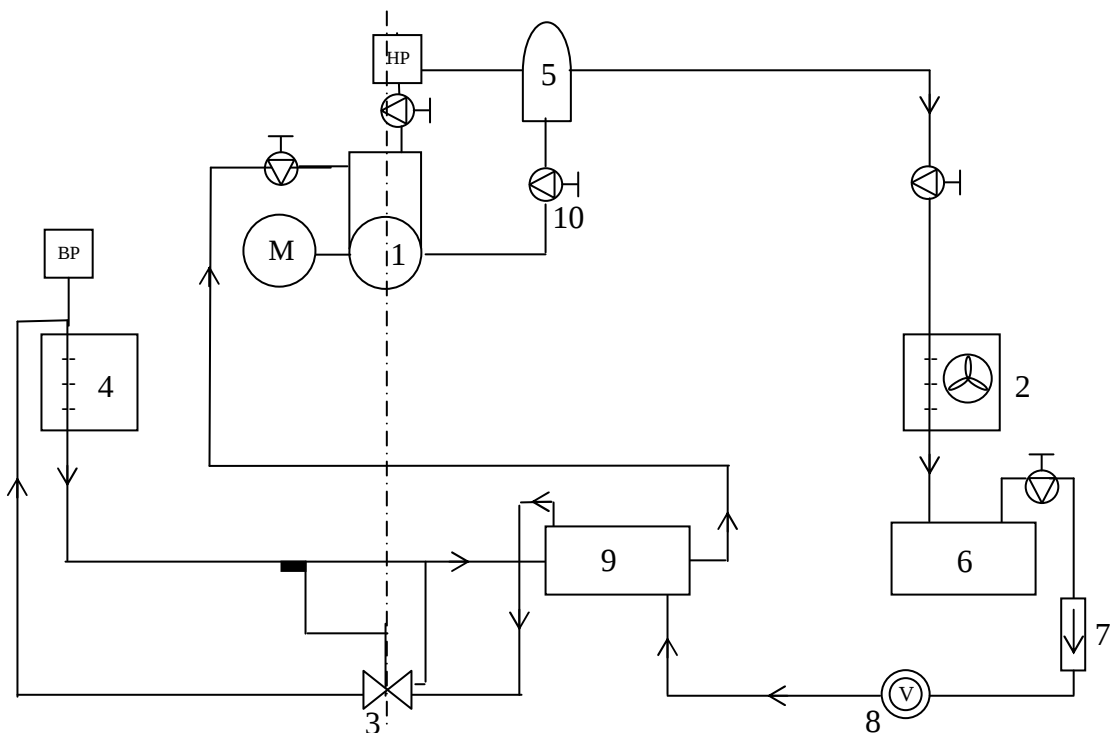


Fig. I.14 : circuit fluidique des engins de la classe C

M : moteur asynchrone triphasé 380 V servant à entraîner le compresseur

- (1) : compresseur
- (2) : condenseur
- (3) : détendeur thermostatique
- (4) : évaporateur noyé dans un bain de saumure
- (5) : séparateur d'huile
- (6) : bouteille liquide
- (7) : déshydrateur
- (8) : voyant
- (9) : échangeur sous-refroidisseur
- (10) : vanne à main

CHAPITRE II : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES FRIGORIFIQUES DANS LES TRANSPORTS

II.1 - Fonctionnement et utilité des différents éléments importants dans le mécanisme des engins

- **Démarreur**

C'est l'un des éléments les plus importants chez les systèmes mécanique, il sert à les faire démarrer.

- **Moteur thermique**

C'est un moteur diesel à 4 cylindres. Il sert à entraîner le compresseur par le système d'accouplement après avoir été démarré et d'avoir une certaine vitesse de rotation optimal pour que l'embrayage soit bien effectué.

- **Accélérateur magnétique**

C'est un appareil qui sert à l'accélération automatique du moteur thermique jusqu'à la vitesse d'engrènement. Il règle la quantité de carburant à injecter.

- **Pompe à eau**

Entraînée par le moteur thermique au moyen des courroies, elle sert à faire remonter l'eau de refroidissement du moteur thermique vers le radiateur qui se situe en haut de l'armoire.

- **Embrayage centrifuge**

C'est un système d'accouplement utilisant des garnitures adhérents et lorsque le régime de rotation est atteint il y aura une fixation des garnitures sur le tambour de l'embrayage ce qui transmet le moment de rotation au compresseur

- **Compresseur**

C'est le compresseur de l'installation frigorifique. Il sert à compresser les vapeurs surchauffés provenant de l'évaporateur quand il est entraîné.

- **Moteur asynchrone**

Alimenté par une source de tension 380V, il sert aussi à entraîner le compresseur au moyen des courroies.

- **Ventilateur externe**

Il se situe en haut de l'armoire et est entraîné par les courroies. Il sert pour la désurchauffe du fluide frigorigène liquide provenant de la bouteille liquide de l'installation frigorifique et de refroidir l'eau de refroidissement du moteur thermique.

- **Alternateur**

Se trouvant dans l'armoire il sert à charger la batterie d'alimentation des moteurs et des appareils.

- **Les courroies**

Ce sont des organes de transmission qui ont leur durée de vie. Ils servent pour la transmission des moments de rotation d'un élément à un autre.

- **Ventilateurs de l'évaporateur**

Ils se trouvent à l'intérieur du conteneur. Ils forcent l'air refroidi à se circuler et se repartir à l'intérieur du conteneur.

- **Sonde**

Se trouvant dans le carter, il est utilisé par le personnel pour lui signaler qu'il y a manque d'eau ou d'huile à l'intérieur du moteur thermique.

- **Les tuyauteries**

Ils servent pour la communication des éléments de l'installation frigorifique. Leurs dimensions sont en outre différentes selon leur fonction. Ce sont : la tuyauterie d'aspiration, la tuyauterie de refoulement et la tuyauterie sur la ligne liquide.

II.2 - Automatisme

Tous les camions utilisent un système de régulation tel que, un détendeur thermostatique et une électrovanne liquide pour gérer l'arrêt ou la mise en marche de l'installation frigorifique.

II.2.1 – Classe A1

II.2.1.a – Mécanisme

Les mécanismes de ces camions frigorifiques sont disposés verticalement entre le remorqueur et le remorque du côté remorque pour les camions de grande dimension intérieur (H x l x L = 2.5m x 2.5m x 12m).

H : hauteur du conteneur

l : largeur du conteneur

L : longueur du conteneur

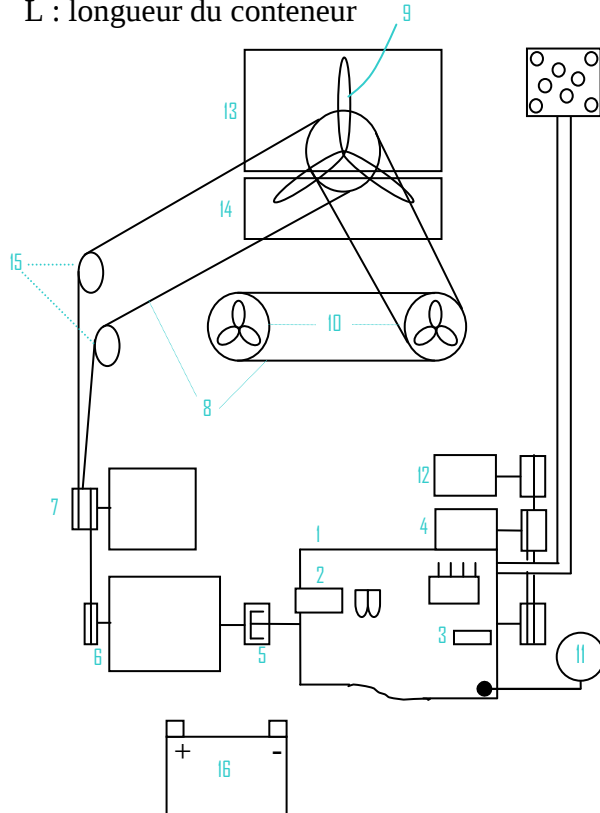


Fig. II.1 : mécanisme des engins frigorifiques de la catégorie A1

- (1) : moteur thermique
- (2) : démarreur
- (3) : accélérateur magnétique
- (4) : pompe à eau
- (5) : embrayage centrifuge
- (6) : compresseur
- (7) : moteur asynchrone triphasé 380V
- (8) : courroies de transmission
- (9) : ventilateur du condenseur et celle du radiateur
- (10) : ventilateur de l'évaporateur
- (11) : sonde
- (12) : alternateur
- (13) : condenseur
- (14) : radiateur du moteur thermique
- (15) : poulies
- (16) : batterie d'alimentation

II.2.2- Classe A2

II.2.2.a- Mécanisme

Situé au dessus du cabine du conducteur et disposé horizontalement comme la vue de dessus suivante.

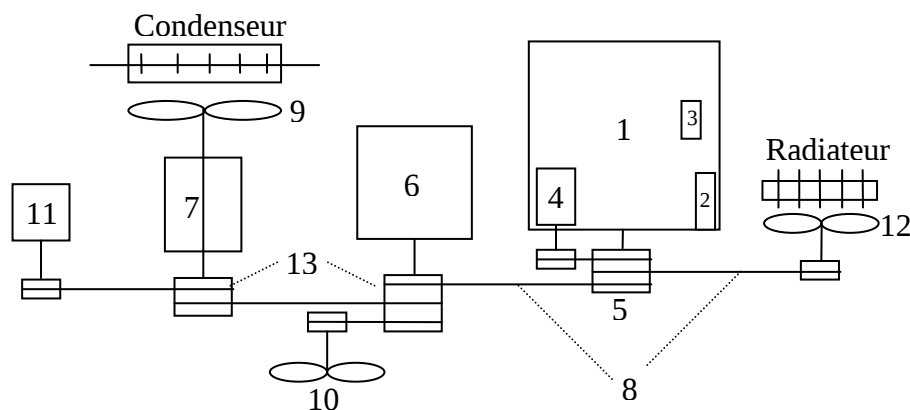


Fig.II.2 : mécanisme des engins frigorifique de la catégorie A2

- (1) : moteur thermique
- (2) : démarreur
- (3) : accélérateur magnétique
- (4) : pompe à eau
- (5) : embrayage centrifuge
- (6) : compresseur
- (7) : moteur asynchrone triphasé 380V
- (8) : courroies de transmission
- (9) : ventilateur du condenseur
- (10) : ventilateur de l'évaporateur
- (11) : alternateur
- (12) : ventilateur du radiateur
- (13) : poulies

II.2.3- Classe B

II.2.3.a- Mécanisme

Disposé verticalement du côté remorque entre le remorqueur et la remorque.

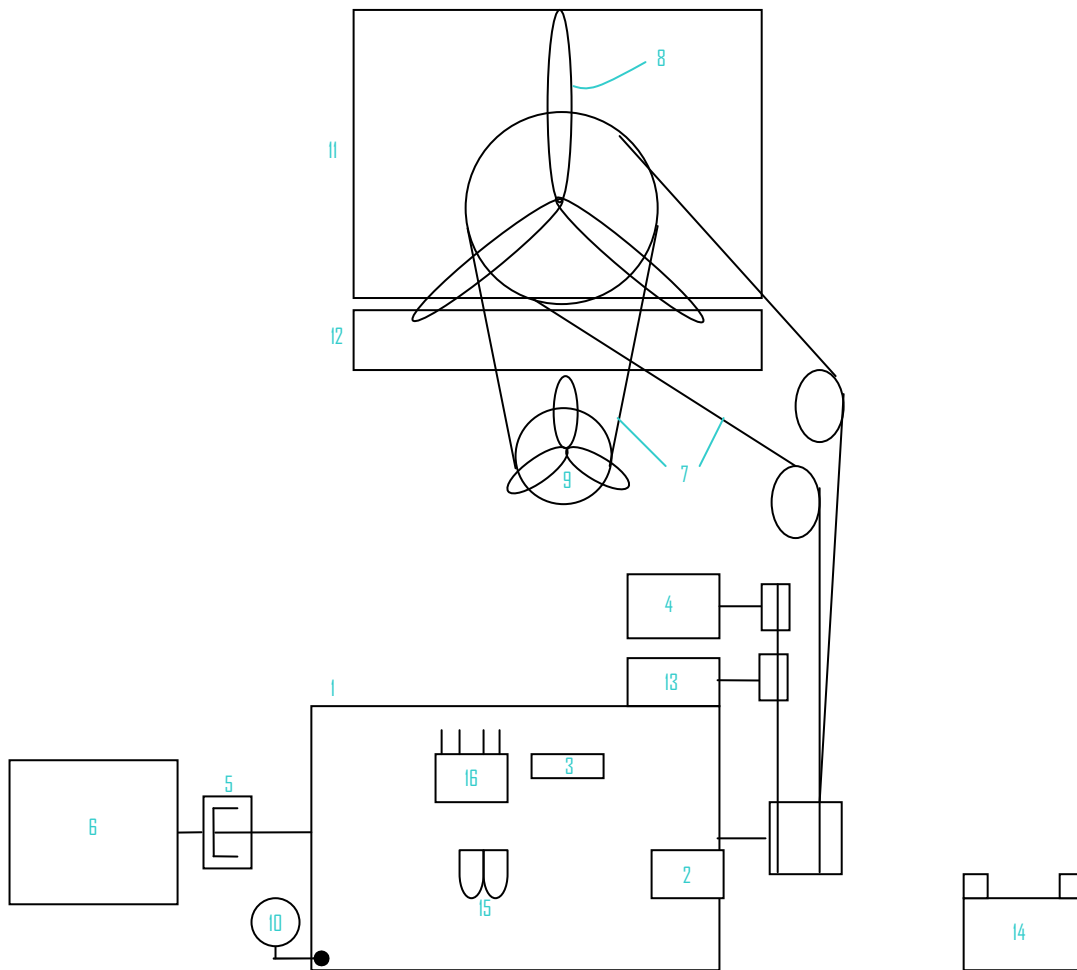


Fig. II.3 : mécanisme des engins frigorifiques de la classe B

- (1) : moteur thermique
- (2) : démarreur
- (3) : accélérateur magnétique
- (4) : pompe à eau
- (5) : embrayage centrifuge
- (6) : compresseur
- (7) : courroies de transmission
- (8) : ventilateur du condenseur et du radiateur
- (9) : ventilateur de l'évaporateur
- (10) : sonde
- (11) : condenseur
- (12) : radiateur du moteur thermique
- (13) : alternateur
- (14) : batterie d'alimentation
- (15) : pré filtre
- (16) : pompe d'injection

II.2.4- Classe C

II.2.4.a- Mécanisme

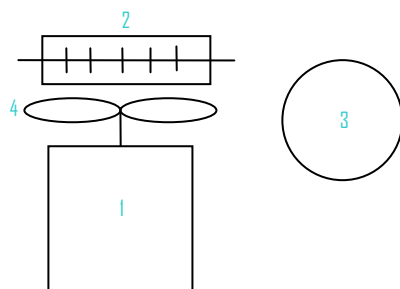


Fig. II.4 : mécanisme des engins frigorifiques de la classe C

1. compresseur hermétique
2. condenseur
3. échangeur sous-refroidisseur
4. ventilateur du condenseur

PARTIE II

COMPARAISON DES SYSTEMES MONOBLOCS ET AUTRES SYSTEMES STATIQUES

CHAPITRE I : SYSTEMES D'ISOLATION

I.1- Les divers modes de transfert de la chaleur

I.1.1- Généralités

Avant d'aborder les problèmes thermiques sur le calcul et l'isolation d'une installation frigorifique la connaissance des lois de transmission de la chaleur est essentielle.

L'objectif de l'isolation est de réduire autant que possible les apports de chaleur vers l'enceinte qu'on veut maintenir à basse température. C'est un fait d'expérience courante que, dans un milieu matériel, la chaleur s'écoule toujours des zones les plus chaudes vers les zones les plus froides, ces zones pouvant d'ailleurs appartenir au même corps ou à des corps différents.

Ce transfert de chaleur peut s'effectuer de trois façons différentes :

- Par conduction
- Par convection
- Par rayonnement

I.1.2- Transmission de la chaleur par conduction

C'est le cas de deux corps à des température différentes que l'on met en contact : la chaleur passe du plus chaud au plus froid ; ou d'un corps dont on chauffe une partie : la chaleur se propage de proche en proche à l'intérieur du corps, de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide. En effet, la conduction exige un support matériel, mais qui est fixe, homogène et isotrope.

I.1.2.a- Etude de la conduction

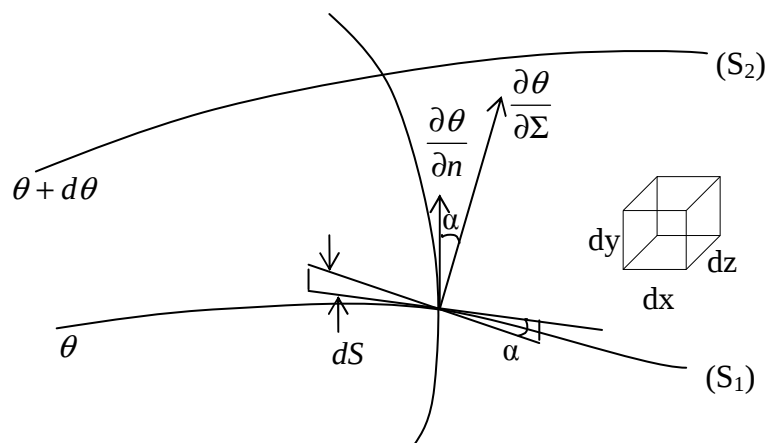


Fig. I.1: propagation de la chaleur par conduction

Les surfaces lieux des points qui possèdent au même instant la même température sont appelées *surfaces isothermes* : elles sont fixes dans un milieu en régime thermique stationnaire, et mobiles dans un milieu en régime thermique variable.

Considérons deux surfaces isothermes (S1) et (S2) dont les températures à l'instant t sont respectivement θ et $\theta + d\theta$. La quantité de chaleur dQ qui s'écoule pendant l'intervalle de temps dt de la surface (S1) à la surface (S2) à travers l'élément de surface dS est proportionnelle à la fois :

- à dS
- à dt
- au gradient de température $\frac{\partial \theta}{\partial n}$ dans la direction perpendiculaire aux isothermes
- à un coefficient λ caractéristique du milieu et que l'on appelle coefficient de conductivité thermique

On écrira en conséquence :

$$dQ = - \lambda . dS . dt$$

dS : élément de surface où le flux thermique entre

Le signe $-$ indiquant que l'écoulement de chaleur s'effectue dans le sens des températures décroissantes.

En portant ces hypothèses au (fig.I.1) avec (dx, dy, dz : le petit élément de volume) on aboutira à :

$$\frac{\lambda}{\rho . c} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

Qui peut s'écrire sous la forme : $a \nabla^2 \theta = \frac{\partial \theta}{\partial t}$

Avec : - $a = \frac{\lambda}{\rho . c}$

- $\nabla^2 \theta = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}$

Où ρ : la masse volumique de la substance [kg/m^3]

c : chaleur massique à volume constant de la substance [kcal/kg.deg]

λ : conductivité thermique de la substance [W/m.deg] ou [J/m.h.deg]

a : diffusivité thermique [m^2/h]

dQ : quantité de chaleur qui a servi à élever de $d\theta$ la température de l'élément

I.1.2.b- Expression de la conductivité thermique

Chaque corps a respectivement sa conductivité thermique, en particulier, l'élément argent (Ag) qui est le meilleur conducteur des métaux $\lambda = 400 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$, et l'eau est le meilleur conducteur des liquides $\lambda = 0.6 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$.

La conductivité thermique dépend beaucoup de la nature et de l'état physique de l'élément considéré. Elle est plus importante pour les corps solides et plus faible pour les gaz.

I.1.2.c- Mur plan

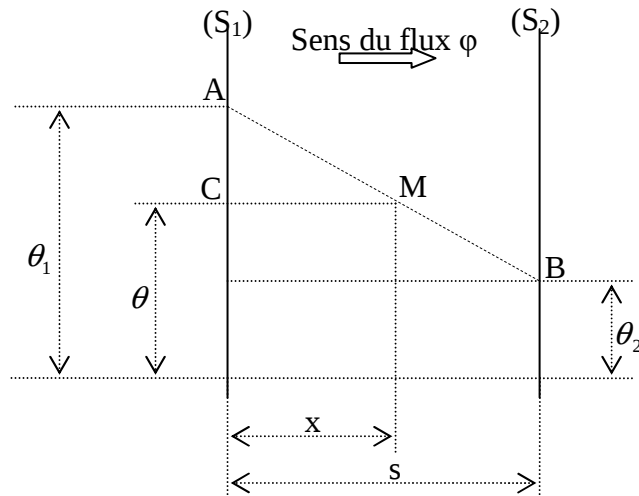


Fig. I.2 : marche des températures dans un mur plan en régime stationnaire

φ : flux de chaleur qui s'écoule à travers l'unité de surface (S1) vers (S2)
[W/m²]

θ_1 : température de la face (S1), adaptée et maintenue constante [°C]

θ_2 : température de la face (S2) maintenue constante [°C]

λ : conductivité thermique de la substance [W/m.deg] ou [J/m.h.deg]

e : épaisseur du mur [m]

Pour : $x = 0$ (face S1), on a $\theta = \theta_1 = \text{cte}$

$x = s$ (face S2), on a $\theta = \theta_2 = \text{cte}$ (avec $\theta_1 > \theta_2$)

On aura d'après l'étude de cette figure :

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{e}$$

$$\varphi = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{e}{\lambda}} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\text{Sous la forme } \varphi = \Lambda \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\Lambda = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{e}{\lambda}} = \frac{\lambda}{e} \quad [\text{W/m}^2.\text{deg}]$$

Λ : conductance thermique, inverse de la résistance thermique [W/m².deg]

R : résistance thermique [m².deg/W]

I.1.2.d- Conduction de la chaleur, en régime permanent, dans une paroi homogène à face parallèle

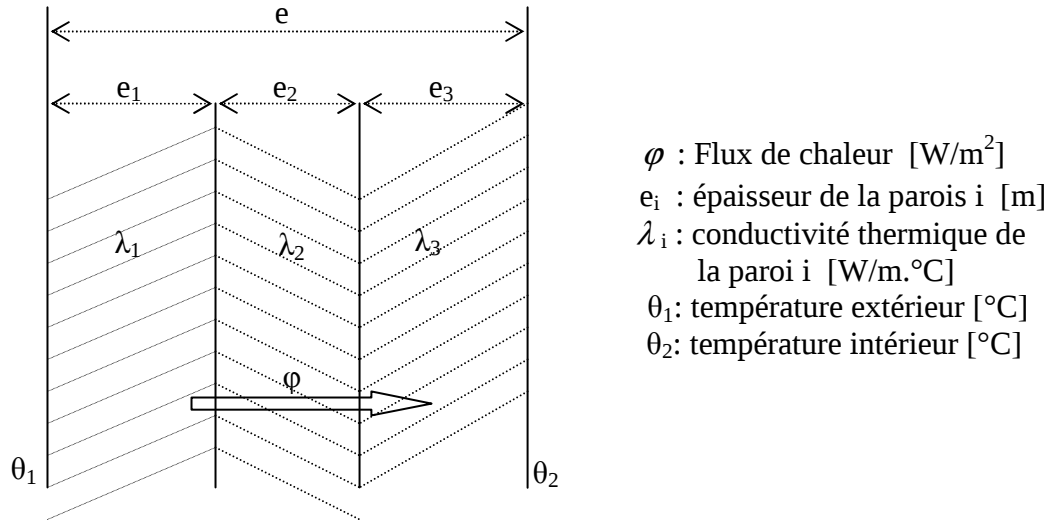


Fig. I.3 : parois homogènes à faces parallèles

Ici, les surfaces isothermes sont les plans parallèles aux faces et les flux de chaleur sont des droites normales aux faces. Alors, d'après la loi de Fourier, le flux unitaire traversant cette face est de :

$$\phi = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{e}{\lambda}}$$

$$\phi = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R} \quad [\text{W/m}^2]$$

En comparant, le conducteur thermique à un conducteur électrique, en fait, la loi d'Ohm et la loi de Fourier, l'expression $\frac{e}{\lambda}$ est appelée résistance thermique.

Pour une paroi composite plane à trois faces parallèles ayant respectivement les épaisseurs : e_1, e_2, e_3 les conductivités thermiques $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, la résistance thermique R est égale à :

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{deg/W}]$$

Alors le flux thermique unitaire est :

$$\phi = \frac{1}{R} (\theta_1 - \theta_2) \quad [\text{W/m}^2]$$

Et la quantité de chaleur pénétrant à travers une surface A pendant l'instant t est de

$$Q = \phi \cdot A \cdot t$$

$$Q = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \cdot A \cdot t \quad [\text{J}]$$

I.1.3- Transmission de la chaleur par convection

L'échange de chaleur est ici obtenu à partir d'un mouvement de convection provoqué par la différence de densité et cette dernière est issue de la différence de température au sein de la masse du fluide. L'échange de chaleur se manifeste entre un fluide et un solide, par exemple, entre air et paroi. La convection est dite d'une part, naturelle si le mouvement est engendré tout simplement par la différence de densité. Et d'autre part, elle est forcée si le mouvement est du à l'action des facteurs extérieurs tel qu'un ventilateur.

D'après la loi de Newton, le flux de chaleur unitaire est proportionnel à l'écart de température de la paroi et celle du fluide.

$$\phi = h_c \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad [\text{W/m}^2]$$

Avec θ_1 : température de la paroi $[\text{°C}]$;

θ_2 : température du fluide $[\text{°C}]$.

La quantité de chaleur qui passe de la paroi au fluide le long d'une surface ΔA pendant Δt est :

$$\Delta Q = h_c \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot \Delta A \cdot \Delta t \quad [\text{J}]$$

h_c : est appelé coefficient de convection $[\text{W/m}^2.\text{deg}]$

Il est au moins en fonction de six variables :

l : une longueur caractéristique de la surface avec laquelle le fluide échange de chaleur $[\text{m}]$;

V : vitesse de déplacement du fluide $[\text{m/s}]$;

λ : conductivité thermique du fluide $[\text{kcal/m.h.deg}]$;

C_p : chaleur massique du fluide à pression constante $[\text{kcal/kg.deg}]$;

ρ : masse volumique du fluide $[\text{kg/m}^3]$;

μ : viscosité dynamique du fluide $[\text{N.s/m}^2]$.

Cependant, on peut déterminer ce coefficient en utilisant d'une part, les groupements sans dimension de Nusselt, Prandlt, Reynolds, Grashof et d'autre part, les constantes reçues de l'expérience.

- Le nombre de Nusselt :
$$\text{Nu} = \frac{h_c \cdot l}{\lambda}$$

- Le nombre de Prandlt :
$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda}$$

- Le nombre de Reynolds :
$$\text{Re} = \frac{V \cdot l \cdot \rho}{\mu}$$

- Le nombre de Grashof :
$$\text{Gr} = \frac{l^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta \theta}{\mu^2}$$

Où, V : vitesse du fluide $[\text{m/s}]$;

g : accélération de la pesanteur $[\text{m/s}^2]$

β : coefficient de dilatation volumique ;

$\Delta \theta$: écart de température entre la surface et le fluide convecteur $[\text{°C}]$.

Si la convection est forcée, le nombre de Nusselt équivaut à :

$$\text{Nu} = A \cdot \text{Re}^m \cdot \text{Pr}^n$$

Si elle est naturelle :

$$\text{Nu} = B \cdot \text{Gr}^p \cdot \text{Pr}^q$$

A, B, m, n, p, q , sont des constantes dues à l'expérience.

Ainsi, pour l'air à 25° C qui circule normalement le long d'un mur dont la longueur caractéristique est de 0.22m et la température superficielle est de 50°C, les valeurs de ces nombres sans dimension sont de :

$$Gr = 7934973$$

$$Pr = 0.7107$$

$$Nu = 38.57$$

On aura un coefficient de convection de 4.55 W/m². °C

Or dans la pratique, on a déjà des valeurs approchées de coefficient de convection qu'on pourra utiliser immédiatement :

h_c de l'air à l'intérieur d'une chambre froide est de 5 à 7 W/m². °C

h_c de l'air à l'extérieur de la chambre de 15 à 20 W/m². °C

Si θ_f désigne la température du fluide et θ_a la température d'un corps solide baigné par le fluide, la quantité de chaleur transmise au corps par le fluide, par unité de temps et de surface, s'exprime par :

$$Q = \alpha_v (\theta_f - \theta_a) \quad [J]$$

α_v désignant un coefficient appelé *coefficient de transmission thermique par convection*, qui dépend, d'une façon complexe :

- de la vitesse du fluide (V) ;
- de la température du fluide (qui agit sur C_p, λ, μ) ;
- de la nature du corps solide (par l)
- de la nature du fluide lui-même (par ρ, C_p, λ, μ).

En ce qui concerne la transmission de la chaleur par rayonnement, à Madagascar, cet effet est négligeable pour le véhicule frigorifique.

I.1.4- Transmission de la chaleur combinée (cas réelle)

Nous n'avons considéré dans ce qui précède que les températures des faces terminales de la paroi, sans égard au milieu qui les environne.

En fait, les murs sont toujours baignés dans des milieux, généralement différents pour une face et pour l'autre, et avec lesquels ils échangent de la chaleur par convection et rayonnement.

Supposons, pour simplifier, un mur d'une chambre froide constitué de n couches juxtaposées, d'épaisseurs respectives $e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_n$, et de conductivités $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Du côté extérieur (atmosphère libre par exemple), le mur baigne dans un milieu (A_1) à température θ_{a1} [°C] et du côté intérieur (enceinte de la chambre) dans un milieu (A_2) à température θ_{a2} [°C] (on suppose que $\theta_{a1} > \theta_{a2}$).

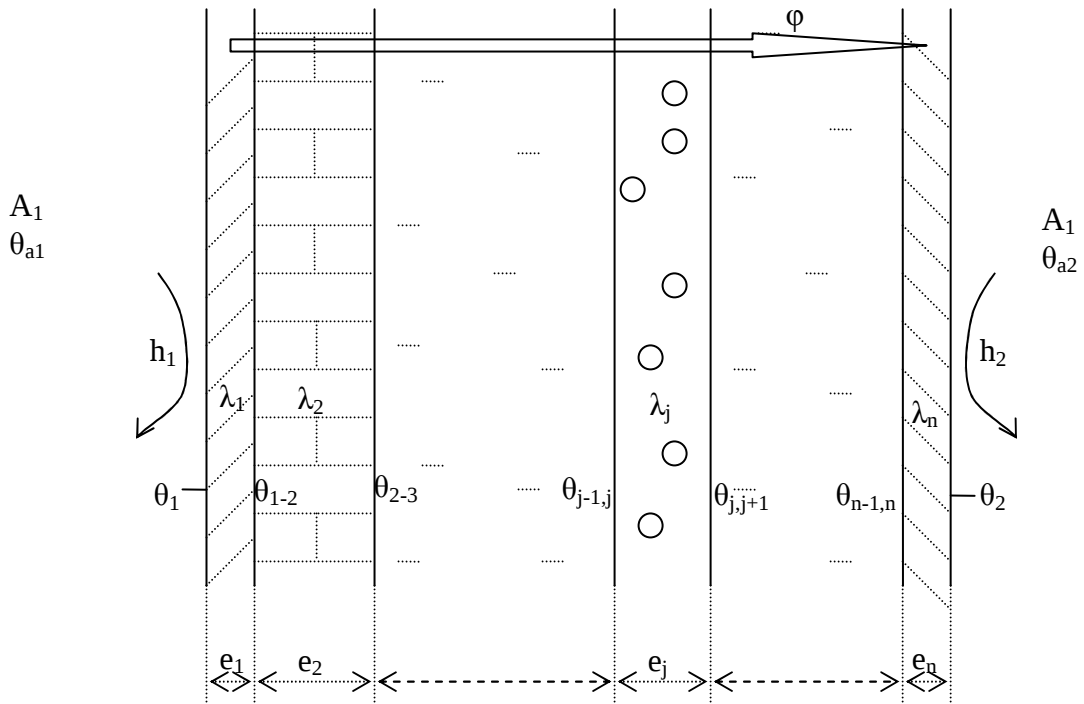


Fig. I.4 : transmission de la chaleur en réalité

L'**unité de surface** du mur reçoit du milieu (A_1), par **unité de temps**, une quantité de chaleur φ (flux thermique) qui s'exprime par :

$$\varphi = h_1 \cdot (\theta_{a1} - \theta_1) \quad [\text{W/m}^2]$$

En régime stationnaire, ce flux est égal à celui qui traverse les couches de maçonneries, c'est-à-dire que l'on peut écrire :

$$\varphi = \frac{\lambda_1}{e_1} (\theta_1 - \theta_{1-2})$$

$$\varphi = \frac{\lambda_2}{e_2} (\theta_{1-2} - \theta_{2-3})$$

↓

$$\varphi = \frac{\lambda_j}{e_j} (\theta_{j-1,j} - \theta_{j,j+1}) \quad [\text{W/m}^2]$$

↓

$$\varphi = \frac{\lambda_n}{e_n} (\theta_{n-1,n} - \theta_2)$$

$$\varphi = h_2 \cdot (\theta_2 - \theta_{a2})$$

θ_1, θ_2 désignant les températures murales et h_1, h_2 (coefficients de transmission thermique : CTT exprimés en $[\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg}]$ ou $[\text{J/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg}]$) ils tiennent compte à la fois de la convection et du rayonnement.

En faisant une application numérique, le calcul s'achèvera à :

$$\varphi = K. (\theta_{a1} - \theta_{a2}) \quad [\text{W/m}^2]$$

Avec :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_2}$$

Dans la pratique, par souci de simplification, on ne tient souvent compte dans les calculs que de la résistance thermique de l'isolant $\left(\frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} \right)$

Le coefficient de transmission thermique K devient alors :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + \frac{1}{h_2}}$$

En considérant alors, la surface (S) de l'isolant et le temps (dt) pendant lequel le flux de chaleur φ traverse le mur, la quantité de chaleur transmise à travers le mur est donnée par la formule :

$$\boxed{dQ = K.S. (\theta_{a1} - \theta_{a2}).dt} \quad [\text{J}]$$

Le fait de ne tenir compte que de la résistance thermique de l'isolant présente un double avantage.

Le premier résulte d'une *simplification des calculs* d'autant qu'on ne connaît pas toujours les valeurs de l'épaisseur et de la conductivité thermique des autres constituants de la paroi et le second de ce qu'en procédant ainsi, on va dans le sens de la *sécurité*.

Nous voyons que ce n'est pas seulement l'installation frigorifique qui donne ses apports thermique dans l'enceinte de la chambre froide mais il y a aussi le milieu extérieur où baigne les murs, le plafond et le plancher de celle-ci d'après ce qui est précédemment.

Pour les camions frigorifiques, on doit comparer leurs conteneurs comme des chambres pour nous permettre la simulation et le calcul du temps optimal de réparation des pannes pour que les denrées transportées ne subissent aucune altération au cours des pannes rencontrées.

CHAPITRE II : PROPOSITION DE SYSTEME DE COMMANDE

Sur terrain et malgré l'absence des données et des documents de base, on a pu étudier le fonctionnement des installations et d'après ces études et maintes vérifications, nous avons pu aboutir à la confection des données relatives aux systèmes de commandes suivantes.

II.1- Classe A1

II.1.a- Tableau de bord

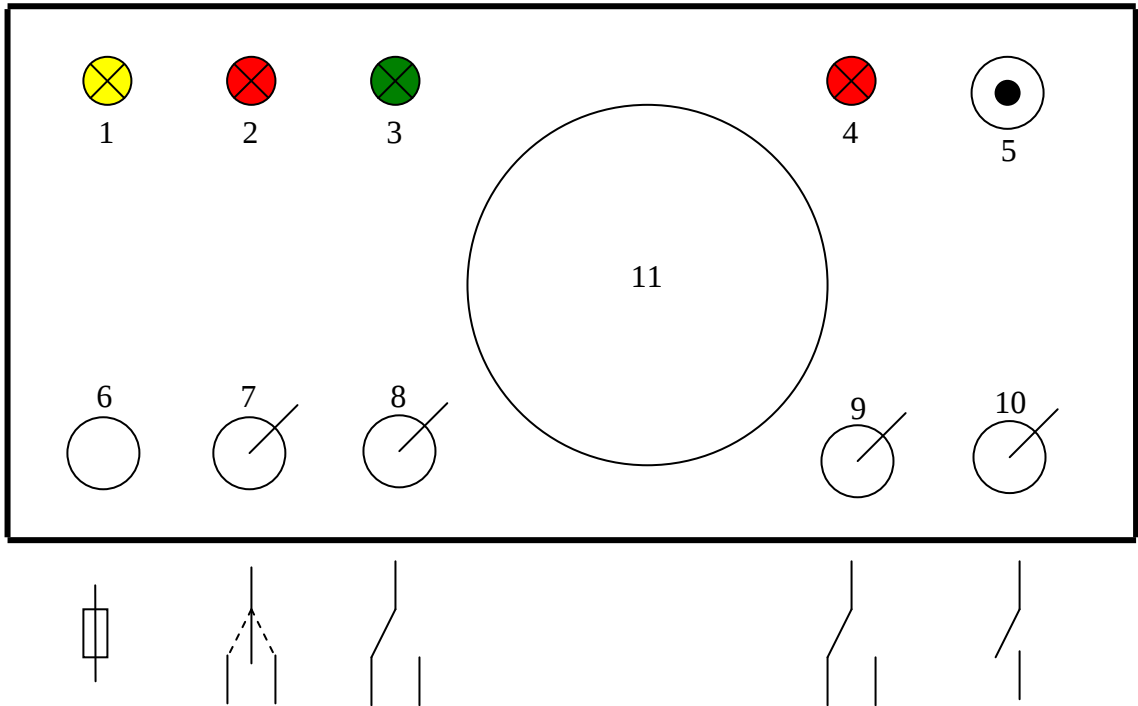


Fig. II.1 : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe A1

- (1) : témoin de couleur jaune indiquant qu'à l'intérieur du conteneur c'est le froid qui y domine
- (2) : témoin de couleur rouge indiquant que l'intérieur du conteneur manque de froid
- (3) : témoin de couleur vert indiquant que le dégivrage est en cours
- (4) : témoin de couleur rouge indiquant la manque d'huile ou la manque d'eau pour le moteur thermique après vérification par le bouton (5).
- (5) : bouton poussoir de vérification de (4)
- (6) : fusible alimentant le circuit de commande des systèmes mécaniques
- (7) : commutateur 3 position (préchauffage, neutre, démarrage) pour le moteur thermique.
- (8) : bouton poussoir horaire pour le dégivrage manuel temporisé
- (9) : commutateur 2 position indiquant le secteur utilisé (diesel, électrique)
- (10) : interrupteur d'arrêt total et de mis en marche pour la commande électrique
- (11) : Voltmètre (batterie)

II.1.b – Circuit de commande d'un engin de la classe A1

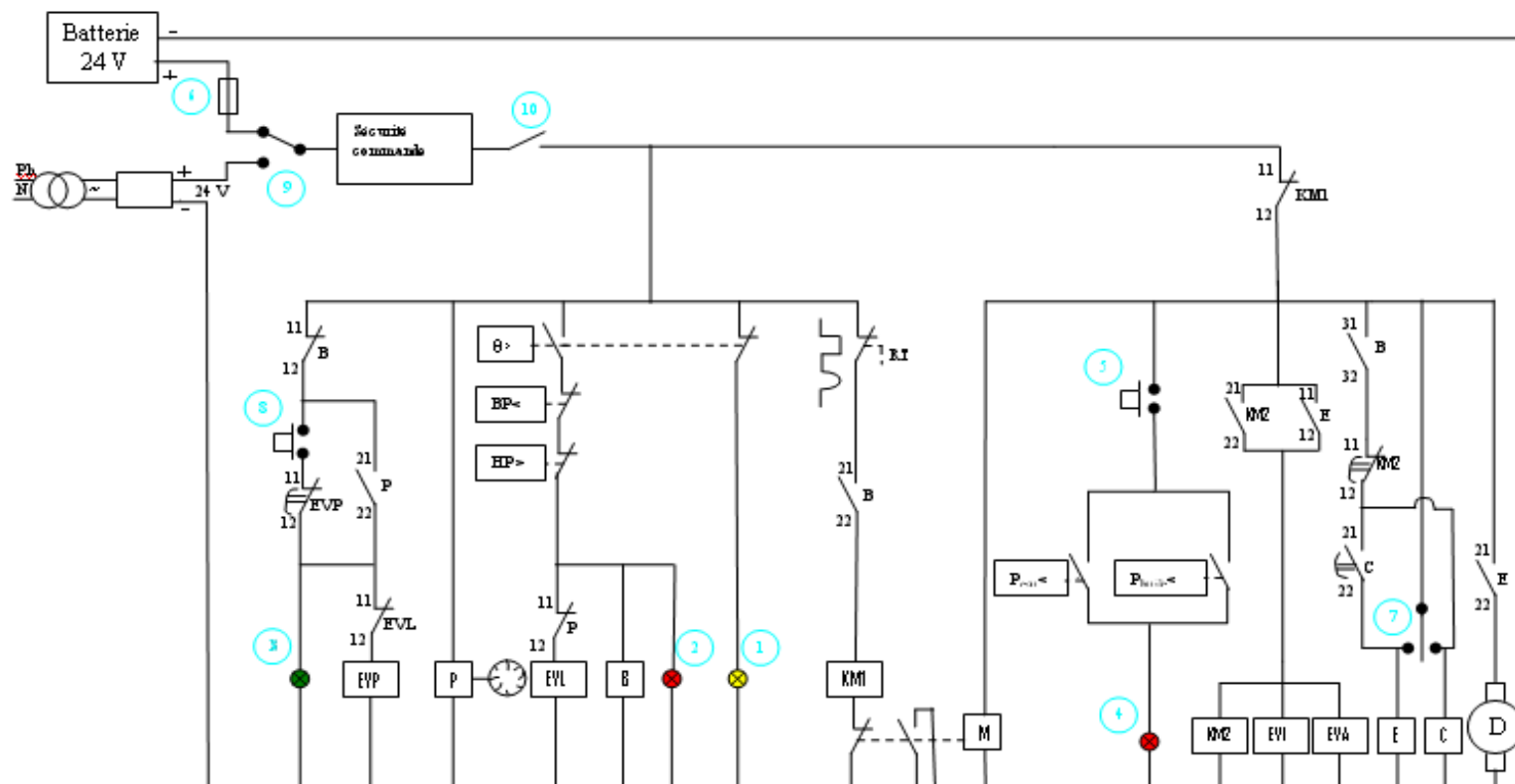


Fig. II.2 : circuit de commande des engins de la classe A1

EVP : électrovanne pneumatique pour le dégivrage ;
 P : pendule de dégivrage ;
 EVL : électrovanne liquide ;
 KM1 : contacteur commandant le moteur électrique 380 V ;
 M : relais de verrouillage entre le secteur thermique et électrique ;
 KM2 : contacteur temporisé servant au maintien et l'alimentation des électrovannes injecteur et accélérateur magnétique ;
 EVI : électrovanne de l'injecteur ;
 EVA : électrovanne de l'accélérateur magnétique ;
 B : relais de commande principal ;
 C : contacteur temporisé pour la résistance de préchauffage de la chambre à combustion
 D : démarreur
 E : relais de démarrage ;

II.1.c-Circuit de puissance

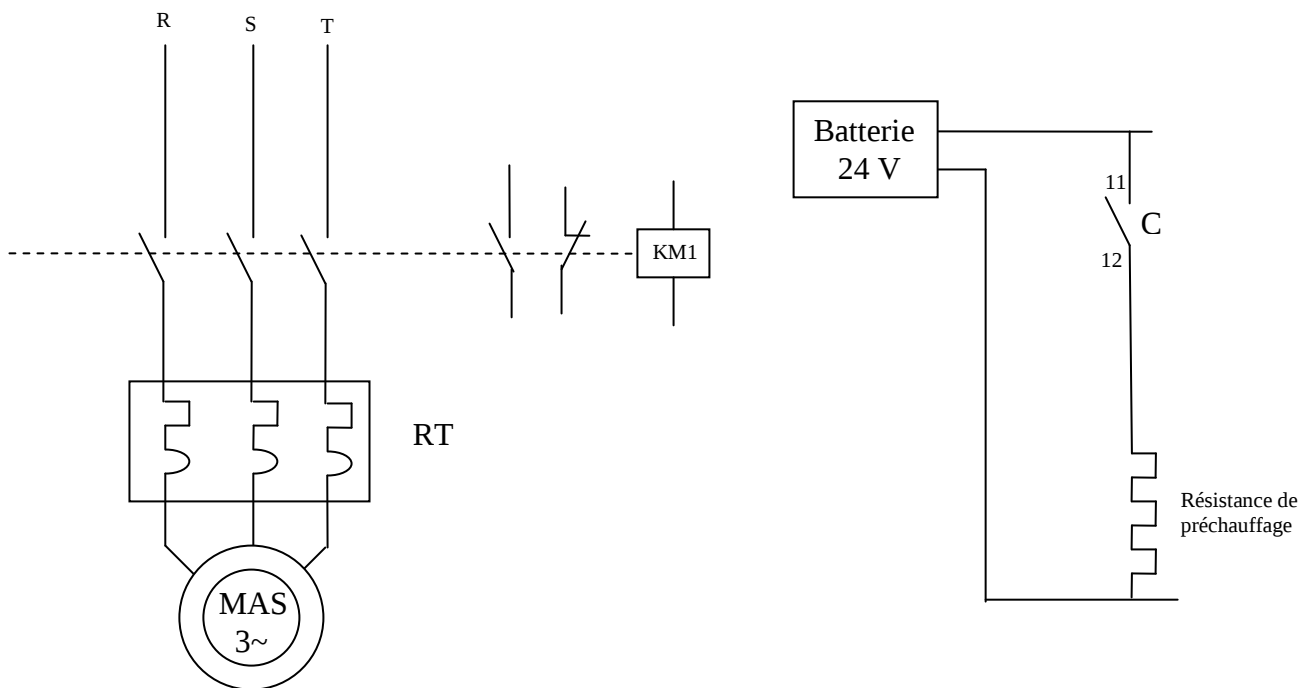


Fig. II.3 : circuit de puissance d'un engin de la classe A1

II.2- Classe A2

II.2.a- Tableau de bord

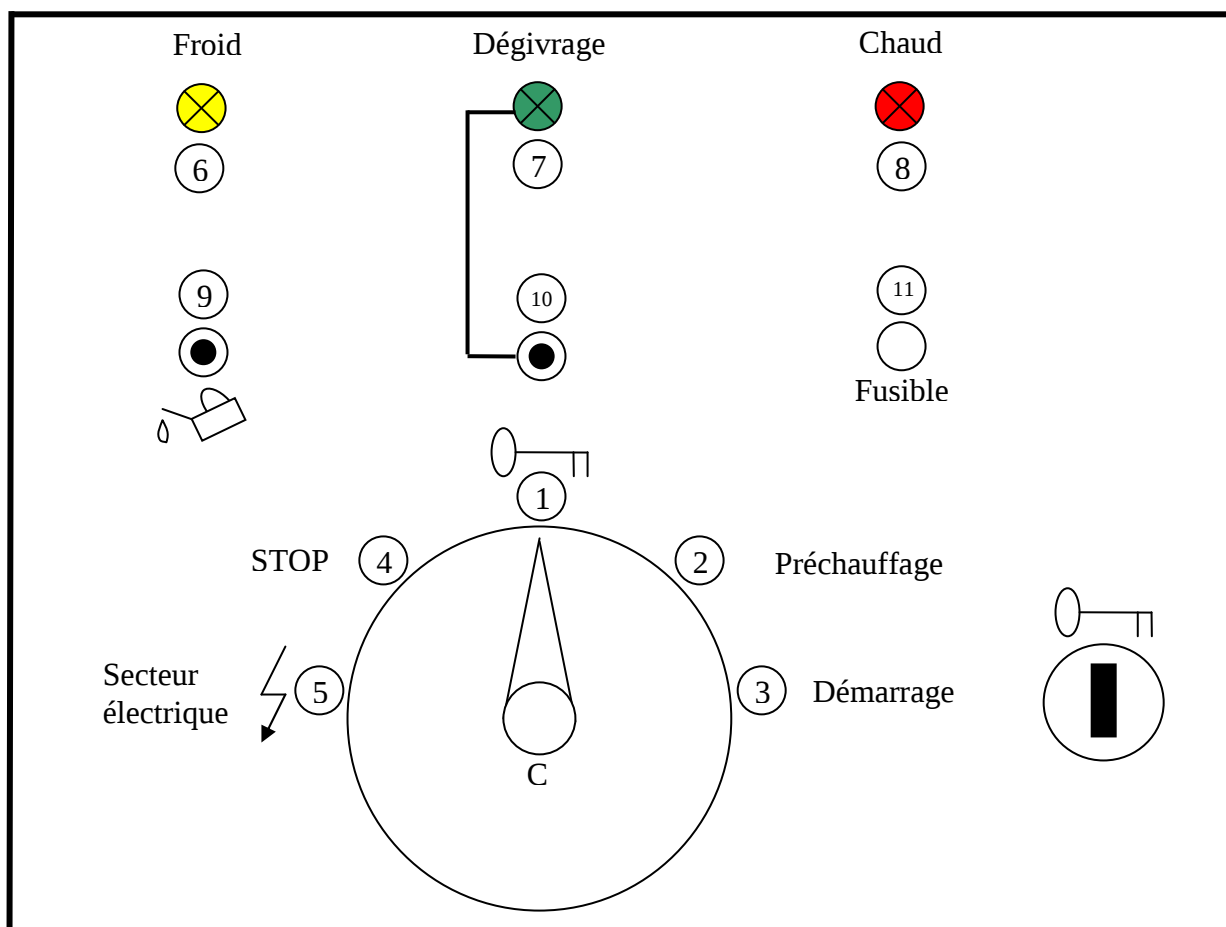


Fig. II.4 : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe A2

(C) : commutateur rotatif muni d'un ressort de rappel indiquant les positions, il ne peut se placer qu'aux positions (1) et (5).

Position (1) : contact principal après insertion de la clé et marche automatique du moteur thermique après le temps attribué au contacteur de démarrage.

Position (2) : contact manuel de la bougie de préchauffage

Position (3) : contact manuel pour le démarrage

Position (4) : arrêt total du moteur thermique

Position (5) : contact pour utiliser le secteur électrique

(6) : témoin de couleur jaune indiquant qu'à l'intérieur du conteneur c'est le froid qui y domine

(7) : témoin de couleur vert indiquant que le dégivrage est en cours

(8) : témoin de couleur rouge indiquant que l'intérieur du conteneur manque de froid

(9) : témoin de couleur rouge indiquant la manque d'huile ou la manque d'eau pour le moteur thermique après vérification par le bouton (11).

(10) : bouton poussoir pour le dégivrage manuel temporisé

(11) : bouton poussoir de vérification.

II.2.b – Circuit de commande d'un engin de la classe A2

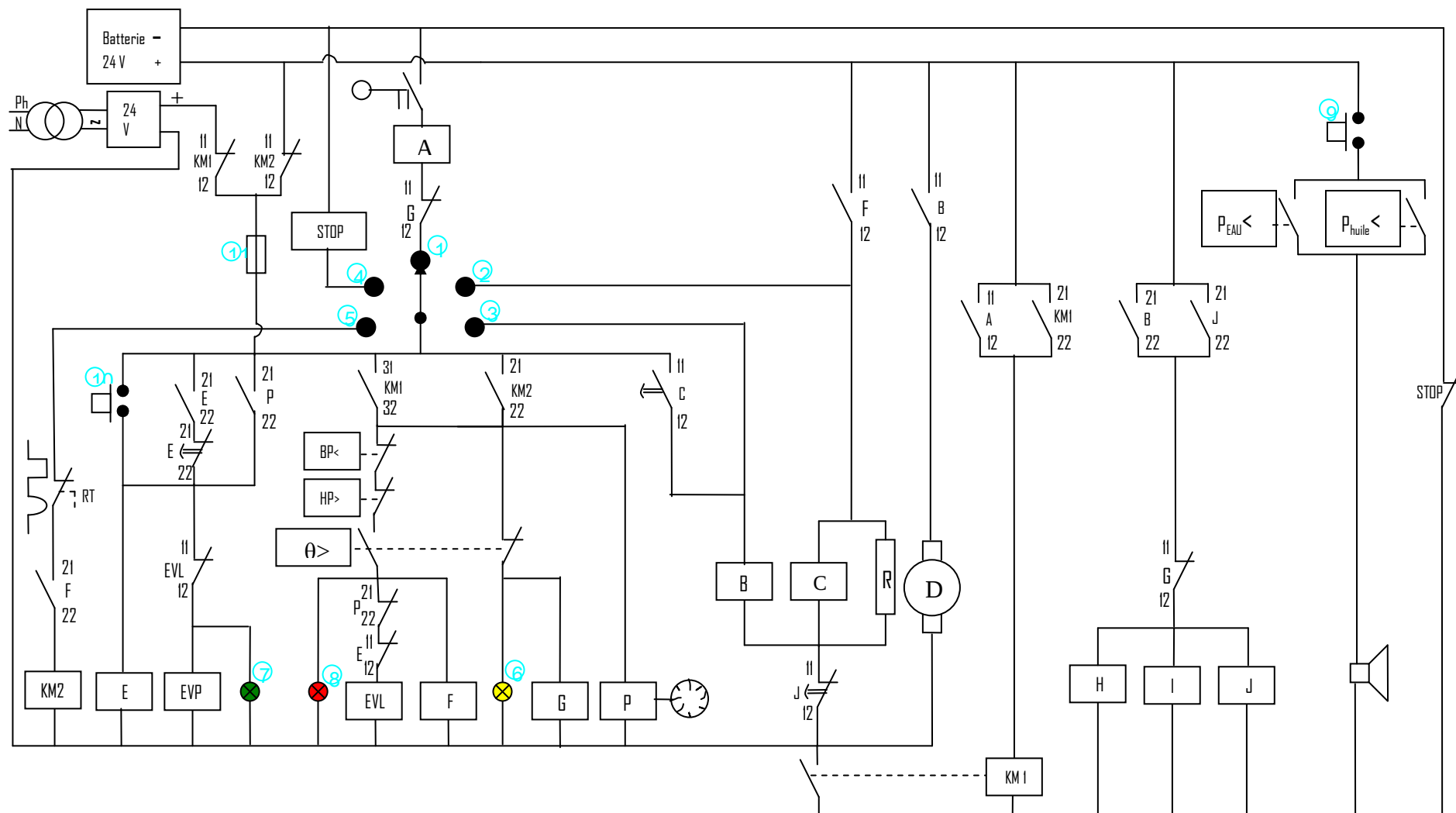


Fig. II.5: circuit de commande des engins de la classe A2

KM1 : contacteur séparant les secteurs thermique et électrique ;
 KM2 : contacteur commandant le moteur électrique ;
 HP : haut parleur qui fait bip aux manques de pression d'eau et d'huile ;
 EVP : électrovanne pneumatique pour le dégivrage ;
 EVL : électrovanne liquide ;
 A : contacteur principal pour la marche automatique du secteur thermique après insertion de la clé ;
 B : relais de démarrage ;
 C : contacteur temporisé pour le démarrage automatique du moteur thermique ;
 D : démarreur ;
 E : contacteur de maintien et de verrouillage entre l'électrovanne pneumatique et l'électrovanne liquide ;
 F : relais de commande principale ;
 G : contacteur coupant l'alimentation des électrovannes injecteur et accélérateur magnétique ;
 H : électrovanne accélérateur magnétique ;
 I : électrovanne de l'injecteur ;
 J : contacteur de maintien alimentant les électrovannes H et I ;
 P : pendule de dégivrage ;
 R : résistance de préchauffage ;
 STOP : relais d'arrêt total du secteur thermique.

II.2.c - Circuit de puissance

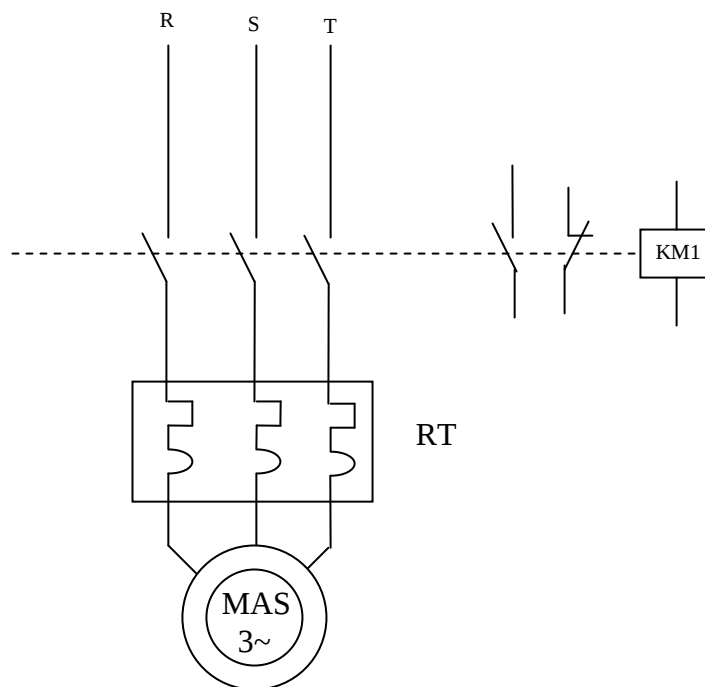


Fig. II.6 : circuit de puissance d'un engin de la classe A2

II.3 - Classe B

II.3.a - Tableau de bord

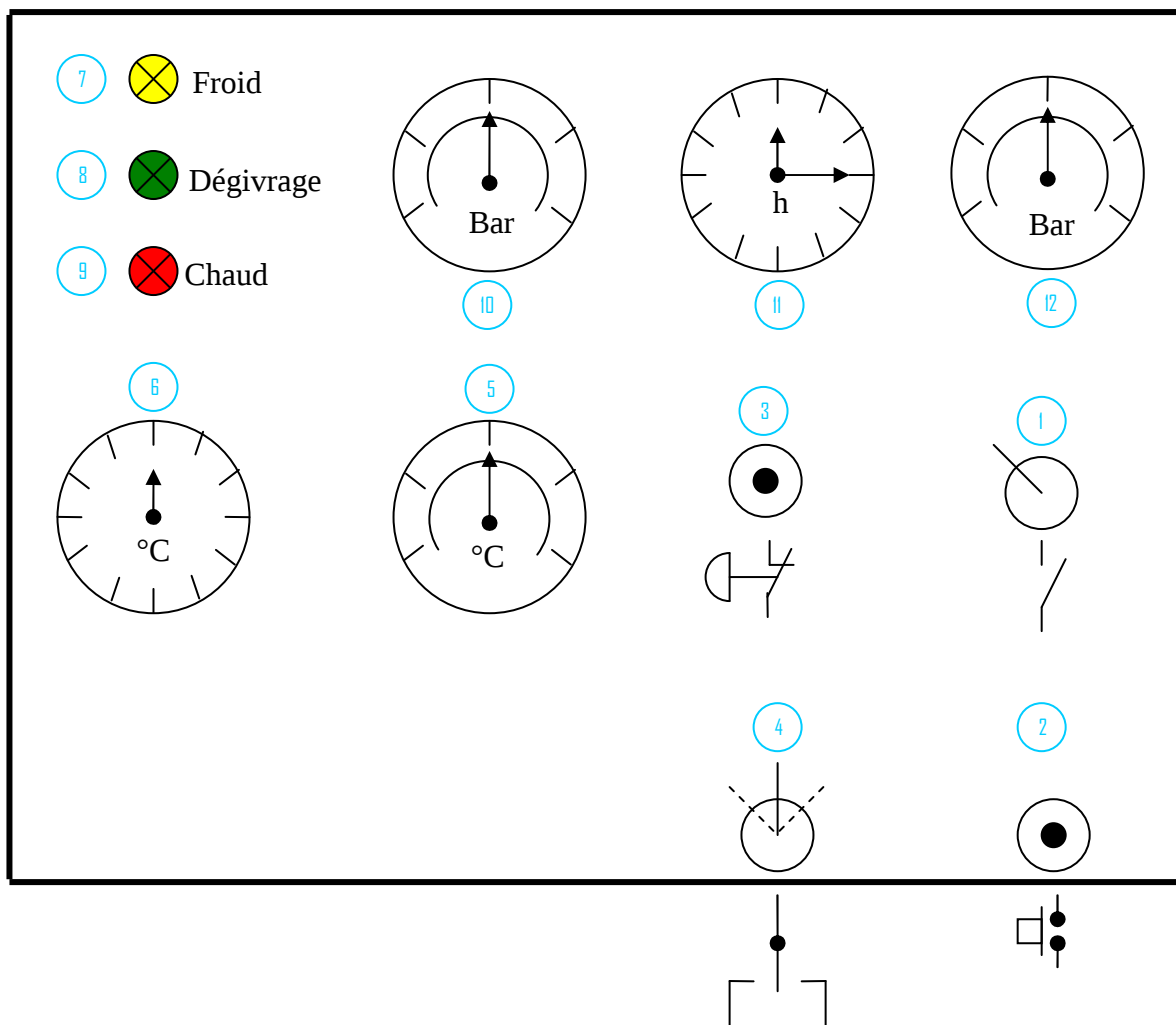


Fig. II.7 : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe B

1. contact principal du circuit de commande après la clé
2. bouton poussoir pour la mise en marche et arrêt manuel du dégivrage
3. arrêt manuel de l'installation frigorifique
4. contact à trois positions (préchauffage, neutre, démarrage)
5. thermomètre indiquant la température à l'intérieur du conteneur
6. thermostat de régulation
7. témoin de couleur jaune indiquant qu'à l'intérieur du conteneur c'est le froid qui y règne
8. témoin de couleur verte indiquant que le dégivrage est en cours
9. témoin de couleur rouge indiquant que l'intérieur du conteneur manque de froid
10. baromètre indiquant la pression d'huile
11. thermomètre indiquant la température du moteur thermique
12. baromètre indiquant la pression du fluide frigorigène.

II.3.b – Circuit de commande d'un engin de la classe B

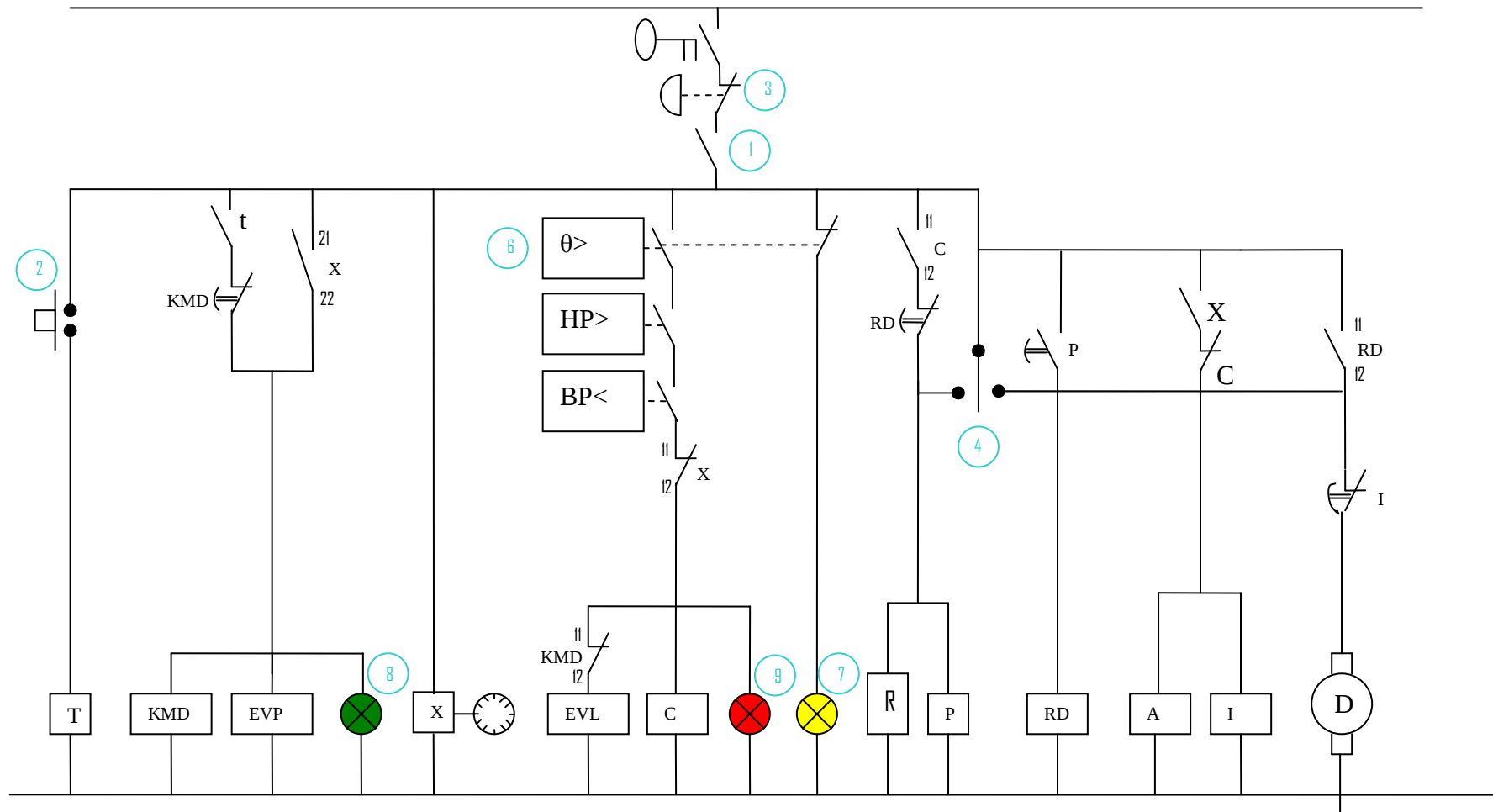


Fig. II.8 : circuit de commande des engins de la classe B

T : telerrrupteur pour le dégivrage manuel ;
 KMD : contacteur temporisé pour le dégivrage manuel ;
 EVP : électrovanne pneumatique pour le dégivrage ;
 X : pendule de dégivrage ;
 EVL : électrovanne liquide dans le circuit fluide ;
 C : relais de commande principal ;
 R : résistance de préchauffage pour le moteur thermique ;
 P : relais temporisé pour le démarrage automatique ;
 RD : relais de démarrage ;
 A : électrovanne de l'accélérateur magnétique ;
 I : électrovanne de l'injecteur ;
 D : démarreur ;

II.4- Classe C

II.4.a- tableau de bord

Il n'y a pas de tableau de bord mais c'est juste un bouton poussoir en dessous du thermomètre sur la face principale du conteneur pour l'arrêt et la mise en marche du compresseur et deux témoins dont les couleurs sont jaune et rouge qui existe.

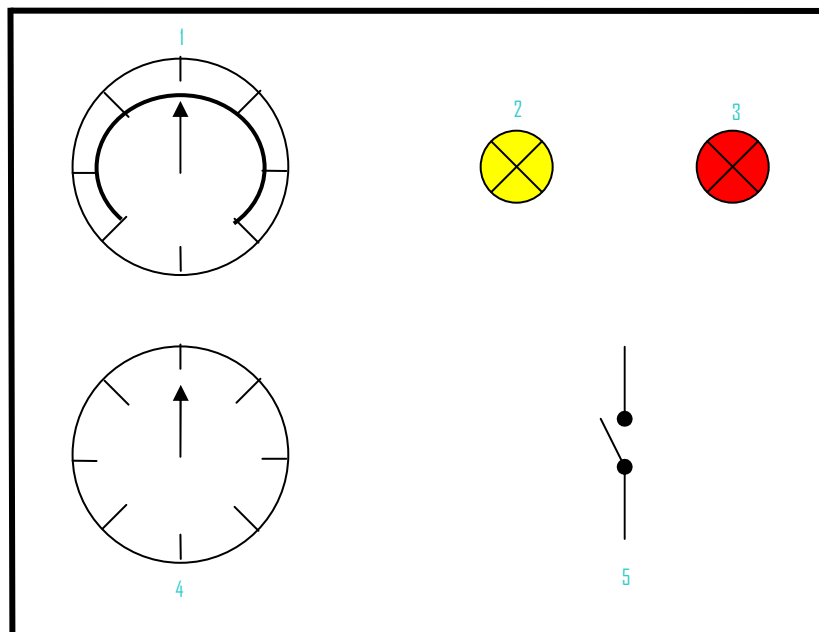


Fig. II.9 : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe C

1. thermomètre indiquant la température de la saumure
2. témoin de couleur jaune indiquant que la production du froid est en cours
3. témoin de couleur rouge indiquant qu'on ne doit plus produire de froid
4. thermostat de régulation
5. interrupteur de mis en marche et d'arrêt

II.4.b- Circuit de commande et circuit de puissance

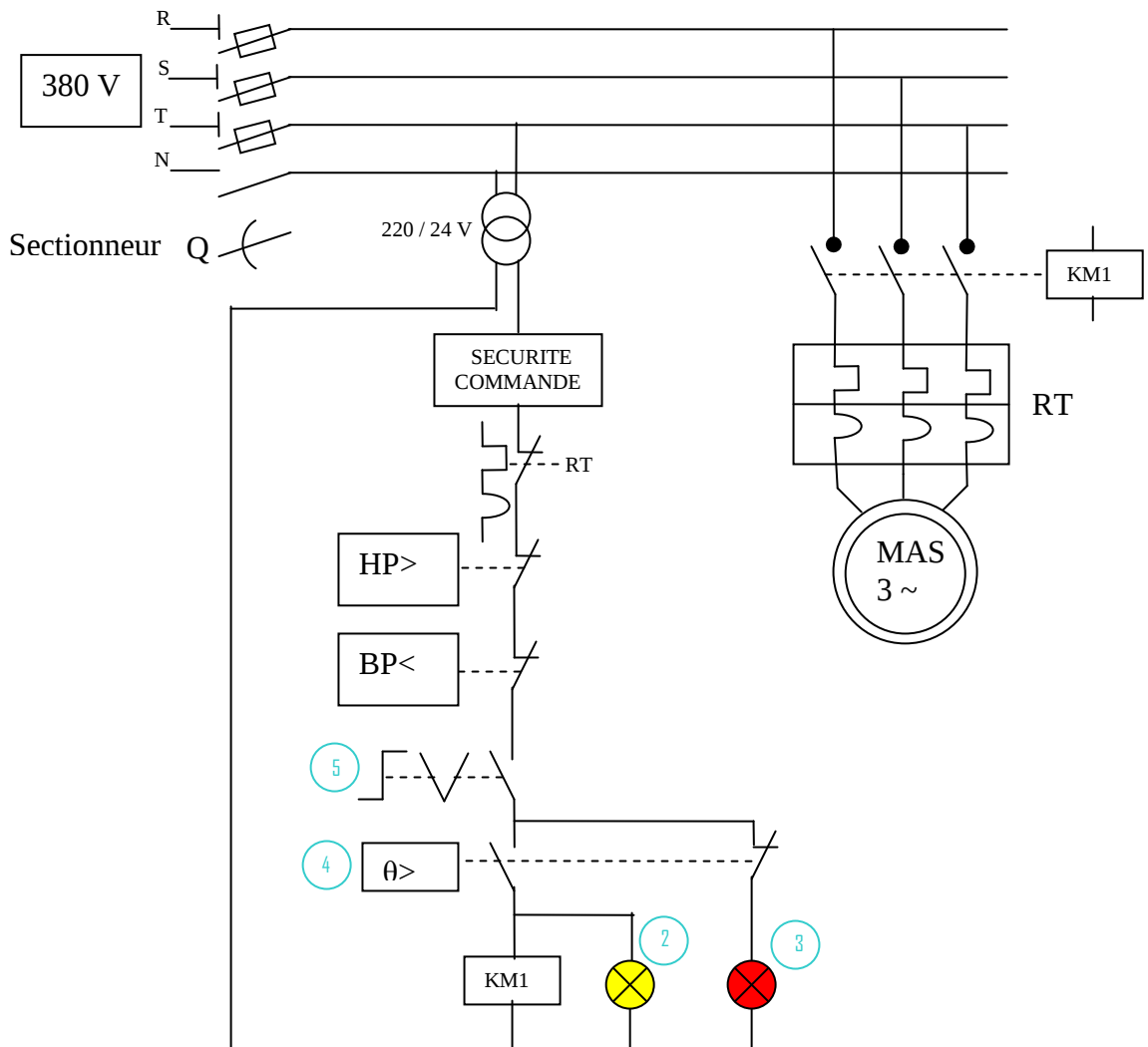


Fig. II.10 : circuit de commande et circuit de puissance des engins de la classe C

MAS 3~ : moteur asynchrone triphasé 380 V ;

KM1 : contacteur commandant la marche du moteur MAS 3~ / 380 V ;

RT : relais magnétothermique ;

II.5- Différenciation des deux systèmes

II.5.1- Fonctionnement

Au point de vue production de froid, il n'y a pas de grande différence entre le fonctionnement des systèmes monoblocs et celui des systèmes statiques parce qu'ils utilisent les mêmes éléments principaux et le même principe qui est la compression de vapeur avec changement de phase mais la grande différence se trouve au niveau des systèmes de commande.

Et si on n'entre pas dans les systèmes de mécanisme et pour des raisons économiques, les systèmes monoblocs sont réservés pour le maintien de la température de conservation des denrées dans les conteneurs tels qu'ils soient des produits congelés ou des produits à réfrigérer ; ce sont les systèmes statiques qui sont conçus, pour économiser les carburants, à amener et peuvent aussi conserver les denrées à cette température.

II.5.2- Pannes

Les installations frigorifiques dans les transports sont toutes pré dimensionnées mais en général les pannes extérieures dans les deux systèmes sont à peu près les mêmes, sauf qu'il y a des pannes qui sont indépendantes de l'installation frigorifique dans les transports.

L'organigramme suivant présente les pannes de l'installation frigorifique statique qui est aussi semblable à l'organigramme des pannes chez les systèmes monoblocs.

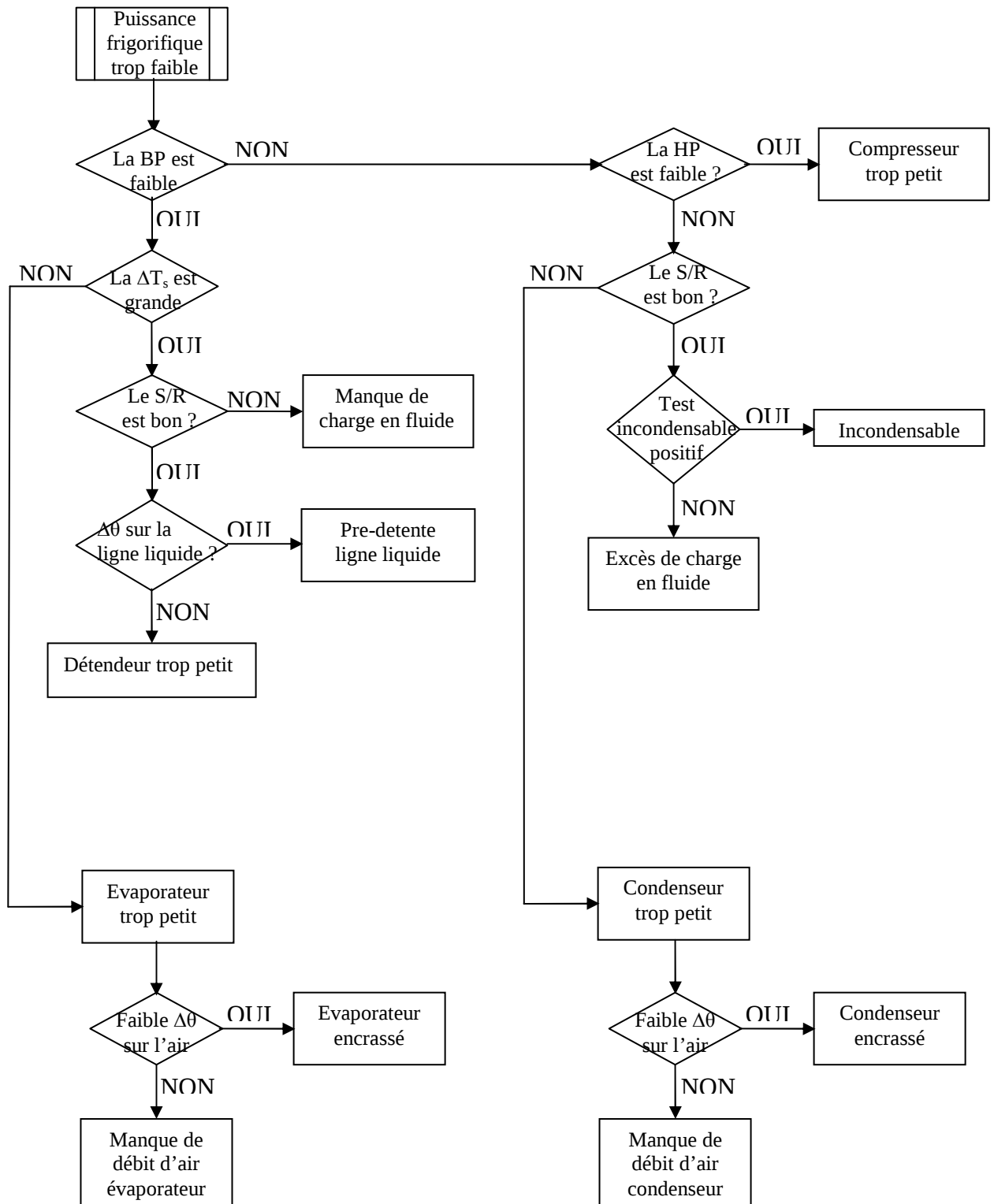


Fig. II.11 : Organigramme des pannes chez les systèmes statiques.

II.6- Stabilité et vibration

Dans les transports, la vibration ne modifie, ni la puissance de l'installation ni l'état physique du fluide frigorigène, mais c'est l'état mécanique des engins frigorifiques que nous devrions nous en soucier. Pour cela, il faut adapter un système qui est l'utilisation des tuyaux « anaconda » au niveau des coudes ou éléments les plus vibrants.

Ainsi, nous avons établi l'étude de la comparaison entre les systèmes statiques et les systèmes monoblocs. Nous pouvons maintenant faire l'étude de l'optimisation d'exploitation des conteneurs frigorifiques dans les transports.

PARTIE III

OPTIMISATION D'EXPLOITATION DES CONTENEURS FRIGORIFIQUES DANS LE TRANSPORT

CHAPITRE I : ETUDE DES PANNES DANS LES CONTENEURS

I.1- Pannes fréquentes rencontrées

Pendant le transport, ils peuvent exister plusieurs pannes. D'autres sont dépendantes et d'autres sont indépendantes les unes des autres. Elles ont toutes des effets inacceptables sur la production du froid. Dans la suite, on s'est fixé à l'étude des pannes fréquentes chez les engins dans la Classe A1 parce que ces engins sont plus accessibles et les pannes peuvent englober tous les systèmes mécanique et électrique des autres engins.

I.1.1- Pannes électriques

Les pannes électriques que nous parlons ici sont toutes au niveau des systèmes qui utilisent la tension électrique comme source d'énergie, de même que cette dernière soit en équilibre. Elles se regroupent comme suit :

- source d'alimentation
- circuit de commande
- moteur électrique

I.1.2- Pannes mécaniques

Comme leur nom l'indique, ce sont des pannes au niveau des systèmes mécaniques. Elles sont liées à la mauvaise performance de l'installation. Les pannes fréquentes se rencontrent souvent au niveau :

- de la pompe à eau
- de l'accélérateur magnétique
- de l'accouplement moto compresseur
- de la presse étoupe du compresseur
- des tendeurs des courroies

I.1.3- Pannes électriques liées à l'état mécanique du véhicule

En général, c'est la tension au niveau de la batterie qui provoque le mauvais fonctionnement de la partie électromécanique du véhicule. La faible tension est surtout causée par la mauvaise recharge de la batterie. En effet, cette dernière doit être chargée par l'alternateur, or le fonctionnement de celui-ci dépend en grande partie de la bonne transmission des courroies.

I.1.4- Exploitation des pannes

I.1.4.1- Pannes électrique

I.1.4.1.a- Source d'alimentation

C'est la source qui alimente le circuit de commande. Elle se divise en deux parties selon le type de secteur utilisé.

PANNES	DOMAINE ET UTILISATION	CAUSES	EFFETS	REMEDES
Source de tension électrique	Cette panne peut arriver quand on utilise le secteur électrique auprès d'une agence pour les grandes sociétés. La source de tension électrique (380 V~) est utilisée à la fois pour l'alimentation du circuit de commande (24 V) et pour l'alimentation du moteur électrique d'entraînement du compresseur.	Déséquilibre entre phase de la ligne d'alimentation.	Ce déséquilibre peut entraîner la sous-tension ou la surtension du moteur électrique. A ces effets respectifs : le moteur n'a pas suffisamment d'énergie pour développer le couple d'entraînement du compresseur soit il est tout simplement grillé.	Utiliser un stabilisateur pour maintenir la tension source à 380 V et d'assurer tous les appareils de sécurité.
Source de tension au niveau de la batterie	Cette panne peut survenir quand on utilise le secteur mécanique au cours d'un voyage de transport des produits. La batterie sert à donner la tension 24 V, qui est utilisée à la fois pour l'alimentation du circuit de commande et pour l'alimentation du démarreur du moteur thermique.	Courte durée de vie. Ceci peut se présenter aussi à cause de la défaillance de l'alternateur qui est chargé pour effectuer sa recharge.	A une tension inférieure à 24 V, les bobines des contacteurs n'arrivent pas à établir les contacts en eux, donc il n'y aura plus de fonctionnement du circuit de commande, de plus, le démarreur n'arrive pas à faire tourner le volant moteur du moteur thermique à cette tension.	Faire des entretiens réguliers.

I.1.4.1.b- Circuit de commande

Le circuit de commande peut tomber en panne à cause d'un court circuit au niveau du secteur d'alimentation ou à cause des autres pannes suivantes :

PANNES	DOMAINE ET UTILISATION	CAUSES	EFFETS	REMEDES
Concernant le thermostat de régulation ($\theta >$)	Le thermostat est monté avec le détendeur à égalisation de pression externe dans le circuit fluidique. Il est schématisé sur la partie où se trouve le relais de commande. Le thermostat est un appareil qui sert à maintenir la température de conservation des denrées constante. C'est grâce à lui que la marche automatique de la production du froid s'établit.	Vieillesse ou une perte de fluide dans le bulbe de sondage.	Les autres contacts ne peuvent se fermer car c'est le contact principal qui ne fonctionne pas, donc les bobines des relais ou contacteur sont hors tension.	Comme il est un appareil monté sur le circuit fluidique donc peu accessible, alors il vaut mieux employer un thermostat de bonne qualité.
Concernant le pressostat (HP>)	C'est un contact à ouverture et est monté sur le tuyau de refoulement du compresseur dans le circuit fluidique. Il est schématisé en série avec le thermostat. Le pressostat (HP>) est un capteur de pression, utilisé pour la détection de la valeur pré calculé du haute pression refoulé par le compresseur.	Vieillesse ou une autre panne indépendante a lui	Si celui-ci détecte un excès de pression, c'est-à-dire qu'il existe une panne quelque part, il s'ouvre automatiquement. Cela entraîne la coupure de toutes circuits de commande, donc l'arrêt total.	Utiliser un pressostat de bonne qualité.
Concernant le pressostat (BP>)	C'est un contact à ouverture et est monté juste après l'évaporateur. Monté en série avec le thermostat et le pressostat (HP>) dans le circuit de commande. Il est utilisé pour la détection de la valeur de la basse pression en fonction de la surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène formé dans l'évaporateur.	Vieillesse ou une autre panne indépendante a lui.	On ne peut pas savoir si on doit produire du froid ou non.	Utiliser un pressostat de bonne qualité.
Concernant les contacteurs et les relais	Les contacteurs et les relais sont des appareils munis d'une bobine électroaimant, d'un noyau et des contacts. Ils sont utilisés pour établir ou interrompre les contacts schématisés dans le circuit de commande lorsqu'ils sont excités.	Nombre de manœuvres qu'ils ont pu effectuer et reposant sur leurs durée de vie.	Il n'y aurait plus de contacts établis quand ils tombent en panne, surtout le contacteur de commande.	Choisir des contacteurs et relais de longue durée de vie et qui peuvent supporter l'intensité du courant au moment du démarrage.

On peut rencontrer autres pannes que celles-ci, au niveau production de froid, dans le circuit de commande que nous verrons dans la suite.

I.1.4.1.c- Moteurs électriques

PANNES	DOMAINE ET UTILISATION	CAUSES	EFFETS	REMEDES
Concernant le moteur électrique	Le moteur utilisé dans les transports frigorifique est un moteur asynchrone triphasé 380V. Il est utilisé pour l'entraînement du compresseur lorsqu'on utilise le secteur électrique pendant le stationnement près d'une source d'énergie électrique.	Le moteur serait en panne ou grillé à cause d'une surtension provoquée par le déséquilibre du réseau d'alimentation ou du surdimensionnement du relais magnétothermique ou du disjoncteur.	Il n'y aurait plus de production de froid. En ce moment-là on serait obligé de le rebobiner et d'utiliser le secteur thermique que nous considérons comme une perte économiquement.	Bien veiller sur la tension d'alimentation, bien dimensionner les relais de sécurité et disjoncteur.
Concernant le démarreur	Le démarreur utilisé est un moteur électrique à grande couple d'entraînement alimenté sous 24 V. Il sert à faire démarrer le moteur thermique quand on utilise le secteur thermique.	Une surintensité causée par le blocage du vilebrequin qui entraînera la grillade de son enroulement.	Le moteur thermique ne se démarrera pas, ça arrêterait la production du froid en cours de route.	On peut munir le démarreur avec un relais thermique.
Concernant l'alternateur	Utilisé pour recharger la batterie et d'alimenter les lampes pendant la nuit.	Durée de vie trop courte ou à cause du mauvais fonctionnement des courroies de transmission.	La batterie seule doit supporter les demandes des appareils électriques en ses moments de défaillances.	Effectuer des vérifications journalières de la valeur de la tension de la batterie.

I.1.4.2- Pannes mécaniques

PANNES	DOMAINE ET UTILISATION	CAUSES	EFFETS	REMEDES
Pompe à eau	Entraînée par le moteur thermique au moyen des courroies et se trouvant en dessus de celui-ci, la pompe à eau sert à faire remonter l'eau de refroidissement du moteur thermique vers son radiateur qui se trouve en dessus pour que celle-ci soit refroidis par le ventilateur externe.	Usure normale de la presse étoupe à rechange, jeu axial et le rebagage.	Echauffement du moteur thermique	Réparation ou changement
Accélérateur magnétique	Alimenté sous 24 V, il sert à l'accélération automatique du moteur thermique jusqu'à vitesse optimale d'engrènement de l'embrayage centrifuge.	Grillé	Le moteur n'accélère guère donc pas d'entraînement du compresseur	Réparation
Embrayage centrifuge	Monté en bout d'arbre sur le vilebrequin et munis des garnitures, il exige une vitesse optimale pour pouvoir effectuer l'engrènement entre le tambour et les garnitures. Il sert à l'accouplement du vilebrequin et l'arbre du compresseur quand on utilise le secteur thermique pour l'entraînement du compresseur.	Usure normale des garnitures	Pas d'entraînement du compresseur	Remplacement des garnitures.
Presse étoupe du compresseur	Utilisée pour assurer l'étanchéité du compresseur	Jeu axial du rotor, vibration	Fuite d'huile au niveau du compresseur qui entraînera son manque d'huile.	Vérification périodique de l'usure au niveau de l'axe du compresseur.
Tendeur des courroies	Les courroies relient un appareil à un autre. ils sont les principaux éléments de transmission des couples d'entraînement des appareils.	Vibration et usure normale	Le moment du couple d'entraînement produit n'est pas suffisant pour réaliser la demande du récepteur. Diminution de (HP) ou manque de pression de condensation	Vérifier chaque serrage, régler les poulies pour les tendres.

Jusqu'ici, nous n'avons considéré que les pannes. Une bonne maintenance de l'installation et des engins frigorifiques est à prévoir pour retarder leur défaillance.

CHAPITRE II : PROPOSITION DE GESTION DE LA MAINTENANCE DES ENGINES

La maintenance est l'ensemble des actions assurant le meilleur fonctionnement possible de l'installation et des engins frigorifiques en cours d'utilisation et de retarder leurs défaillances.

Avant toutes sortes de maintenance, il faut penser à :

II.1- Formation du personnel

Le personnel doit être formé à la conduite, à l'entretien et à l'utilisation de l'engin, parce que le matériel mal réglé s'usera prématurément, se déformera, se bloquera, tombera en panne et sera indisponible. Il faut donc penser au

A. formation technique (notion de technologie du camion frigorifique)

- alimentation / injection (moteur Diesel)
- transmission et autres organes (embrayage centrifuge, courroies, accélérateur magnétique, équipement électrique, ...)
- principe de production du froid utilisé

B. formation pratique

- fonctionnement du tableau de bord
- réglage des appareils (thermostat, poulies...)
- entretien courant du camion (lubrification, ...)

II.2- Planning de maintenance

Les deux premières choses à bien veiller sont : le temps de bon fonctionnement des courroies (TBFC) et le nombre d'heures pendant laquelle les monoblocs ont tourné. C'est sur ce nombre d'heures que repose le type d'entretien convenable.

AVANT CHAQUE TRANSPORT

ORGANE	OPERATION	CONSEIL - REMARQUES
FILTRE A AIR (16)	Vérification et nettoyage	- Le nettoyage doit se faire au fuel, au gas-oil, jamais à l'essence - Vérifier que l'entrée d'air n'est pas obturée par des poussières. - Brosser ailettes et tamis. - Centrer les joints au remontage - Vérifier les connections filtre tubulure
FILTRE À CARBURANT (17)	Vérification	Préfiltre décanteur. Vidanger dès que eau ou impuretés apparaissent en fond du cuve
RADIATEUR DU MOTEUR THERMIQUE (14)	Vérification et nettoyage	- Vérification du niveau d'eau. Il doit se trouver à 4 ou 5 cm en dessous du trop-plein - Utiliser, chaque fois que possible, de l'eau de pluie (pas de dépôts calcaires) - En marche, surveiller le thermomètre. Stopper avant d'atteindre le rouge - Si le moteur est chaud, le niveau doit être complété, moteur en marche - Vérifier que le faisceau n'est pas encrassé ; le souffler à l'air comprimé
COURROIES DES VENTILATEURS (8)	Vérification	- TENSION : la flèche de la courroie doit être égale à l'épaisseur d'un doigt, environ, lorsqu'on exerce une pression sur l'un des brins. Une courroie tendue « siffle » souvent - Etat de la courroie : vérifier qu'elle ne se fendille pas - Jeu de l'axe du ventilateur
CONDENSEUR (13)	Nettoyage	Souffler à l'air comprimé, ou nettoyer avec brosse et pinceau, l'entrée de l'air, les ailettes de refroidissement, dès accumulation de poussières
CARTER MOTEUR THERMIQUE (18)	Vérification	- Surveiller l'indicateur de pression d'huile, en marche - Le camion étant placé sur une sole horizontale, vérifier le niveau d'huile - S'assurer de la propreté des récipients et de l'orifice de remplissage du carter - Compléter sans jamais dépasser le maximum - Ne jamais mélanger les huiles
POMPE D'INJECTION (19)	Vérification	Niveau d'huile du carter de pompe
BATTERIE (20)	Vérification	- Le niveau de l'électrolyte doit dépasser les plaques d'un bon demi centimètre, mais pas plus, pour éviter les risques de débordement (secousses) - Nettoyer batterie et supports - Vérifier la fixation de la batterie sur son cadre
POULIES	Réglage	Serrage des vis de fixation des axes afin de bien tendre les courroies de transmission
INSTALLATION FRIGORIFIQUE	Test incondensable	Vérification du HP > au moyen d'un manifold
MOTEUR ELECTRIQUE	Vérification de l'état du moteur	- Mesurer l'impédance des trois (3) enroulements - Vérifier s'il n'y a pas de fuite de courant au niveau de la masse du moteur et des enroulements ; s'il y en a, penser à la réparation

TOUTES LES 360 HEURES DE MARCHE

ORGANE	OPERATION	CONSEILS – REMARQUES
FILTRE À CARBURANT	Changement et nettoyage	Changement de la cartouche du filtre primaire et nettoyage du pré filtre métallique
REFROIDISSEMENT A EAU	Graissage	Graissage de la pompe à eau avec la graisse appropriée
REFROIDISSEMENT A AIR	Graissage	Graissage des roulements de l'axe des ventilateurs
CIRCUIT D'HUILE	Nettoyage	Nettoyage du tube de reniflard
CARTER MOTEUR	Vidange et nettoyage	• Vidange de l'huile, à chaud. On ne doit pas trop se fier à la couleur de l'huile pour déterminer la date de vidange. En effet, les huiles détergentes noircissent très vite sans perdre toutes leurs qualités ; si du gas-oil vient la diluer, une huile usagée aura au contraire un aspect plus clair • S'assurer de la propreté des récipients et de l'orifice du carter • Respecter : nature, viscosité et quantité fixées par le constructeur
INJECTION	Tarage et nettoyage	• Tarage des injecteurs. Cette opération devra être confiée au concessionnaire • Si on dispose de moyen (atelier équipé correctement en personnel qualifié et matériel voulu), on peut envisager le travail à l'atelier de l'entreprise, en veillant à ce que : le démontage se fasse à l'abri des poussières, sur un établi propre ; nettoyage au gas-oil ; les nez d'injecteur ne doivent pas être nettoyés avec un fil d'acier, mais avec une curette en bois ou avec des métaux tendres (cuivre par exemple) • Au remontage, mêmes précautions de propreté. Changer les joints de cuivre et purger le circuit • Ce tarage peut devoir être fait, en dehors du cycle normal, en cas de fumées noires de l'échappement du moteur thermique

TOUTES LES 1250 HEURES DE MARCHE

ENTRETIEN COMPLET

REEMPLACEMENT

- Filtre à carburant
- Toutes les courroies après les vérifications adaptées
- Filtre à huile
- Garnitures de l'embrayage centrifuge

VERIFICATION ET NETTOYAGE

- Radiateur
- Filtre à air
- Pale des ventilateurs
- Carter moteur
- Tarage des culbuteurs
- Pompe d'injection
- Alternateur
- Moteur électrique (alimentation, fuite de courant, barrette de couplage)
- Circuit d'huile
- Circuit électrique (relais, contacteur...)

Il ne serait pas nécessaire de mentionner qu'il est impérativement conseillé de remplacer la batterie après son épuisement et de faire le plein de carburant avant tous déplacements.

Il serait fortement possible, dans le cas d'un mauvais entretien, que les camions tombent en panne, que ce soit en station ou en pleine route. En ce moment-là, les denrées transportées subissent un échauffement à travers les parois, en saison chaude, et peuvent dépasser la température de conservation pendant un certain temps. Alors nous proposons un logiciel de calcul du temps optimal de réparation et simulation des pannes.

Le tableau suivant résume les entretiens qu'il faut effectuer durant la marche d'un camion.

II.3- Tableau résumant les maintenances

		MAINTENANCE PREVENTIVE AVANT CHAQUE TRANSPORT			MAINTENANCE CONDITIONNELLE TOUS LES 360 heures			MAINTENANCE CORRECTIVE TOUS LES 1250 heures		
OPERATION		VERIFICATION	NETTOYAGE	REGLAGE	VERIFICATION	NETTOYAGE	REGLAGE OU REMPLACEMENT	VERIFICATION	NETTOYAGE	REGLAGE OU REMPLACEMENT
ORGANES										
PARTIE MECANIQUE	Filtre à air									
	Filtre à carburant	●	●					●	●	
	Radiateur	●				●	●			●
	Courroies des ventilateurs	●	●					●	●	
	Carter	●								●
	Pompe d'injection	●				●		●	●	
	Poulies	●						●	●	
	Refroidissement à eau			●						●
	Refroidissement à air				●	●				
	Circuit d'huile				●	●				
	Embrayage centrifuge					●		●	●	
	Filtre à huile									●
	Pales des ventilateurs									●
	Tarage des culbuteurs	●			●			●		
PARTIE THERMODYNAMIQUE	Condenseur						●			
	Installation frigorifique	TEST INCONDENSABLE								
PARTIE ELECTRIQUE	batterie		●					●	●	
	MAS 3~									
	alternateur	●			●			●		
	Circuit de commande	●						●	●	

● ●

CHAPITRE III : LOGICIEL DE CALCUL ET SIMULATION DES PANNES EN VISUAL BASIC

Dans la suite de notre étude on choisira le camion de la classe A1 à cause de la facilité de son accès, de plus les éléments constitutifs des autres engins sont tous compris dans celui-ci.

Entre autre, sur le plan calcul du temps optimal de dépannage ils présentent souvent des dimensions supérieures à celles des autres vis-à-vis de la transmission de la chaleur a travers les parois ou murs.

III.1- Présentation du logiciel

Notre logiciel est un logiciel programmé en VISUAL BASIC nous permettant de détecter les pannes ou défaillances lorsque l'on reconnaît que la puissance frigorifique est trop faible et de déterminer le temps de réparation des pannes au moment où le système tombe en panne.

Ces pannes ou défaillances pouvant être dans tous les systèmes composants la production de froid, c'est-à-dire qu'elles peuvent

- Être l'une des éléments constituant le circuit fluide (cf. fig. I.8 p.15)
- Se situer dans le mécanisme d'entraînement (cf. fig. II.1 p.20)
- Se situer dans le système de commande (cf. fig. II.2 p.36)

III.2- Calcul du temps optimal de réparation des pannes

III.2.1- Démonstration (<http://jc.castaing.free.fr/>)

Considérons d'abord l'échange de chaleur dans un échangeur illustré dans la figure suivante :

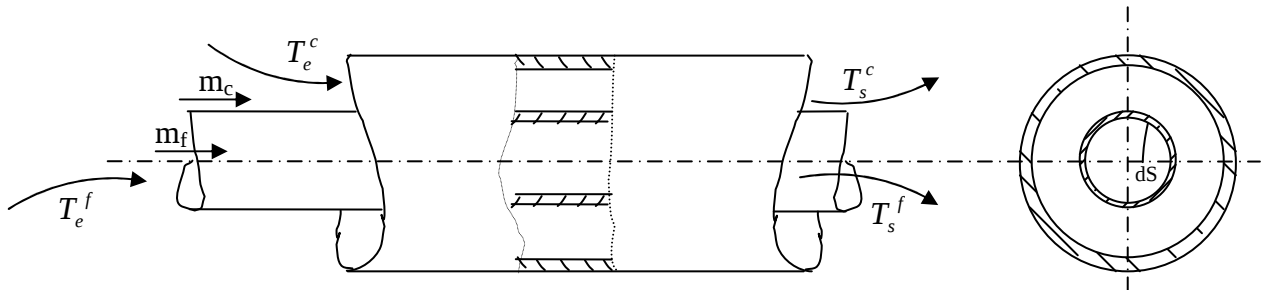


Fig. III.1 : représentation schématique d'un échangeur en inverse

Le premier principe appliqué à l'élément de volume de surface d'échange dS_f s'écrit :

$$\frac{dU}{dt} = \delta Q + m (h_i - h_f)$$

L'enthalpie variant de dh au cours de sa traversée du volume, on a : $h_f = h_i + dh$

Par ailleurs, on a :

$$\delta Q = K_f \cdot dS_f \cdot (T_f - T_p) \text{ et } dh = C_{p_f} \cdot dT_f$$

Le premier principe s'écrit alors :

$$K_f \cdot dS_f \cdot (T_f - T_p) + m_f \cdot C_{p_f} \cdot dT_f = 0$$

Avec : K : coefficient d'échange convectif [$\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$]
 dS : surface d'échange élémentaire [m^2]
 m : débit massique de fluide [kg/s]
 C_p : capacité calorifique du fluide [$\text{J}/\text{kg}.\text{K}$]
 T_f : température du fluide froid (variable) [$^{\circ}\text{C}$]
 T_c : température du fluide chaud (variable) [$^{\circ}\text{C}$]
 T_p : température de la paroi [$^{\circ}\text{C}$]

La même démarche appliquée au fluide chaud conduit à :

$$K_c \cdot dS_c \cdot (T_c - T_p) + m_c \cdot C_{p_c} \cdot dT_c = 0 \quad [\text{J}]$$

Le système devient alors :

$$m_f \cdot C_{p_f} \cdot dT_f = K_f \cdot dS_f \cdot (T_p - T_f) \quad [\text{J}]$$

$$m_c \cdot C_{p_c} \cdot dT_c = K_c \cdot dS_c \cdot (T_p - T_c)$$

Comme il y a conservation de l'énergie (premier principe appliqué au système global), on peut écrire en sommant ces deux expressions :

$$d\Phi = K \cdot dS \cdot (T_c - T_f) \quad [\text{J}]$$

Revenons maintenant sur notre camion et étudions la figure suivante :

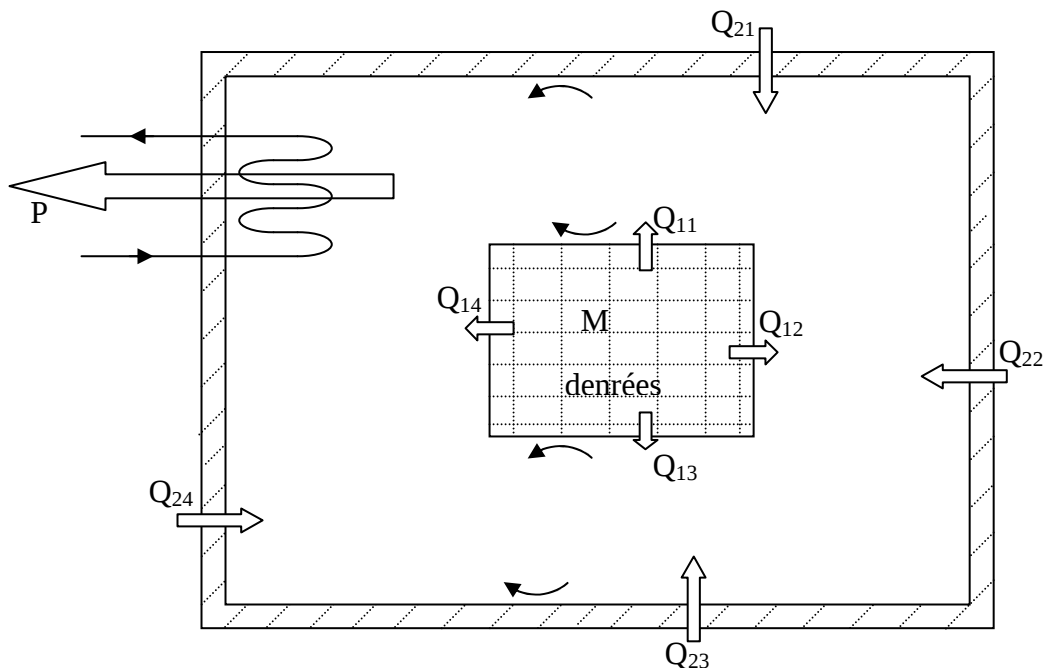
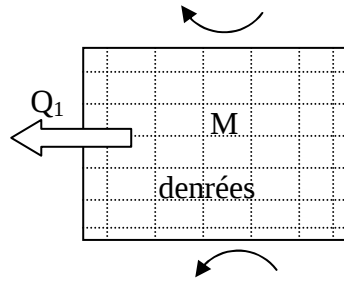


Fig. III.2 : échange de chaleur généralisée dans les conteneurs

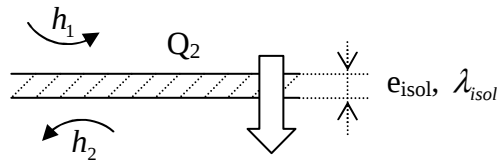
La quantité de chaleur dégagée par les denrées :



$$Q_1 = M \cdot C_{p_d} \cdot T_d \quad [J]$$

Fig. III.3 : échange de chaleur entre denrées et le medium refroidissant

La quantité de chaleur transmise à travers les parois :



$$Q_2 = K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \cdot t \quad [J]$$

Fig. III.4 : échange de chaleur à travers les parois

La quantité de froid produite par l'installation frigorifique dans le camion :

$$\sum Q_{froid} = P \cdot t \quad [J]$$

$P (>0)$: puissance de l'installation frigorifique dans le camion

$$\begin{aligned} \sum Q_{chaud} &= Q_1 + Q_2 \\ &= M \cdot C_{p_d} \cdot T_d + K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \cdot t \end{aligned} \quad [J]$$

Pour avoir un équilibre thermique, il faut que :

$$\begin{aligned} \sum Q &= 0 \quad \text{c'est-à-dire} \quad \sum |Q_{chaud}| = \sum |Q_{froid}| \quad [J] \\ \Rightarrow \quad |M \cdot C_{p_d} \cdot T_d + K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \cdot t| - |P \cdot t| &= 0 \\ |M \cdot C_{p_d} \cdot T_d| &= |P \cdot t| - |K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \cdot t| \end{aligned}$$

En dérivant par rapport à t on aura :

$$|M \cdot C_{p_d} \cdot \frac{dT_d}{dt}| = |P| - |K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int})|$$

$$\text{Comme } (T_{ext} > T_{int}) \text{ et } (dT_d < 0) \Rightarrow |M \cdot C_{p_d} \cdot \frac{dT_d}{dt}| = -M \cdot C_{p_d} \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

Ce qui nous amène à l'équation différentielle permettant de rendre compte l'évolution des denrées au cours du temps. Elle sera aussi l'équation de base dans notre calcul.

$$M \cdot C_{p_d} \cdot \frac{dT_d}{dt} = -|P| + K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

[W]

III.2.2- Calcul du temps de dépannage

Quand on est en panne c'est que $P = 0$

$$P = 0 \Rightarrow M \cdot C_{p_d} \cdot \Delta T = K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \cdot t \quad [W]$$

$$t = \frac{M \cdot C_{p_d} \cdot (T_{cr} - T_i)}{K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_i)}$$

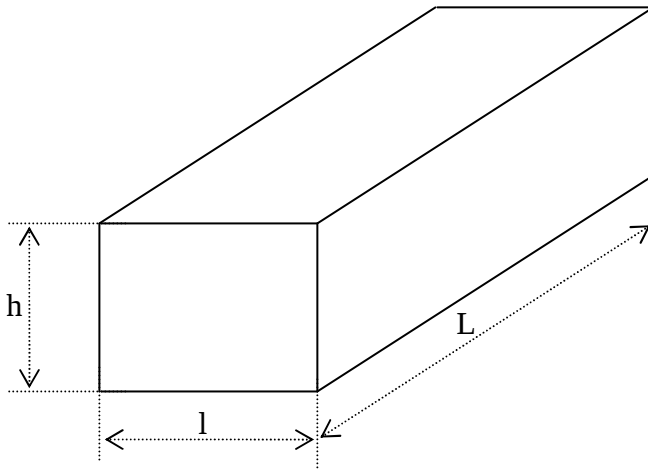


Fig. III.5 : dimensionnement du conteneur

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + \frac{1}{h_2}}$$

$$S = 2 (L \cdot l + L \cdot h + l \cdot h)$$

M : masse des denrées transportées [kg]

C_{p_d} : capacité calorifique des denrées [J/kg.K]

T_{cr} : température critique de conservation en dessus de laquelle les denrées risquent de pourrir [°K]

T_i : température initiale des denrées en début de laquelle la panne s'est présentée [°K]

K : coefficient d'échange de chaleur qui tient compte de la conduction et de la convection [W/m².K]

S : surface d'échange de chaleur avec le milieu extérieur [m²]

T_{ext} : température du milieu extérieur [°K]

h_1 : coefficient d'échange convectif externe [W/m².°K]

h_2 : coefficient d'échange convectif interne [W/m².°K]

L : longueur du conteneur [m]

l : largeur du conteneur [m]

h : hauteur du conteneur [m]

III.3 – Organigramme pour la détection des pannes

Pour avoir cet organigramme il faut assimiler les conteneurs frigorifiques à une chambre froide pour la simulation, sauf que celui-ci présente des surplus par rapport à celui des chambres froides. Cet organigramme est appliqué dans le logiciel.

III.4 - Le logiciel

Notre logiciel comporte une interface, composé de 06 fenêtres qui ont tous leurs spécificités.

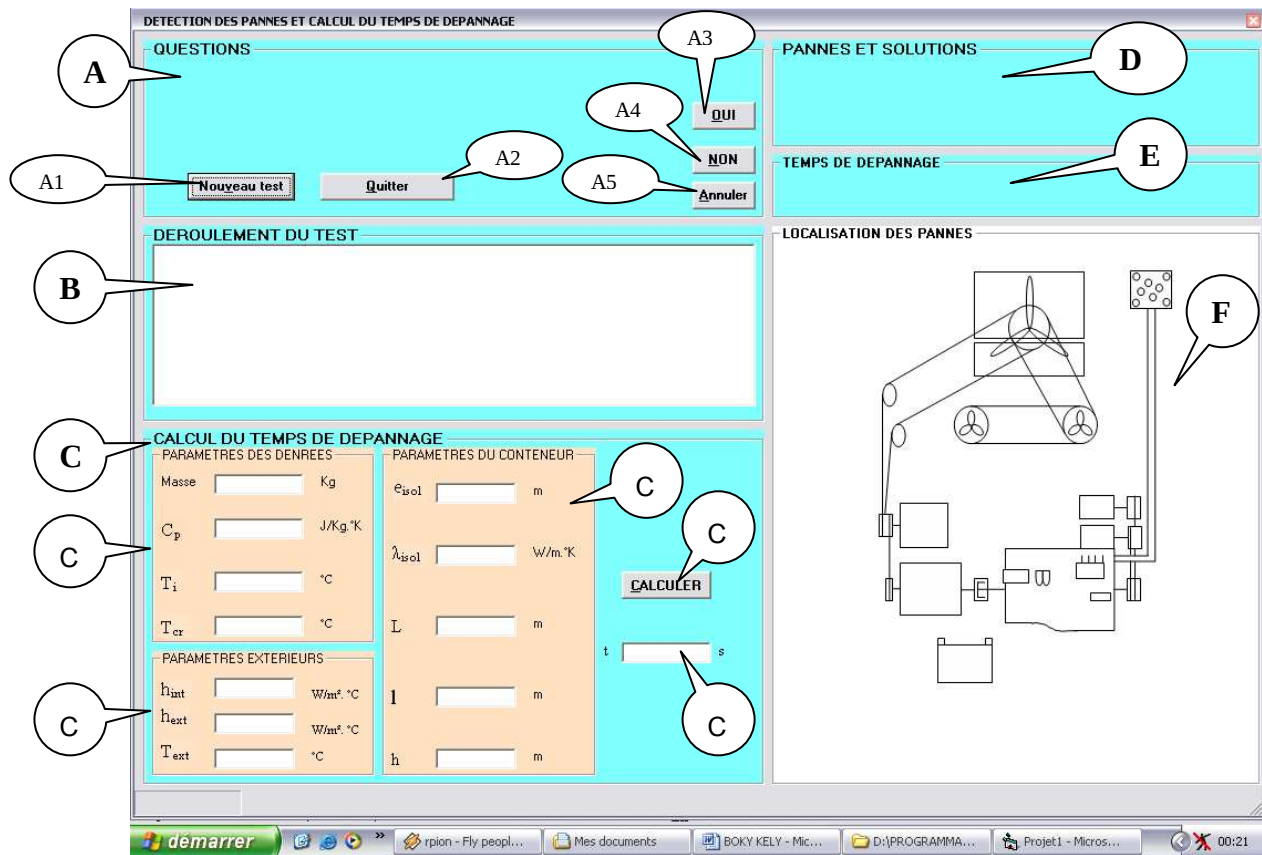


Fig. III.6 : figure de notre interface dans le logiciel

A : fenêtre où se posent des questions, concernant l'installation, à laquelle l'utilisateur doit répondre par OUI ou par NON.

A1 : bouton sur lequel on appuie si on veut faire une nouvelle teste de panne.

A2 : bouton sur lequel on appuie pour quitter ou reprendre soit le teste en cours ou quitter définitivement.

A3 : bouton sur lequel on appuie pour attribuer une réponse positive à la question qui se pose.

A4 : bouton sur lequel on appuie pour attribuer une réponse négative à la question qui se pose.

A5 : bouton sur lequel on appuie pour annuler et de reprendre la dernière question précédemment.

B : fenêtre montrant la liste du déroulement du teste ainsi que leurs réponses respectives

C : fenêtre pour le calcul du temps optimale de réparation des pannes.

C1 : sous fenêtre caractérisant les denrées transportées, tels que:

- Leur masse m [kg]
- Leur chaleur massique C_p [J / kg.°K]
- Leur température initiale au début de la panne T_i [°C]
- Leur température de conservation au dessus du quelle elles se pourrissent T_{cr} [°C]

C2 : sous fenêtre indiquant les paramètres extérieur tels que :

- Le coefficient de transfert de chaleur par convection interne h_{int} [W/m².°C]
- Le coefficient de transfert de chaleur par convection externe h_{ext} [W/m².°C]
- La température extérieure où baigne le conteneur au moment de la panne T_{ext} [°C].

C3 : sous fenêtre caractérisant le conteneur, comprenant :

- L'épaisseur de son isolation e [m] ;
- La conductivité thermique de son isolant λ_{isol} [W /m.°K] ;
- La longueur de son conteneur L [m] ;
- La largeur de son conteneur l [m] ;
- La hauteur de son conteneur h [m] ;

C4 : bouton sur lequel on appui pour calculer le temps limite de dépannage des pannes.

C5 : partie dans laquelle le temps (en s) de dépannage s'affiche ;

D : fenêtre indiquant la panne ;

E : fenêtre montrant la valeur du temps de dépannage en minute ;

F : fenêtre de localisation des pannes ;

Lorsque le conducteur n'arrive pas à trouver les solutions des pannes il serait mieux d'installer des plaques eutectiques sur les parois du camion et de chercher le plus vite possible une source d'énergie électrique pour faire marcher l'installation.

CHAPITRE IV : ENVIRONNEMENT

Les décennies ont vu s'opérer une baisse continue de la qualité de l'environnement, ainsi qu'une régression quantitative des formations naturelles. Ce constat est tout à fait vrai, non seulement aux pays développés, mais surtout aux pays en voie de développement comme le notre.

Le Ministère de l'Environnement est le garant de la politique nationale dans le domaine de la protection de l'environnement et de l'amélioration de la qualité de la vie. Pour cela, il agit dans le respect et la consolidation de la Charte de l'Environnement. Il a pour objectif de concilier les stratégies de développement sectorielles définies par le Gouvernement, avec la politique environnementale propre au Ministère.

Il exerce par ailleurs la tutelle technique des agences d'exécution du Plan d'Actions Environnementale (PAE) : l'Office Nationale de l'Environnement (ONE), l'Association Nationale pour les Actions Environnementales (ANAE), ainsi que des organismes publics rattachés relevant de l'environnement tels que la Direction des Eaux et Forêts (DEF). Il se trouve investi, de ce fait, des pouvoirs dévolus à l'autorité de tutelle technique par les statuts propres de ces établissements et la Charte de l'Environnement.

Notre environnement est qualifié d'exceptionnel du fait de la diversité de la nature qui le compose, et l'existence de cet environnement précieux nous doit pousser dès maintenant à réfléchir sur leur protection.

Ainsi, il nous semble nécessaire d'adjoindre, à cet ouvrage, une étude de l'impact environnemental du sujet de mémoire traité et de proposer quelques suggestions de solutions.

IV.1- Impactes environnementaux

Beaucoup sont les formes de destruction de l'environnement si nous ne parlons que la pollution, le réchauffement de la terre par les gaz à effet de serre et la destruction de la couche d'ozone. De ce fait, nous nous intéresserons, le mieux concerné par notre sujet, à la destruction de la couche d'ozone et au réchauffement de la planète.

IV.1.1-Destruction de la couche d'ozone

L'ozone est une forme d'oxygène triatomique. C'est une molécule instable. Le rayonnement ultraviolet du soleil peut le décomposer, cependant celui-ci contribue à sa création en brisant la liaison entre les molécules d'oxygène. Les atomes libres se combinent ensuite avec une autre molécule d'oxygène afin d'obtenir l'ozone.

La couche d'ozone est une fine couche de molécule d'ozone qui se concentre dans la stratosphère jouant ainsi le rôle de protecteur de notre planète en empêchant les rayons UV du soleil d'atteindre la terre. Ces dites rayons entraînent le coup de soleil et le cancer de la peau ; sur l'œil, ils provoquent le cataracte et la cécité ; sans parler de ses effets néfastes sur les faunes et flores terrestres et marins. Or, la couche d'ozone disparaît selon les spécialistes. Cette disparition pourrait atteindre 40% de la couche d'ozone en 2080, ce qui est très alarmant.

La couche d'ozone stratosphérique peut être détruite en présence des atomes de chlore et de brome. Ces atomes proviennent des produits chimiques surtout dans les

fluides frigorigènes. Ainsi, dans le froid qui est un meilleur champ de réaction, se produisent des réactions chimiques complexes.

Mécanisme de destruction

- Des atomes libres de chlore et de brome réagissent avec l'ozone pour former du monoxyde de chlore ou du monoxyde brome, volant un atome d'oxygène et transformant la molécule d'ozone en oxygène.
- Les molécules de chlore ou de monoxyde de brome réagissent au contact des atomes libres d'oxygène, abandonnant l'atome d'oxygène volé pour former d'autres molécules d'oxygène. Les atomes de chlore ou de brome nouvellement libérés recommencent le processus en attaquant une autre molécule d'ozone. De cette façon, chacun de ces atomes peut détruire des milliers de molécules d'ozone.

IV.1.2- Réchauffement de la planète

La diminution de la couche d'ozone entraîne un réchauffement de la planète à cause des gaz à effet de serre, comme CO_2 , CH_4 , NO_2 et les gaz d'échappement, qui s'émanent au cours des décompositions chimiques et lors de la mise en marche des véhicules.

Ce réchauffement de la planète entraîne une instabilité du climat terrestre et une forte pollution si on ne tente pas de les réduire au maximum.

IV.2- Quelques éléments destructeurs de l'environnement

Dans notre cas, les principaux éléments destructeur de l'environnement sont surtout :

Les éléments à base de chlore

- Les chlorofluorocarbones (CFC) et ses dérivés (fluide frigorigène)
- L'hydrofluorocarbonate (HCFC)
- Le tétrachlorure de brome
- Le méthyl chloroforme

Les éléments à base de brome

- Les halons qui contiennent du bromofluorocarbonate (BFC)
- Le bromure de méthyl utilisé comme pesticide dans l'agriculture

IV.3- Mesures prises pour lutter contre la destruction de la couche d'ozone

La communauté internationale a pris des mesures afin de préserver la couche d'ozone. Ainsi, depuis 1985, les actions suivantes ont été effectuées :

Contrôle et limitation de la production, la consommation et l'utilisation des substances appauvrissant l'ozone (SAO) ; élimination des CFC, les halons et les HBFC dans les pays développés ; élaboration d'un planning de réduction à long terme afin d'éliminer les HCFC et étude des substituts qui pourraient remplacer les SAO.

Comme Madagascar est un pays en voie de développement, il est soucieux de préserver son environnement tout en voulant assurer des activités économiques prospères, surtout dans le secteur industriel. Ces principales ressources des activités économiques réclament un transport d'une région à l'autre et une conservation adéquate selon le type de produits. De ce fait, on fait appel aux transports frigorifiques.

Notre environnement est vulnérable et en même temps, accueille facilement les polluants. Des polluants que, le plus souvent, nous provoquons nous-mêmes, tels que :

- Les émanations gazeuses des installations industrielles
- Les gaz d'échappement

A long terme, ces polluants en s'accumulant, peuvent devenir toxiques. L'eau et l'air sont les premiers responsables de leur transport et de leur propagation. C'est surtout la couche d'ozone qui est le premier élément que nous devrions nous en soucier.

Dans les transports frigorifiques, il se peut qu'il y ait des fuites de gaz frigorigène et l'inévitable dégagement des gaz d'échappement. Alors pour minimiser ces agents polluants et destructeurs de la couche d'ozone une bonne maintenance des engins est à prévoir.

Dans notre cas, on utilise souvent des fluides frigorigènes contenant, le plus souvent, des atomes de Chlore qui est l'un des premiers éléments destructeurs de la couche d'ozone.

Utiliser des fluides frigorigènes sans CFC comme les R 134 a dans la réfrigération et la climatisation et enfin n'utiliser les HCFC que comme solution intermédiaire ou substances de transition car ils seront éliminés.

Des grands pas ont été effectués pour préserver l'environnement. Mais l'adoption de la plupart des solutions semble demander beaucoup d'effort financier. Et si une solution est adaptée pour lutter contre une forme de destruction, elle entraîne un autre type d'endommagement de l'environnement.

Nous espérons, que la communauté internationale et nous-mêmes pourrons trouver les meilleures solutions qui équilibrent l'économie et la protection de notre environnement.

Avec leurs impacts environnementaux, il faudrait bien maîtriser leurs utilisations c'est-à-dire de vérifier et de faire des entretiens en respectant notre démarche.

Ainsi, ce n'est pas seulement les industriels ou les dirigeants d'entreprises qui sont les responsables mais chacun est concerné, même dans les autres cas. Par ailleurs, il ne faut pas abuser de ces fluides frigorigènes pour sauver le ciel et respirer librement. Alors pourquoi ne pas commencer et prévoir dès maintenant.

CONCLUSION

Les ingénieurs malagasy possèdent tous les atouts nécessaires pour que Madagasikara connaisse un bond de développement technologique.

Notre mémoire est une première approche sur la maintenance des engins frigorifiques dans les transports. Après avoir parlé sur la production du froid et les systèmes d'isolation, on a pu établir quelques systèmes d'automatisation et contrôle de ces engins à partir des expériences vécues sur terrain en exploitant le fonctionnement des appareils de contrôle tels que les contacteurs, relais et les électrovannes. Notre étude n'est pas seulement restée à ce niveau mais on a aussi entré dans le domaine mécanique c'est-à-dire dans le fonctionnement d'un moteur thermique diesel.

Les camions frigorifiques peuvent tomber en panne en cours de route, et à tout moment. Alors, la mise en place d'une bonne maintenance est obligatoire pour retarder le vieillissement des systèmes.

Il serait même mieux de monter sur les camions un ordinateur de bord fonctionnant avec notre logiciel de maintenance afin d'économiser du temps.

Ces systèmes de contrôle et maintenance sont applicables à tous les types de camions particulièrement à celui qui est semblable à la catégorie A1

Enfin, ce document reste comme une archive concernant les camions frigorifiques et il est envisageable que les électroniciens en disposent pour porter des améliorations et par conséquent réduire l'espace occupé par les relais et contacteurs en les substituant par des appareillages électroniques.

LISTES DES FIGURES

PARTIE I

- Fig. I. 1** : cycle idéal de Carnot dans un diagramme entropique (T, S)
- Fig. I.2** : cycle frigorifique réversible de Carnot dans un diagramme (P, V)
- Fig. I.3** : cycle théorique représenté dans un diagramme enthalpique (h, logP)
- Fig. I.4** : cycle pratique représenté dans un diagramme enthalpique (h, logP)
- Fig. I.5** : circuit fluidique généralisé des conteneurs frigorifiques
- Fig. I.6** : les éléments principaux pour la production du froid dans les transports
- Fig. I.7** : détendeur thermostatique à égalisation de pression externe
- Fig. I.8** : circuit fluidique des engins de la classe A
- Fig. I.9** : photo d'un camion de la catégorie A1
- Fig. I.10** : photo d'un camion de la catégorie A2
- Fig. I.11** : photo d'un camion de la classe B
- Fig. I.12** : circuit fluidique des engins de la classe B
- Fig. I.13** : photo d'un camion de la classe C
- Fig. I.14** : circuit fluidique des engins de la classe C
- Fig. II.1** : mécanisme des engins frigorifiques de la catégorie A1
- Fig. II.2** : mécanisme des engins frigorifiques de la catégorie A2
- Fig. II.3** : mécanisme des engins frigorifiques de la classe B
- Fig. II.4** : mécanisme des engins frigorifiques de la classe C

PARTIE II

- Fig. I.1** : propagation de la chaleur par conduction
- Fig. I.2** : marche des températures dans un mur plan en régime stationnaire
- Fig. I.3** : parois homogènes à faces parallèles
- Fig. I.4** : transmission de la chaleur en réalité
- Fig. II.1** : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe A1
- Fig. II.2** : circuit de commande d'un engin de la classe A1
- Fig. II.3** : circuit de puissance d'un engin de la classe A1
- Fig. II.4** : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe A2
- Fig. II.5** : circuit de commande d'un engin de la classe A2
- Fig. II.6** : circuit de puissance d'un engin de la classe A2
- Fig. II.7** : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe B
- Fig. II.8** : circuit de commande d'un engin de la classe B
- Fig. II.9** : figure d'un tableau de bord d'un engin de la classe C
- Fig. II.10** : circuit de commande et circuit de puissance d'un engin de la classe C
- Fig. II.11** : Organigramme des pannes chez les systèmes statiques.

PARTIE III

- Fig. III.1** : représentation schématique d'un échangeur en inverse
- Fig. III.2** : échange de chaleur généralisée dans les conteneurs
- Fig. III.3** : échange de chaleur entre denrées et le medium refroidissant
- Fig. III.4** : échange de chaleur à travers les parois
- Fig. III.5** : dimensionnement du conteneur
- Fig. III.6** : figure de notre interface dans le logiciel

BIBLIOGRAPHIE

1. « Installation frigorifique » Tome I
P. J. Rapin, édition 254, rue de vaugierard-Paris cedex 15
2. « Installation frigorifique » Tome II
P. J. Rapin, édition 254, rue de vaugierard-Paris cedex 15
3. « Réfrigération : a pratical for apprenties »
G. H. Reed, édition EYROLLES, Paris 1886
4. « Thermodynamique technique »
Tome 2a. Production et transfert de chaleur - écoulement
Maurice Bailly, collection Bordas 1971, Paris Montréal
5. « Calcul des chambres froides »
H. J. Breidert, édition PYC LIVRES, Paris
6. « Formulaire du froid »
Pierre Rapin, 9^e édition DUNOD, Paris 1985
7. Cours TECHNOLOGIE DU FROID
RANAIVOSON Andriambala H., ESPA 2004
8. TECHNIQUES DE L'INGENIEUR
21, rue Cassette, Paris VI
9. le froid (questions et réponses)
M.E. ANDERSON, édition EYROLLES
10. CHARTE DE L'ENVIRONNEMENT
FOI ET JUSTICE, BP 3832 Antananarivo
11. <http://jc.castaing.free.fr/>

ANNEXES

ANNEXES I

CHARTRE DE L'ENVIRONNEMENT MALGACHE

GENERALITES

Article premier : La charte de l'environnement Malgache fixe le cadre générale d'exécution de la politique d'environnement, dont les modalités seront définies par des textes réglementaires d'application.

Art. 2 : On entend par environnement l'ensemble des milieux naturels et artificiels, y compris les milieux humains et les facteurs sociaux et culturels qui intéressent le développement national.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Art. 3 : L'environnement constitue une préoccupation prioritaire de l'état.

Art. 4 : La protection et le respect de l'environnement sont d'intérêt général. Il est du devoir de chacun de veiller à la sauvegarde du cadre dans lequel il vit.

A cet effet, toute personne physique ou morale doit être en mesure d'être informée sur les décisions susceptibles d'exercer quelque influence sur l'environnement, directement ou par l'intermédiaire de groupements ou d'association.

Elle a également la faculté de participer à des décisions.

MISE EN OEUVRE

Art. 5 : Le plan d'action environnemental, traduction de la politique nationale de l'environnement, constitue le fondement de toute action dans le domaine de l'environnement.

Art. 6 : L'objectif essentiel est de réconcilier la population avec son environnement en vue d'un développement durable.

A cet effet, le plan se donne les objectifs suivants :

- Développer les ressources humaines,
- Promouvoir un développement durable en gérant mieux les ressources naturelles
- Réhabiliter, conserver et gérer le patrimoine malgache de biodiversité,
- Améliorer le cadre de vie des populations rurales et urbaines,
- Maintenir l'équilibre entre croissance de la population et développement des ressources,
- Améliorer les outils de gestion de l'environnement,
- Aider à la résolution des problèmes fonciers.

Art. 7 : La gestion de l'environnement est assurée conjointement par l'état, les collectivités décentralisées, les organisations non gouvernementales régulièrement constituées, les opérateurs économiques, ainsi que tous les citoyens.

Art. 8 : Il appartient notamment à l'état :

- De définir la politique environnementale,
- D'organiser des campagnes de sensibilisation en collaboration avec les collectivités décentralisées et les organisations non gouvernementales concernées,
- De faire participer les partenaires ci-dessus évoqués aux décisions en matière de gestion de l'environnement,
- De coordonner les actions environnementales,
- De procéder ou faire procéder à un suivi et à une évaluation des actions menées dans le domaine de l'environnement,
- De veiller à la compatibilité des investissements avec l'environnement.

Art. 9 : La question de l'environnement repose sur une structure nationale comprenant :

- Une instance de conception chargée notamment de l'élaboration de la politique environnementale nationale,
- Un organe de gestion, de coordination, de suivi et d'appui des programmes et actions environnementaux publics et privés. Cette instance doit être consultée pour toute question relative à l'environnement.

Art. 10 : Les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact, compte tenu de la nature technique, de l'ampleur desdits projets ainsi que de la sensibilité du milieu d'implantation.

Les projets d'investissement soumis à autorisation ou à approbation d'une autorité administrative font également l'objet d'une étude d'impact dans les mêmes conditions que les autres projets.

Un décret précisera les modalités des études d'impact, la procédure applicable en la matière, et l'organe habilité à la mise en œuvre de ces études et procédures.

DISPOSITIONS DIVERSES

Art. 11 : Les opérateurs exerçant des activités engendrant des effets néfastes sur l'environnement seront soumis :

- Soit à des obligations compensatrices
- Soit au paiement de pénalités au profit de l'état, et dont les taux et les modalités de perception seront déterminés ultérieurement.

Art. 12 : Toutes dispositions contraires à celles de la présente loi sont abrogées.

Art. 13 : La présente loi sera publiée au *Journal officiel* de la République.

Elle sera exécutée comme loi de l'état.

ANNEXES II

Valeur de la conductivité thermique de quelques isolants

Matériau	Conductivité thermique utile λ [W/m.K]
Amiante-ciment	0,95
Amiante-ciment-cellulose	0,46
Plâtre sans granulats	0,50
Plâtre avec granulats légers	0,35
Polyamides (nylon) Polyesters Polyéthylènes	0,4
Polychlorure de vinyle	0,2
Polystyrène expansé	0,041
Polystyrène extrudé	0,035
Mousse rigide à base de polychlorure de vinyle	0,031
Mousse rigide à base de polyuréthane	0,033
Verre cellulaire	0,063
Perlite expansée	0,058
Liège	0,048

ANNEXES III

Résistance thermique superficielle $1/h_{\text{int}}$ et $1/h_{\text{ext}}$

Côté externe de la paroi	$1/h_{\text{ext}}$	Côté interne de la paroi	$1/h_{\text{int}}$
cas où il est en contact avec l'air extérieur	0,03	Cas du conteneur en ventilation mécanique	0,06
Cas où il est en contact avec un autre local	0,12	Cas du conteneur en ventilation naturelle	0,12

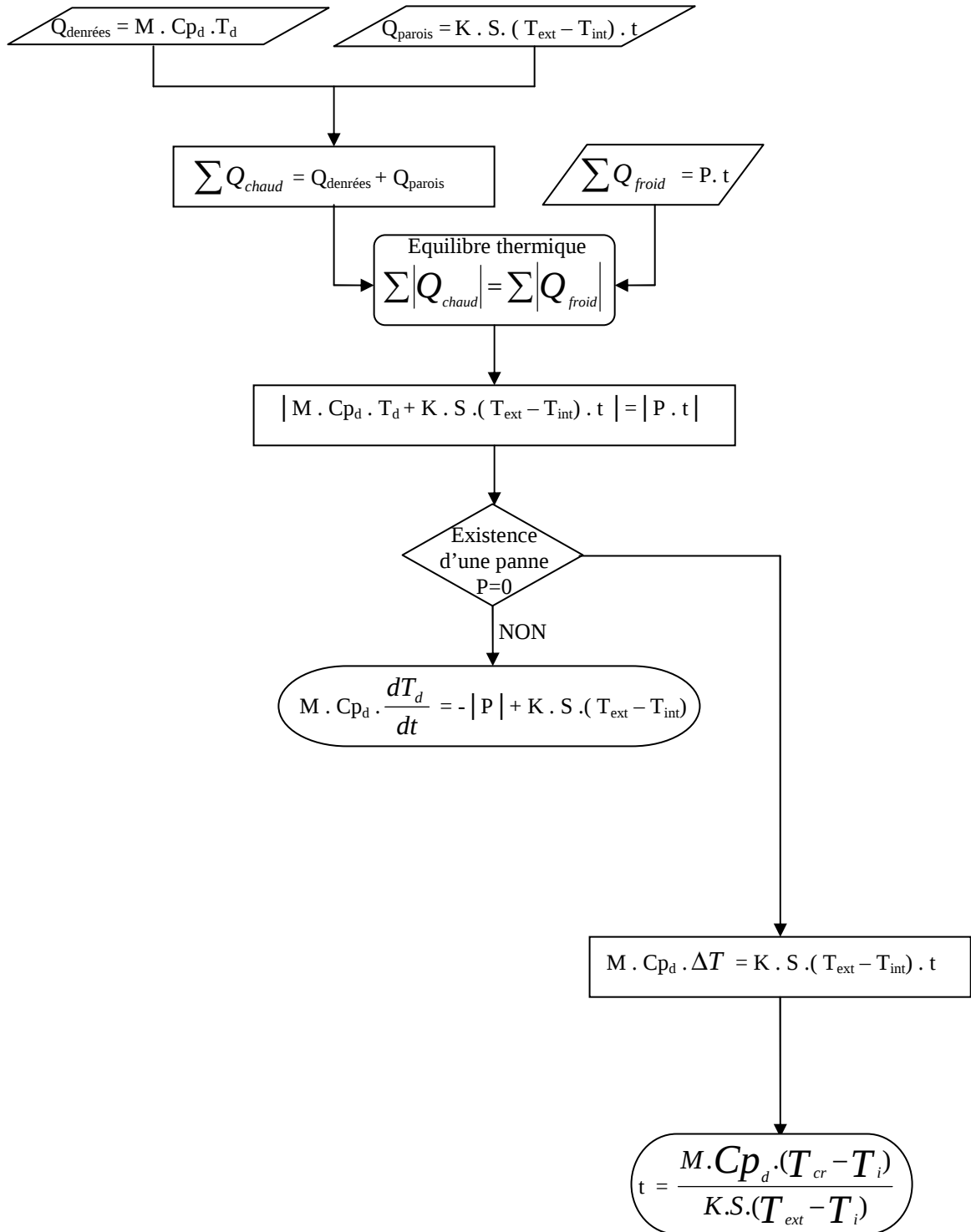
ANNEXES IV

Capacité thermique de quelques denrées

Denrée	Point de congélation haut [°C]	Capacité thermique massique Cp [kJ/kg.K]		Chaleur latente de congélation [kJ/kg]
		Avant congélation	Après congélation	
Beurre	-5,55	2,3	1,42	197
Brocolis	-0,61	3,85	1,97	302
Choux frisé	-0,5	3,73	1,93	288
Concombre	-0,6	4,06	2,05	318
Caviar		2,85	1,59	201
Crevette		3,39	1,8	260
Fraise	-1,16	3,89	1,93	300
Fromage blanc		2,93	1,88	268
Fruits en générale	-2	3,64	1,97	281
Lait entier	-0,56	3,85	1,93	293
Légumes en générale	-1,4	3,77	1,93	295
Miel		1,46	1,09	60
Noix de coco	-0,89	2,43	1,42	156
Œuf	-1	3,18	1,67	226
Poisson maigre à gras	-2,22	2,93	1,59	283
Viande maigre à gras	-1,5	3,18	1,76	251

ANNEXES V

ORGANNIGRAMME POUR LE CALCUL DU TEMPS DE DEPANNAGE



Nom : ANDRIANANDRASANA

Prénoms : Feno Mamitiana

Adresse : lot 01 TE / 3608 Sahalava - Fianarantsoa -

Tel : 0331459379

Nombre de pages : 74

Nombre de figures : 41

Nombre de tableaux : 07

Nombre de page en annexes : 04

Résumé :

Ce présent mémoire traite la mise en place de la maintenance informatisée des engins frigorifiques dans les transports ainsi que leurs temps de dépannage optimal limitant la détérioration des denrées transportées.

D'après les données et la reconnaissance sur terrain, on a étudié et proposé leurs systèmes de commandes.

Ainsi, à long terme, ce mémoire offre des débouchés aux physiciens pour son amélioration.

In order to get a good conservation of the raising products, of fishing and of the harvests, it's necessary to know the most adequate means, in addition, its working and its repair.

Then, this work contains the survey made on refrigerated containers. It talks about the production of cold and it contains too the tracking computerized of the breakdowns in the systems.

It is therefore a means of transport which stops the products from rotting quickly.

Titre : « MISE EN PLACE DE LA MAINTENANCE DES ENGINES FRIGORIFIQUES (logiciel DEPANNENGINS) »

Rapporteur : Monsieur RANAIVOSON ANDRIAMBALA Hariniaina

Mots clés : Froid, fluide frigorigènes, conteneurs