

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENTS : GENIE MECANIQUE ET PRODUCTIVE
GENIE ELECTRIQUE
FILIERE GENIE INDUSTRIEL**



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



Présenté et soutenu par : Monsieur ANDRIAMIHAINGO Fanomezana

Directeur de mémoire : Monsieur RANAIVOSON ANDRIAMBALA Hariniaina

**Maître de Conférence à l'Ecole Supérieure Polytechnique
d'Antananarivo**

Date de soutenance : 10 Mars 2007

PROMOTION 2006

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENTS : GENIE MECANIQUE ET PRODUCTIQUE
GENIE ELECTRIQUE
FILIERE : GENIE INDUSTRIEL



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



Présenté par : Monsieur. ANDRIAMIHAINGO Fanomezana

Directeur de mémoire : Mr.RANAIVOSON ANDRIAMBALA H., Maître de conférence à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

Président du jury : Monsieur RANDRIAMORASATA Josoa, Professeur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

Membres du jury :

- Madame RATSIMBAZAFY Lantoarisoa, Maître de conférence à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- Monsieur JOELIHARITAHAKA Rabeatoandro, Enseignant Chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- Monsieur ANDRIAMANALINA William, Enseignant Chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

Date de soutenance : 10 Mars 2007

PROMOTION 2006

REMERCIEMENTS

Avant d'entrer dans le vif de ce sujet de mémoire qui est le fruit de nos acquis théoriques, des stages et d'entretien instructifs avec diverses personnes et organismes,

Nous tenons à remercier plus particulièrement:

- Monsieur RAMANATSIZEHENA Pascal, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique qui nous a permis de bénéficier des formations d'Ingénieurs.
- Monsieur JOELIHARITAHAKA Rabeatoandro Chef de Département Génie Mécanique et Productique et ANDRIANARISON Yvon, Chef de Département Génie Electrique, de leur grande responsabilité envers la filière Génie Industriel,
- Monsieur RANDRIAMORASATA Josoa, d'avoir bien voulu accepter de présider cette soutenance,
- Madame RATSIMBAZAFY Lantoarisoa, Monsieur JOELIHARITAHAKA Rabeatoandro, Monsieur ANDRIAMANALINA William d'avoir accepté de juger ce travail avec efficacité.
- Monsieur RANAIVOSON Andriambala Hariniaina, directeur de ce mémoire, sans qui ce mémoire n'aurait pas eu lieu d'être.
- La société CODAL Ankorondrano

Enfin, je tiens à adresser mes remerciements à toute ma famille ainsi qu'à mes amis qui m'ont soutenu tout au long de mes études et dans chacun des épreuves que j'ai eu à traverser.

TABLE DE MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I : GENERALITES	
Chapitre I : LA ZONE D'IMPLANTATION	2
I .I PRESENTATION DE LA REGION.....	2
I.II. MILIEU PHYSIQUE	2
I.II.1.CLIMAT.....	3
I.II.2.TEMPERATURE.....	3
I.II.3.PLUVIOMETRIE	3
I.II.4.HUMIDITE RELATIVE (en %).....	4
I.III.MILIEU HUMAIN	4
I.III.1.DEMOGRAPHIQUE ET URBANISATION.....	4
I.III.2.CARACTERISTIQUE DU MENAGE.....	5
I.III.3.MIGRATION.....	6
I.IV.AGRICULTURE	6
Chapitre II : LES ANANAS ET LES MANGUES.....	9
II .I. ORIGINE ET CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES	9
II.I.1.L'ANANAS	9
II.I. 2.LA MANGUE	10
II.I.3. CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES COMMUNES DES FRUITS.....	10
II.II. LA PRODUCTION ET LA ZONE D'ARBORICULTURE.....	11
II.III.PRETRAITEMENT DES FRUITS	12
II.III.1.CUEILLETTE	12
II.III.2. TRANSPORT.....	13
II.IV. VENTE ET CONSOMMATION	14
II.IV.1. MARCHÉ LOCAL.....	14
II.IV.1.1.Fruits frais.....	14
II.IV.1.2 .Produits transformés.....	15
II.IV.2. EXPORTATION	16
II.IV.2.1. Produits frais.....	16
III.IV.2 .2.Produits transformés	17
Chapitre III NOTIONS THERMIQUES ET LA PRODUCTION DU FROID.....	20
III.I. LES MODES DE TRANSFERT THERMIQUE.....	20
III. I.1.LA CONDUCTION.....	20
III.I.2.LA CONVECTION	21
III. I.2.1.La convection naturelle.....	22
III. I.2.2.La convection forcée.....	22
III. I.3.LE RAYONNEMENT	22
III.II. MOYEN DE PRODUCTION DU FROID.....	24
III. III.LE CYCLE FRIGORIFIQUE	24
III. IV.FLUIDES FRIGORIGENES EMPLOYES DANS LES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES.....	25
III.IV.1. DEFINITION	25
III.IV.2. VARIETES DES FLUIDES REFRIGERANTS.....	25
III. IV.3.CARACTERISTIQUES.....	26
PARTIE II : LA CONSERVATION ET LA QUALITES DES PRODUITS DANS LES INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES	
Chapitre I- CONSERVATION	27
I. I.CONSERVATION PAR LE FROID	27

I. I.1. REGULATION DE L' ATMOSPHERE DES CHAMBRES A ATMOSPHERE CONTROLEE	28
I. I.1.1.Modification de la composition gazeuse	28
I.I.1.2. Moyen de mise en œuvre :.....	29
I.II.CONSERVATION PAR TRANSFORMATION	32
I.II.1. JUS DE FRUITS	32
I.II.1.1.Definition	32
I.II.1.2.Les variétés des jus de fruits	32
I.II.1.3.Concentré et la purée de fruits.....	33
I.II.1.4.Les techniques de fabrication de jus [19].....	34
I.II.2.CONFITURE	41
I.II.2.1.Définition	41
I.II.2.2.Historique	41
I.II.2. 3.Fabrication de confiture [19].....	42
I.II.2.4.Caractéristique de confiture	44
I.II.2.5. Rôles des ingrédients.....	45
Chapitre II. LA QUALITE DES PRODUITS DANS LES INDUSTRIES.....	46
AGROALIMENTAIRES	46
II.I.DEFINITIONS	47
II.I.1. LA QUALITE	47
II.I.2. LES NORMES [2]	47
II.I.2.1.Références normatives	47
II.I.2.2.Les différents organismes de normalisation.....	47
II.I.3. LE SYSTEME HACCP	48
II.I.3.1.Les origines du système HACCP	48
II.I.3.2.Principes	49
II.I.3.3.Le principe de la marche en avant.....	49
II.II.LES ENJEUX DE LA QUALITE DANS UNE INDUSTRIE AGROALIMENTAIRE	49
II.II .1.LA DIMINUTION DES COUTS	50
II.II.2.LA FIDELISATION DE LA CLIENTELLE	50
II.II.3.L' ACCES AU MARCHE EXTERIEUR.....	50
PARTIE III : CALCULS ET DIMENSIONNEMENT	
Chapitre I. CALCULS ET DIMENSIONNEMENT D'UNE STATION FRUITIERE [11]...	52
I.I.PRESENTATION DE LA CHAMBRE.....	52
I.II.CALCULS DES DIFFERENTS PARAMETRES UTILES A L' INSTALLATION DU STATION FRUITIERE	53
I.II.1.DETERMINATION DE L' EPAISSEUR	53
I.II.1.1.Des panneaux (murs).....	53
I.II.1.2.La porte	54
I.II.2.CHARGES THERMIQUES	55
I.II.2.1.Charges thermiques extérieures	55
I.II.2.2.Charges thermiques intérieures	60
I.II.2.3.Charge thermique totale	62
I.III.MODE DE CHARGEMENT / DECHARGEMENT	62
I.IV.DIMENSIONNEMENT DES APPAREILS FRIGORIFIQUES	63
I.IV.1.EVAPORATEUR	63
I.IV.1.1.Calcul de la puissance.....	63
I.IV.1.2.Contrôle de la puissance prévisionnelle de l'évaporateur	65
I.IV.2.COMPRESSEUR	66

<i>Vérification de température de fin de compression ou de refoulement</i>	66
I.IV.2.1. Cycle frigorifique de l'installation.....	67
I.IV.2.2.Choix de compresseur.....	69
I.IV.3.CONDENSEUR	70
I.IV.3.1.Calcul de la puissance du condenseur	70
I.IV.4.TUYAUTERIES	71
I.IV.4.1.Dimensionnement des tuyauteries d'installation	71
I.IV.5.DETENDEUR	75
I.IV.5.1.Calcul de la chute de pression au niveau du détendeur	75
I.IV.5.2.Détermination de la capacité nominale du détendeur (Q_n).....	77
Chapitre II.CONCEPTION D'UN REFROIDISSEUR DE JUS	79
II.I.PRESENTATION DU REFROIDISSEUR	79
II.II.DIMENSIONNEMENT DU REFROIDISSEUR.....	80
II.II.1.LA CONDUITE DU JUS	80
II.II.1.1.Caractéristique de l'écoulement.....	80
II.II.1.2. Calcul de la vitesse d'écoulement à l'entrée de la conduite : w_1	80
II.II.1.3.Calcul de perte de charge dans la conduite.....	81
II.II.1.4.Calcul de la pente d'écoulement pour avoir la vitesse de 0,185m/s	81
II.II.2.1.Dimensionnement de l'isolant du tunnel	82
II.II.2.2.Calcul de charge par transmission à travers les parois	83
II.II.2.3.Calcul de la puissance frigorifique nécessaire au refroidisseur	83
II.II.3.L'EVAPORATEUR	84
II.II.3.1.Calcul du serpentin évaporateur.....	84
II.II.4.COMPRESSEUR.....	85
II.II.4.1.Détermination de la puissance absorbée	87
II.II.5.CONDENSEUR.....	89
II.II.5.1.La puissance requise au condenseur	89
II.II.6.TUYAUTERIE	90
II.II.6.1.La tuyauterie d'aspiration	90
II.II.6.2. La tuyauterie de refoulement.....	91
II.II.6.3.Tuyauterie de liquide	92
II.II.7. DETENDEUR.....	93
II.II.7.1.La capacité nominale du détendeur.....	94
II.III.SCHEMAS FLUIDIQUE DE L'INSTALLATION [24]	96
PARTIE IV : EVALUATIONS DU PROJET	
Chapitre I : ETUDE ECONOMIQUE DU PROJET.....	100
I.I.LES CHARGES D'INVESTISSEMENT	100
I. II. LES ELEMENTS DU COUT DE PRODUCTION	103
I.II.1.LES CHARGES FIXES	103
I.II.2.LES COUTS VARIABLES	104
I.III.CALCUL DE RENTABILITE	104
I.III.1.CALCUL DU POT (Pay Out Time).....	105
I.III.2.CALCUL DE VAN (Valeur Actuelle Nette).....	105
I.III.3. LE TAUX DE RENTABILITE INTERNE (TRI)	106
I.III.4.L'INDICE DE PROFITABILITE (IP)	106
Chapitre II. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	107
II.I.CONTEXTE ACTUEL [15]	107
II.II.IMPACTS NEGATIFS	107
II.II.1. L' AIR.....	107

II.II.2.LES DECHETS	108
II.II.3.LA SANTE/SECURITE	108
II.II.4.LE CADRE DE VIE	108
II.II.5.LES BIENS MATERIELS ET LE PATRIMOINE	108
II.III.IMPACTS POSITIFS	109
II.IV.MESURE D'ATTENUATION	109
CONCLUSION GENERALE	110

LISTE DES ABREVIATIONS

AGOA: African Growth and Opportunity

CE : Communauté Européenne

CF : Chambre froide

CFC : Chlorofluorocarbone

CODEX : Codex Alimentarius de la FAO

COMESA: Common Market for East and Southern Africa

COI: Commission de l'Océan Indien

CTHA : Centre Technique d'Horticulture Antananarivo

FOB: Free on Board

HACCP: Hazard Analysis for Critical Control Points

ha: hectare

HCFC: Hydrochlorofluorocarbone

HFC: Hydrofluorocarbone

INSTAT : Institut National de la Statistique

NFE : Norme Française

PRONABIO (PROBIOMAD) : Groupement professionnel des opérateurs en agri business des Produits Naturels et Biologiques de Madagascar

RN : Route Nationale

RIP : Route Interprovinciale

SADC : Southern Africa Development Community

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation de la région d'Amoron'i Mania

Figure 2: Ananas

Figure 3: Mangue

Figure 4: Zone d'arboriculture à Madagascar

Figure 5: Circuit de distribution de fruit à Madagascar

Figure 6: Transfert thermique par conduction sur un mur plan homogène

Figure 7: Transfert thermique par conduction sur un mur plan composite

Figure 8: Paroi plane composite (les trois modes de transfert thermique associés)

Figure 9: Cycle frigorifique

Figure 10 : Fluide R404A couleur conventionnel

Figure 11 : Mise en équilibre du mélange gazeux d'une enceinte en atmosphère contrôlée

Figure 12 : Diagramme de fabrication de jus

Figure 13 : Presseur hydraulique électrique à piston double effet

Figure 14 : Broyeur électrique vertical

Figure 15 : Thermoplongeur

Figure 16 : Chaudière électrique verticale

Figure 17 : Mode de conditionnement

Figure 18 : Diagramme de fabrication de pâte à tartiner

Figure 19 : Station fruitière (vue de face)

Figure 20 : Diagramme de déperdition thermique

Figure 21 : Type de porte coulissante appliquée pour la chambre

Figure 22 : Ecart de température en fonction de l'humidité relative

Figure 23 : Evaporateur

Figure 24 : Diagramme enthalpique de l'installation

Figure 25 : Compresseur

Figure 26 : Condenseur à eau

Figure 27 : Schéma simplifié de l'installation (tuyauterie)

Figure 28 : Tuyauterie en cuivre

Figure 29 : Schéma simplifié de l'installation

Figure 30 : Détendeur thermostatique à égalisation externe

Figure 31 : Schéma du prototype de refroidisseur

Figure 32 : La conduite du jus en aluminium

Figure 33 : Charge d'écoulement

Figure 34 : Coupe en demi vue du tunnel

Figure 35 : Ecart de température en fonction de l'humidité relative

Figure 36 : Diagramme enthalpique d'installation

Figure 37 : Compresseur

Figure 38 : Condenseur à eau

Figure 39 : Détendeur thermostatique

Figure 40,41: Schéma fluide pour le centre fruitier et pour le tunnel

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Température de la région période de mesure : 1994 – 1997 station *ANKOROMBE*

Tableau 2 : Température de la région d'Amoron'i Mania (période 1961-1990)

Tableau 3 : Donnée climatique année 1998

Tableau 4 : Humidité relative

Tableau 5 : Répartition de la population urbaine et population rurale

Tableau 6 : Situation vis à vis de l'emploi des chefs de ménages (pourcentage)

Tableau 7 : Répartition des activités professionnelles des chefs de ménage

Tableau 8 : Répartition des surfaces cultivées par types de spéculacion (Ha)

Tableau 9: Evolution de quelques productions fruitières à Madagascar (en tonnes)

Tableau 10 : Prix indicatifs

Tableau 11 : Importation des produits transformés

Tableau 12 : Produit frais exporté en kilogramme

Tableau 13 : Les produits biologiques exportés par Madagascar

Tableau 14 : Produit transformés exportés en kilogrammes

Tableau 15 : Liste des produits exportés par le PROMABIO en 2000

Tableau 16 : Caractéristique de R404A

Tableau 17 : Composition nutritionnelle de jus de fruits

Tableau 18: Valeur Brix minimale pour les jus et purées de fruits reconstitués et teneur minimale en jus et/ou pulpe des nectars de fruits à 20 °C

Tableau 19: Influence de la quantité de sucre incorporée dans une confiture

Tableau 20: Influence de la quantité d'acide incorporée dans une confiture

Tableau 21: Dimension intérieure de la chambre froide

Tableau 22: Déperdition thermique en fonction de la variation de température ($\Delta\theta$)

Tableau 23: Coefficient de transmission thermique d'une porte isolante composée d'une âme en mousse rigide de polyuréthane et de deux faces métalliques

Tableau 24 : Dimension des matériaux formant les murs

Tableau 25 : Dimension des matériaux formant le sol

Tableau 26 : Dimension des matériaux formant le plafond

Tableau 27 : Valeurs de quantité de chaleur dégagée par personne par unité de temps

Tableau 28 : Valeurs et caractéristiques du cycle de l'installation d'après SOLKAN 2.0

Tableau 29, 30: Extrait de saturation R404A

Tableau 31, 32,33: Facteur de correction

Tableau 34: Déperdition thermique en fonction de la variation de température $\Delta\theta$

Tableau 35: Coefficient de déperdition en fonction de l'épaisseur de l'isolant

Tableau 36: Coefficient de transmission en fonction température du liquide:

Tableau 37: Valeurs et caractéristiques du cycle de l'installation d'après SOLKAN 2.0

Tableau 38,39, 40: Facteur de correction

Tableau 41: Composants frigorifiques principaux

Tableau 42: Composants secondaires

Tableau 43: Structure moyenne d'investissement en limites des unités de production

Tableau 44: Investissement en limite des unités de production

Tableau 45: Chiffre d'affaires

Tableau 46: Coûts d'investissement

Tableau 47: Coûts fixes

Tableau 48: Valeur actualisée de l'investissement

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur agricole est la base de l'économie, non seulement régionale, mais aussi Nationale.

Madagascar est une île riche en ressources naturelles importantes capables d'assurer la croissance économique, surtout dans les domaines alimentaires et agricoles. Elle doit être aussi un pays riche sur le plan monétaire.

Toutefois, il existe des contraintes considérables et bien connues qui érigent des barrières à ces opportunités potentielles de développement. Ce sont l'augmentation des pertes de production, la non maîtrise et la non exploitation de quelques éléments de la filière à savoir la qualité, les normes, la conservation et la transformation....

Face à cette situation, la meilleure solution, adaptable en milieu rural Malgache est l'implantation d'usine de transformation dans les régions productrices. Elle assure une source fiable de produits de qualité destinés à répondre aux demandes du marché.

Dans le présent mémoire intitulé « **Etude et conception d'une unité de transformation des fruits tropicaux** », nous adoptons la technique d'entreposage en atmosphère contrôlée et le mode de valorisation des fruits en jus et en confiture.

Ce travail a été structuré en quatre parties. En premier lieu, nous allons voir les généralités sur notre thème, puis la conservation et les qualités des produits dans les industries agroalimentaires, ensuite on exposera les calculs et dimensionnement enfin, les évaluations économiques et environnementales de ce projet.

PARTIE I: GENERALITES

Chapitre I : LA ZONE D'IMPLANTATION

A l'instar de toute les régions de Madagascar, l'activité principale de la région Amoron'i Mania est l'agriculture .Elle offre une très grande variété des produits pour la consommation locale. Par contre, la région a une difficulté sur le plan marketing du secteur agricole à savoir la spécialisation et l'augmentation des volumes des produits au point de vente. Pour l'instant, trop de producteurs viennent vendre sur le marché de très petites quantités de produits. Cette forme de livraison sur le marché revient cher en termes de coûts de temps et de déplacement, ainsi qu'en pertes « cachées », à savoir une qualité inférieure et des produits insalubres allant vers les consommateurs.

Pour remédier cette lacune, nous nous proposons d'installer l'usine de transformation ou de conditionnement elle-même, où un producteur livre des produits bruts du verger afin d'en assurer la valorisation commerciale. Dans ce qui suit, on va voir les caractéristiques de l'agriculture d'Amoron'i Mania.

I.I PRESENTATION DE LA REGION

La région d'Amoron'i Mania est délimitée entre 45°7'et 47°7' longitude Est et 19°8' et 21°0' latitude Sud.

Elle se trouve dans la partie centrale des hautes terres sud (province de Fianarantsoa) et est constituée par les sous-préfectures d'Ambatofinandrahana, d'Ambositra, de Fandriana et de Manandriana, elle est limitée :

- ❖ au Nord par les sous préfectures d'Antanifotsy, d'Antsirabe et de Betafo (province d'Antananarivo)
- ❖ à l'Est par la sous-préfecture d'Ifanadiana
- ❖ au Sud par les sous-préfectures d'Ambohimahasoa et d'Ikalamavony
- ❖ et à l'Ouest par les sous-préfectures de Mahabo et de Miandrivazo (province de Tuléar).

I.II. MILIEU PHYSIQUE

Sa superficie est de 17516 Km², soit environ 17% de la superficie de la province autonome de Fianarantsoa.

I.II.1.CLIMAT

Le climat de la région d'Amoron'i Mania est caractérisé par les sous régions de Soavina et d'Ambatofinandrahana, où il fait nettement plus chaud, mais plus sec, par rapport au reste de la Région

I.II.2.TEMPERATURE

D'après les résultats des relevés des différentes stations localisées dans la région, le mois le plus chaud et celui le plus froid sont respectivement Janvier et Juillet.

Tableau 1 : Température de la région période de mesure : 1994 – 1997 station ANKOROMBE

Mois	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juillet	août	sept	oct.	nov.	dec
T°N	14,3	13,0	14,1	11,3	9,4	5,5	5,9	5,1	4,9	8,0	10,7	12,82
T°X	26,8	26,4	28,2	26	23,2	22,1	21,8	22,4	23,8	25,9	28,3	27,07

Source : DIRA Fianarantsoa

Température par les données météorologiques valable pour les trente dernières années.

Tableau 2 : Température de la région d'Amoron'i Mania (période 1961-1990)

Mois	janv.	fev	mars	avr	mai	juin	juill.	aut	sept	oct.	nova	dec
Température Max [°C]	26,3	26,4	25,2	25,1	23,5	22,1	21,2	21,4	23,8	25,4	26,0	26,2
Température Min [°C]	14,6	14,4	13,2	12,4	9,9	8,2	8,0	7,8	8,6	10,7	12,4	13,5
Température Sol [°C]	29,9	30,9	30,1	29,2	28,2	26,6	26,5	27,2	29,0	31,1	31,6	31,4

Source : Direction Générale de la Météorologie.

La température moyenne maximale est de 25°C, celle du sol est de 29,3°C.

I.II.3.PLUVIOMETRIE

Les relevés climatiques de la région d'Amoron'i Mania sont variables selon les années. Mais les moyennes annuelles de 1931 à 1960 et de 1984 à 1997 sont respectivement de 1556mm et 1107,3mm.

La saison pluvieuse débute vers le mois d'octobre pour se terminer vers le mois d'avril, et la période sèche de mai à fin septembre.

Tableau 3 : Donnée climatique année 1998

Mois	janv.	fev	mars	avr	mai	juin	juill.	aut	sept	oct.	nova	dec
T°M	23	23,4	23	20,1	18,6	16,7	14,5	15,7	16,9	19,9	21,9	22,3
T°M/N	21,7	21,7	20,9	19,9	17,7	15,5	14,9	15,3	17,1	19,2	20,7	21,5
RR	128	531,6	62,1	41,6	1,5	10,3	22,6	11,8	32,6	14,9	0,4	367,5
J		25	13	11							1	26

Source : Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie /Service des Applications à l'Environnement et au Développement Economique Social

T°M : Température moyenne mensuelle

T°M/N : Température moyenne normale

RR : Hauteur de pluies mensuelles (mm)

J : Nombre de jours de précipitation mensuelle

I.II.4.HUMIDITE RELATIVE (en %)

Tableau 4: Humidité relative

année	janv.	fev	mars	avr	mai	juin	juill.	aut	sept	oct.	nova	dec
1994	87	87	88	80	84	85	85	80	78	84	75	84
1995	87	86	84	87	87	83	84	82	79	72	76	82

Source : Service Inter-Régional de la Météorologie et Hydrologie de Fianarantsoa

I.III.MILIEU HUMAIN

La Région présente dans l'ensemble un fort aspect rural. Seuls le Chef- lieu de la sous-préfecture d'Ambositra a une vocation urbaine.

I.III.1.DEMOGRAPHIQUE ET URBANISATION

La région a une forte pression démographique.

Le taux d'urbanisation de la région (15,9%) est faible par rapport à celui de l'ensemble de la province de Fianarantsoa (18,2%). Il est relativement élevé au niveau des Chef- lieux des Sous préfectures, de l'ordre de 21 % à Ambatofinandrahana et 15 % à Manandriana, dû au mirage de la ville et à l'insécurité qui règne dans bon nombre des zones rurales. C'est dans la sous-préfecture d'Ambositra que le taux d'urbanisation est le plus faible (12,3%).

Tableau 5: Répartition de la population urbaine et population rurale

Sous-préfecture	Population urbaine	Population rurale	Taux d'urbanisation (%)
Ambatofinandrahana	18.263	69.664	20,8
Ambositra	21.423	152.147	12,3
Fanandriana	13.328	55.378	19,4
Manandriana	22.123	121.469	15,4
Amoron'i Mania	75.143	398.658	15,9

Source : RGPH 1993

I.III.2.CARACTERISTIQUE DU MENAGE

Au total, la région de l'Amoron'i Mania compte 204.921 chefs de ménage. Dans chaque ménage, il y a en moyenne 5 personnes en 2002.

95 % des chefs de ménage ont un emploi, une grande majorité des chefs de ménages occupés sont des agriculteurs et ouvriers qualifiés de l'agriculture. Ce groupe professionnel occupe le premier rang ; ensuite, en second, troisième, quatrième et cinquième rang se placent respectivement les artisans et ouvriers des métiers de type artisanal de marché, les professions intellectuelles et scientifiques, les ouvriers et employés non qualifiés d'entreprise, et les personnels des services et vendeurs de magasin et de marché.

Tableau 6: Situation vis à vis de l'emploi des chefs de ménages (pourcentage)

Sous préfecture	Nombre de Ménages	Situation vis à vis de l'emploi (pourcentage)								
		occupé	chômeur	en quête 1er emploi	ménagère	étudiant	retraité	incapacité	autre	Non défini
A/ndrahana	100	96,34	0,25	0,19	0,83	0,07	0,54	1,38	0,45	0,13
Ambositra	100	94,59	0,54	0,31	1,29	0,19	1,27	1,41	0,50	0,21
Manandriana	100	93,52	0,15	0,07	3,03	0,01	0,27	2,64	0,28	0,09
Fandriana	100	95,42	0,31	0,20	1,00	0,04	1,15	1,35	0,52	0,22
TOTAL	100	95,01	0,36	0,22	1,36	0,10	0,95	1,57	0,46	0,18

Source : RGPH 1993

Tableau 7: Répartition des activités professionnelles des chefs de ménage

Sous-préfecture	Total chefs de Ménage actifs	Grands groupes de professions										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A/ndrahana	16.171	86	20	354	100	51	117	14866	242	35	267	34
Ambositra	30.701	132	69	947	422	195	988	24551	1569	325	1440	62
Manandriana	11.823	14	20	221	41	29	101	11056	156	17	145	21
Fandriana	24.901	22	22	1032	158	124	342	21754	1026	61	304	57
Amoron'i Mania	83.596	254	131	2554	721	399	1548	72227	2993	438	2196	174

Source : RGPH 1993

Légende

- A : Forces armées
- B : Membres de l'exécutif et des corps législatifs, cadres supérieurs de l'administration publique, dirigeants et cadres supérieurs
- C : Professions intellectuelles et scientifiques
- D : Professions intermédiaires
- E : Employés de type administratif
- F : Personnel des services et vendeurs de magasin et de marché
- G : Agriculteurs et ouvriers qualifiés de l'agriculture
- H : Artisans et ouvriers des métiers de type artisanal de marché
- I : Conducteurs d'installation
- J : Ouvriers et employés non qualifiés d'entreprise
- K : Non déterminé

I.III.3.MIGRATION

Cette Région est un des plus anciens foyers d'émigration. Toutefois, on peut dire que les causes de ces mouvements migratoires sont multiples : causes économiques (recherche de sources monétaires et de revenus), causes d'ordre social (insécurité, etc.).

I.IV.AGRICULTURE

La presque totalité des vallées de l'Amoron'i Mania sont exploitées et même les pentes présentant des impossibilités d'irrigation sont occupées par les rizières en étage. Les autres cultures vivrières (manioc, patate douce, haricot, maïs, etc. ...), destinées surtout à l'autoconsommation sont très répandues. Et avec des techniques culturales adéquates et suivies, la production agricole s'accroîtra très rapidement. Par ailleurs les cultures

marachères (la tomate et le chou) et fruitières (pommes, agrumes surtout) sont importantes dans la région, et la viticulture est en plein essor.

Les surfaces cultivées dans la zone de la région couvrent environ 99.340 Ha et se répartissent comme suit :

Tableau 8: Répartition des surfaces cultivées par types de spéculation (ha)

Sous préfectures	Superficie totale cultivée	Cultures vivrières	Cultures de rente	Cultures industrielles
Ambositra Manandriana	41065	4 0 615	255	195
Ambatofinandrahana	28 305	2 8 060	115	130
Fandriana	29 970	2 9 780	4 0	150
Total	99 34 0	98 455	410	475

Source : Service Statistique Agricole /DPEE/Min.Agri

La principale culture de rente dans la région est le café. Elle est généralement pratiquée dans la zone orientale de la région. La culture du café ne touche pas la masse paysanne. C'est une culture de quelques pieds au niveau de la famille. L'exportation ne se fait pas actuellement. La variété cultivée est l'arabica.

Les cultures industrielles existantes sont la Vigne, le Thé, le Tabac. La Canne à sucre est cultivée pour la consommation humaine et pour les petites unités de transformation locale notamment la fabrication artisanale de liqueur.

L'emplacement d'une installation de transformation à vocation fortement agricole facilite la tâche des producteurs et il aura source de développement durable du milieu.

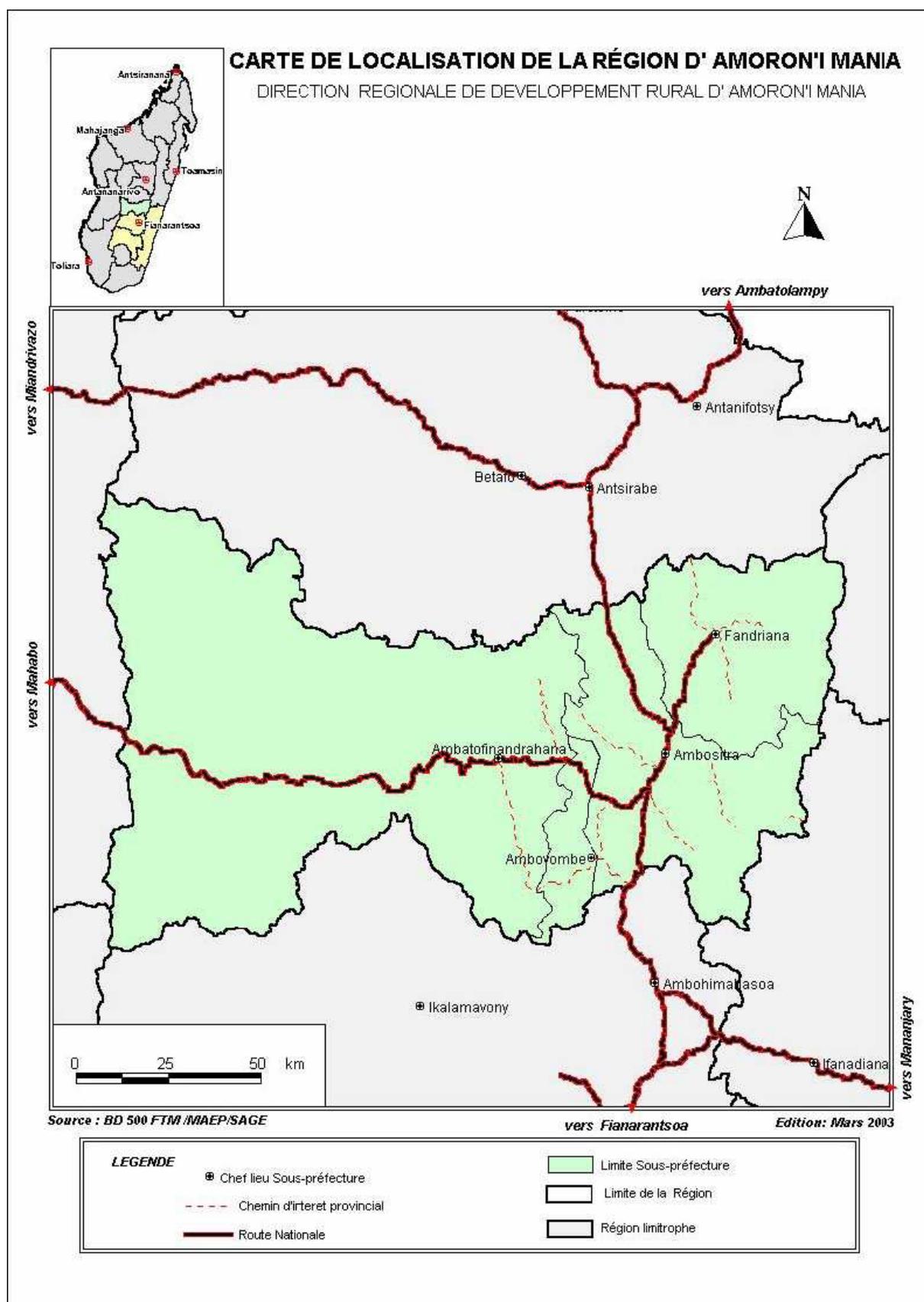


Figure 1 : Carte de localisation de la région d'Amoron'i Mania

Chapitre II : LES ANANAS ET LES MANGUES

La production et les échanges commerciaux des fruits tempérés stagnent depuis plusieurs années, ceux des fruits tropicaux ont explosé littéralement au cours de la dernière décennie. Parmi ces fruits tropicaux, la mangue et l'ananas sont les plus dynamiques. La demande des pays développés (Etats-Unis, Europe ...) ne cesse de croître, entraînant un engouement des agriculteurs dans les pays producteurs.

Dans ce chapitre, on va présenter les arboricultures : ananas et manguiers de Madagascar.

II .I. ORIGINE ET CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES

II.I.1.L'ANANAS

L'ananas appartient aux familles des Broméliacées. Il est originaire d'Amérique tropicale. Il signifie littéralement : « fruit (a) excellent ou savoureux ou parfumé (nana) », en langage des indiens Guaranis, serait originaire du bassin de Paraguay et de la haute vallée de l'Orénoque.

Quant à sa présence à Madagascar, elle remonte à 1548, avec l'arrivée des Portugais dans le nord et le nord-Est. Les premières plantations furent installées par les colons sur la cote Est.

Deux variétés existent à Madagascar : variétés exotiques et variétés locales

- variétés exotiques : Cayenne lisse, très bon pour l'exportation en frais, conserve et Victoria queen: exportations en frais.

- variétés locales : Ananas gasy exporté en conserve.



Figure 2: Ananas

II.I. 2.LA MANGUE

La seule espèce de mangue cultivée commercialement est *Mangifera indica* , famille des Anacardiacees, malgré le fait que cette famille compte beaucoup d'espèces de mangues comestibles.

L'origine et la diversité du genre *Mangifera* sont encore largement discutées. Mukherjee, (1997), cité par Cunha & Neto, 2 000, estime que le manguier viendrait du Sud-Est asiatique et plus précisément d'une zone couvrant le Nord-Est de la Malaisie, le Bangladesh et le Nord-est de l'Inde où il se serait développé depuis environ 4 000 ans.

Le manguier a été introduit dans notre île dans l'ancien temps et on le trouve à l'état subspontané un peu partout.

Deux types de mangues sont cultivés à Madagascar, la variété locale et la variété exotique ou améliorée. Cette dernière est habituellement greffée sur des variétés locales et est destinée à l'exportation. La plupart des variétés locales ont une forte teneur en fibres qui les rendent généralement filandreuses et impropres à être consommées à l'état frais.

Les variétés exotiques incluent : Amélie, Auguste ; Mangue précoce : Dixon, Cambodiana ; Mangue mi-précoce : Early Wall , Alphonse; Mangue de saison : Palmer, Kent ; Mangue tardive : Brooks

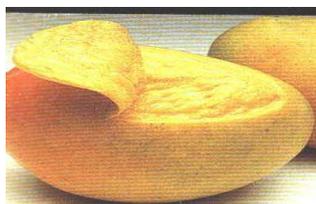


Figure 3: Mangue

II.I.3. CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES COMMUNES DES FRUITS

Certaines caractéristiques du fruit ont une importance considérable dans l'organisation de la production et de la commercialisation. Rappelons-les succinctement :

❖ Les fruits sont considérés comme fragile. Sa densité élevée, sa mauvaise protection en raison d'une peau mince et souple, les rendent sensibles aux chocs et aux meurtrissures diverses. Cette fragilité impose une attention toute particulière lors de la manipulation des fruits pour toutes les étapes allant de la récolte à la mise en vente pour les produits frais et à la transformation pour les produits finis.

❖ Les fruits respirent ; l'un est climatérique (mangue, banane, avocat, poire, etc.), c'est-à-dire qu'il présente un taux respiratoire élevé, induisant une maturation post-récolte rapide, l'autre non climatérique (ananas, raisins...). Cette caractéristique implique une adaptation particulière de toute la chaîne de commercialisation du fruit, en particulier le conditionnement (caisses adaptées), le stockage et le transport (contrôle de la température, renouvellement de l'air), etc.

❖ Les fruits nécessitent un point de coupe idéal : lorsque le fruit est récolté trop tôt, il ne mûrit pas de façon correcte, mais inversement, lorsqu'il est cueilli trop tardivement sa durée de conservation est écourtée. La détermination du point optimum de récolte est un des aspects les plus délicats du processus de production - commercialisation, en raison de l'absence de critères précis pour le repérer. Cela représente un handicap important notamment pour l'approvisionnement des marchés les plus distants, ce qui est le cas des marchés d'exportation.

❖ Comme la plupart des espèces fruitières, la production est saisonnière.

❖ Enfin, les fruits sont riches en vitamines C, A et en Calcium et offrent d'excellentes propriétés alimentaires, caractéristiques appréciables pour le consommateur et donc aussi pour l'industriel.

II.II. LA PRODUCTION ET LA ZONE D'ARBORICULTURE

Les cultures fruitières sont concentrées dans les régions des Hauts Plateaux (Fianarantsoa et Antsirabe) et de la Côte Est (60% des superficies totales). Il ne s'agit pas à proprement parler de culture, mais plutôt de cueillette, puisque 80% des fruits récoltés poussent à l'état sauvage et ne font l'objet d'aucune attention particulière. Le matériel végétal est souvent très vieux ce qui explique que la production fruitière totale augmente peu. Les principales productions fruitières sont les suivantes

Tableau 9 : Evolution de quelques productions fruitières à Madagascar (en tonnes)

Produits	2000	2001
agrumes	100100	97900
bananes	265000	29000
Mangues	206000	210000
Pommes	6600	6900
Ananas	52000	51000
Litchis	30000	24000

Source : Mission, Ambassade de France d'après FAO, Fiche de synthèse : La Filière Fruits et Légumes

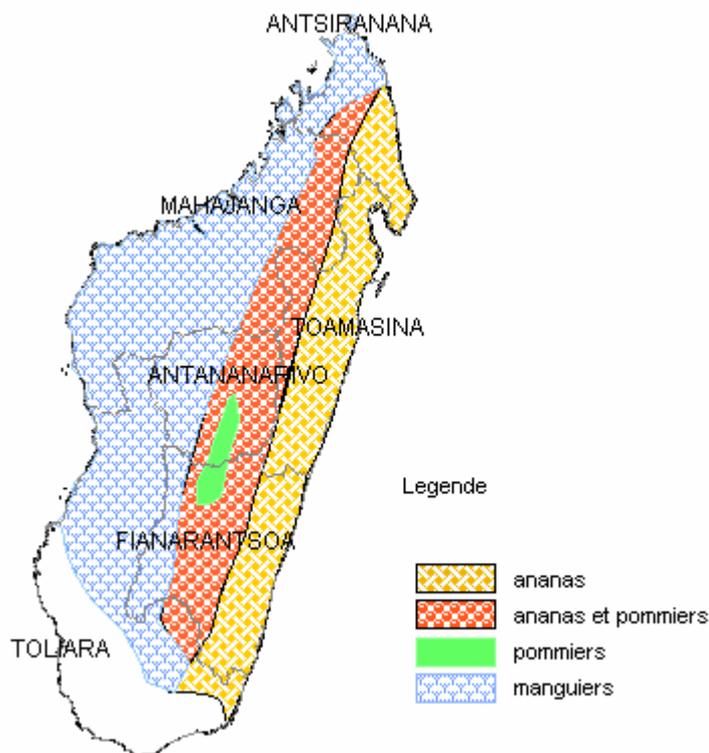


Figure 4 : Zone d'arboriculture à Madagascar

II.III.PRETRAITEMENT DES FRUITS

Tous les fruits, qu'ils soient destinés au marché des fruits frais ou à une transformation ultérieure, doivent être manipulés aussi doucement que possible et tout doit être fait pour réduire au minimum les dégâts physiques tels que les meurtrissures à tout les stades de la manipulation après récolte et avant pressage. Il faut donc maîtriser la technique de cueillette et de transport.

II.III.1.CUEILLETTE

- La détermination de la période de récolte est l'un de l'aspect le plus délicat du processus de production à la commercialisation. La qualité de produit et la durée de conservation en dépendent.

Exemple :

Si on cueille les mangues trop mures, elles n'ont pas de saveur ni de parfums et ne se conservent pas par contre si elles sont trop vertes, elles ne continuent pas ses

maturations, n'ont pas ancrées. Cas de l'ananas, trop vert ne mûrit pas ; trop mur se fermente.

- Pour éviter la blessure provoquant la pourriture et la meurtrissure durant la récolte, les fruits doivent être manipulés le plus doucement possible.

Exemple :

Pour cueillir les mangues, utiliser l'échelles doubles et le sac à fond rabattant ; pour l'ananas, couper la tige 5 à 6 cm au dessous du fruit et le placer dans des caisses de ramassage.

- Tous les fruits dont la peau est endommagée, ou dont la chair est exposée, ainsi que les fruits malades, doivent être rejetés dans le verger au moment de la cueillette et les meurtrissures doivent être limitées au minimum.
- Tous les fruits contaminés au sol, par exemple les fruits éclaboussés de pluie ou les fruits déjà tombés, doivent être rejetés avant l'entreposage.
- Une fois cueillie, le fruit ne doit pas être laissé toute la nuit dans le verger, mais doit être placé sur une surface ferme, de préférence couverte.

II.III.2. TRANSPORT

Les fruits sont fragiles, en plus ils respirent. En effet, ils imposent une attention particulière lors de transport. Il faut :

- Placer les fruits dans la caisse garnie de frisure ou de paille ou bozaka. L'emballage se fera sur des plateaux à une seule couche. Les fruits sont isolés par de papier ou de la frisure de bois.
- Lors de transport des caisses, éviter toute contamination au conteneur et au sol.

II.IV.VENTE ET CONSOMMATION

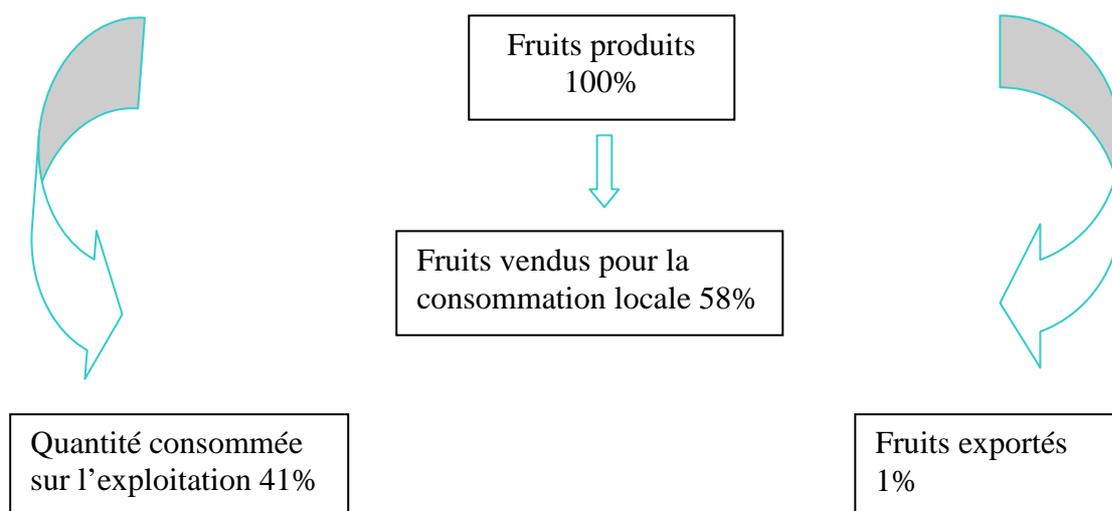


Figure 5: Circuit de distribution de fruit à Madagascar

L'essentiel de la production de fruit est consommé dans la zone de production ou vendu sur les marchés urbains du pays. Les deux principales destinations des fruits frais sont le marché local et les exportations.

II.IV.1. MARCHÉ LOCAL

Un marché existe partout où un producteur vend ses produits. Cela constitue un point de vente. Les fruits sont en général vendus directement sur les marchés ou collectés par les entreprises artisanales locales de transformation.

II.IV.1.1.Fruits frais

Les produits frais sont acheminés vers la capitale et les autres provinces puis vendus dans les petites échoppes du quartier ou dans les supermarchés, les grandes surfaces. Par contre, le débouché local est encore insuffisant pour absorber à certains moments. Cela tient aux raisons suivantes :

- Inorganisation de la commercialisation :

La majorité de la population est sous alimentée en fruit. Même quand les fruits sont abondants et à très bas prix au producteur, ils sont encore d'un prix de détail inaccessible à la plupart des consommateurs. Or la consommation des classes les moins fortunées se concentre essentiellement durant les mois de forte production lorsque les prix sont au plus bas.

- Production peu intensive

Les arbres sont très vieux et les autres à l'état sauvage. En plus, le secteur d'arboriculture est peu développé sur notre Ile.

- Les fruits sont de denrées périssables.

Prix indicatifs de quelques fruits frais

Les fruits frais mis sur le marché de quartier sont vendus souvent au kilo ou par pièce selon le type de fruit. Les prix suivants ont été relevés sur le marché de détail et donnent un ordre de prix sur les fruits frais.

Tableau 10 : Prix indicatifs

Types de fruit	Prix en ariary
ananas	600 / pièce
Mangues	600/kg

II.IV.1.2 .Produits transformés

L'activité de transformation concerne principalement la production de pulpes de fruits, de confitures, de concentrés, de jus naturels, (de fruits au sirop et de fruits séchés). Cette activité s'est développée ces dernières années, mais demeure artisanale sauf pour le jus de fruit.

Les produits transformés à base de fruits sont vendus principalement dans les grandes surfaces, les épiciers et les ventes expositions organisées par une association lors de manifestation (bazar de Noël, foires, ou autres). Leur marché est faible à cause de :

- La faiblesse de pouvoir d'achat.
- Les malgaches sont peu habitués à la consommation de produits transformés et préfèrent la consommation de produits frais.
- On note également le développement des transformations ménagères : confiture et jus de fruits.
- De plus les ménages malgaches ont plus tendances à acheter des boissons rafraîchissants type soda, coca, sprite...fabriqué par STAR, classiko par le TIKO que de jus de fruits.

En outre, Madagascar importe des produits transformés .Ils sont présents sur le marché local surtout dans les grandes surfaces depuis la confiture jusqu'aux fruits secs en passant par

les jus de fruits mais à faible quantité. Les produits importés comblent l'insuffisance de la production locale et satisfont la demande d'une clientèle bien définie.

Tableau 11 : Importation des produits transformés

Produits	Quantité (tonnes)	Valeur (francs français)
Jus de fruits	64	336000
Confiture	14	144000

Source : CFCE (France en 1997)

Les importations de produits transformés à base de fruits sont donc très faibles, cela confirme la faiblesse du marché local pour ce type de produits.

II.IV.2. EXPORTATION

Les débouchés extérieurs sont rares et difficiles à conquérir. Ils exigent des normes de qualité homogènes bien emballées, et à des prix compétitifs.

II.IV.2.1. Produits frais

L'exportation de fruits frais est relativement faible (2% des exportations malgaches) et est concentrée sur le litchi avec plus de 15 000 tonnes exportées en 2002. Les autres exportations sont quasiment anecdotiques et concernent notamment les avocats, la goyave et les mangues destinés en particulier au marché de l'Océan Indien.

D'après les données INSTAT, Madagascar en dehors du litchi (et de l'anacardier qui est en fait une noix) aurait exporté en 2000, 980 tonnes d'autres fruits pour une valeur de 60 millions Ariary ce qui est très faible et prouve qu'aucune filière d'exportation en dehors de celle de litchi et des noix de cajou n'est organisée (d'ailleurs celle de litchi n'est pas non plus parfaitement organisée, loin de là, mais dispose d'un avantage dans la précocité de la production sans concurrence).

Tableau 12 : Produit frais exporté en kilogramme

Fruits	ANNEES D'EXPORTATION				
	2001	2002	2003	2004	2005
Ananas		80	14	90	12512
Mangues			145	8500	445
Pommes	120	25619		400	

Source : MINISTERE DU COMMERCE/ INSTAT exportation

Madagascar exporte aussi les fruits frais Bio. Le produit Bio est issu de l'agriculture biologique, principalement pratiqué pour les marchés à l'exportation, pour lesquels les normes internationales prévalent, comme le Règlement de la CE. Actuellement la société ECOCERT demeure l'unique institution représentée localement reconnue dans le domaine de la certification biologique. Le premier fruit qui a obtenu la certification biologique est la pomme. Elle est exportée en frais sans transformation. Il y a eu par la suite le développement d'autres fruits certifiés, aussi bien frais que transformés.

Tableau 13 : Les produits biologiques exportés par Madagascar

Produits	Variétés	Superficie* (Ha)	Quantités* (Tonnes)	Saisons
Ananas	Cayenne lisse	15	150	Décembre - Février; Juillet - Septembre
Papayes	Locale	8	56	Juillet - Octobre
Mangues	Locale	2,5	40	Octobre - Décembre
Goyaves	Locale	100	100	Mars -Avril

Source : PROBIOMAD

III.IV.2 .2.Produits transformés

Les exportations officielles de fruits transformés sont très faibles : en 2002, 15 tonnes de confiture, 134 tonnes de fruits au sirop ou autrement transformés et 900 kilos de jus de fruit. Les principaux marchés sont l'Afrique du Sud (fruits au sirop ou autrement transformés), la France (confitures et jus de fruits), la Réunion et les Comores. Vers l'Europe Madagascar exporte en faibles quantités des jus de fruits et des fruits au sirop ou autrement transformés.

Tableau 14: Produit transformés exportés en kilogrammes

Désignation	2001	2002	2003	2004	2005
Confiture	6728	27940	1490	1597	14477
Autre fruit et mélange	457346	267172	44917	16906	27062
Mélange jus de fruit	1192	30	104	3440	20205
Ananas sucré	30104				
Ananas conservé	19896				
Jus d'ananas	98572				7

Source : MINISTERE DE COMMERCE/INSTAT

Les fruits biologiques aussi peuvent être transformés en jus et autres .La société PROMABIO fabrique à partir de fruits biologiques et sucre biologique les purées et les pulpes de fruits : grenadelle, goyave, ananas, banane, litchi, ananas en tranches et en morceaux, jus d'ananas, litchi au sirop.

En 1999, les exportations de fruits transformés biologiques représentaient 47 tonnes. En 2000, 62 tonnes étaient exportées par une société vers la CE. Ce tableau ci-dessous donne une liste détaillée des produits exportés.

Les prix à l'exportation (FOB) sont d'en moyenne 20 pour cent supérieurs aux prix conventionnels.

Tableau 15 : Liste des produits exportés par le PROMABIO en 2000

Produit	Quantité en kg
Sirop de litchis	90
Ananas en morceaux	2 720
Jus d'ananas	16 230
Ananas broyé	350
Pulpe d'ananas	9 025
Pulpe de litchis	2 900
Pulpe de mangues	20 580
Pulpe de fruits de la passion	2 275
Pulpe de goyaves	1 040
Pulpe de papayes vertes	7 180
Total	62 390

Source : PROBIOMAD

Chapitre III NOTIONS THERMIQUES ET LA PRODUCTION DU FROID

La commercialisation des fruits tropicaux est attribuée au développement des moyens de transport, des techniques de production intensive et à la généralisation de système de conservation. Cette dernière est très importante, et fait recours à l'application du froid. Dans cette étude, essayons nous de rappeler quelques notions thermiques utilisées au froid.

III.I. LES MODES DE TRANSFERT THERMIQUE

Il est à noter que la transmission de chaleur d'un corps chaud à un corps froid se produit par trois modes :

- Par conduction
- Par convection
- Par rayonnement

III. I.1.LA CONDUCTION

C'est un mode de transfert de chaleur dans lequel la chaleur se propage d'un corps chaud à un corps froid (pour un même corps ou entre deux corps en contact) par des liaisons mécaniques entre les particules.

La conduction est régie par la loi de Fourier : $\varphi = \frac{\lambda}{e}(\theta_1 - \theta_2)$

Avec : φ : le flux thermique [W/m²]

e : Épaisseur du conducteur plan [m]

λ : Conductivité thermique du conducteur [W/m°C]

θ_1, θ_2 : température de deux faces[°C]

On considère deux cas distinct :

Cas1 : Transfert thermique par conduction sur un mur homogène

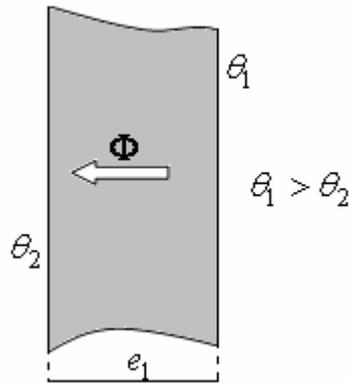


Figure 6 : Transfert thermique par conduction sur un mur plan homogène

$$\varphi = \frac{\lambda}{e} S.t(\theta_1 - \theta_2) \quad \text{où } S : \text{surface du mur [m}^2\text{]} \text{ et } t : \text{durée de transfert[h]}$$

Cas2 : transfert thermique sur un mur plan composite

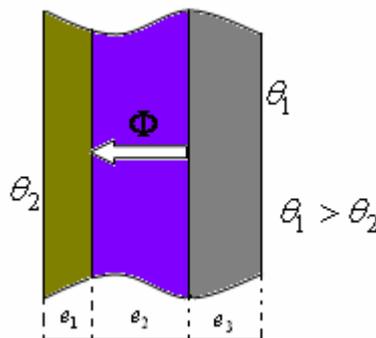


Figure 7 : Transfert thermique par conduction sur un mur plan composite

$$\varphi = S \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Avec : e_1, e_2, e_3 épaisseur de chaque paroi [m]

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: Conductivité thermique de chaque paroi [W/m. °C]

S : surface du mur [m²]

III.I.2.LA CONVECTION

La convection est un mode de chaleur qui se manifeste entre deux corps (fluide en déplacement et des corps fixes comme murs ou plaques). D'après la nature du mouvement de fluide, il existe deux types de convection : convection naturelle et convection forcée.

III. I.2.1. La convection naturelle

La variation de la densité du fluide crée leur état en mouvement.

$$\rho_{\theta} = \frac{\rho_0}{1 + m\theta} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad \text{et} \quad \rho_0 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{V_{\theta}}$$

Avec : ρ_{θ} masse volumique à une température θ [kg/m³]

ρ_0 : Masse volumique à 0°C [kg/m³]

m: coefficient de dilatation absolue

$$m = \frac{V_{\theta} - V_0}{V_0 \cdot \theta} \quad \text{Avec } V_{\theta} : \text{volume du fluide à température } \theta \text{ [m}^3\text{]}$$

V_0 : Volume du fluide à 0°C [m³]

Principe : L'accroissement de θ entraîne l'augmentation du volume V_{θ} et la diminution de ρ_0 . Ainsi, grâce à leur légèreté, les molécules de gaz chaud montent et, contrairement celles de gaz froid descendent. Dans ce cas là, la convection se forme à partir du mouvement ascendant de l'air chaud et celle du descendant de l'air froid.

III. I.2.2. La convection forcée

Dans ce cas, le mouvement du fluide est provoqué par des appareils mécaniques (ventilateur d'un évaporateur, agitateur...). On a alors : $\varphi = \alpha \cdot (\theta_1 - \theta_2)$ [W/m²]

Avec : φ le flux thermique par convection par heure et par mètre carré de surface [W/m²]

α : Coefficient de convection dépendant de la paroi [W/m²°C]

θ_1 et θ_2 : température de la paroi et du fluide [°C]

III. I.3. LE RAYONNEMENT

C'est un phénomène qui consiste à transmettre la chaleur sous forme de rayons calorifiques.

Ces rayons se propagent en ligne droite dans l'espace et sont absorbés partiellement par un corps plus froid. Dans ce cas, le flux de la chaleur est donné par la formule suivante

$$\Phi = (\theta_p - \theta) \cdot \delta \cdot S \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Avec Φ : flux de la chaleur émis par le rayonnement par un paroi pour une surface S pendant une heure.

θ_p : Température de la paroi [°C]

θ : Température de l'aire ambient [°C]

δ : Coefficient de rayonnement dépendant du corps récepteur [w/m². °C]

S : surface du corps [m²]

Il est à noter que dans la réalité, ces trois modes de transfert thermique sont indissociables.

Considérons alors le cas où ces trois modes entrent en jeu à la fois (cas d'une paroi plane composite).

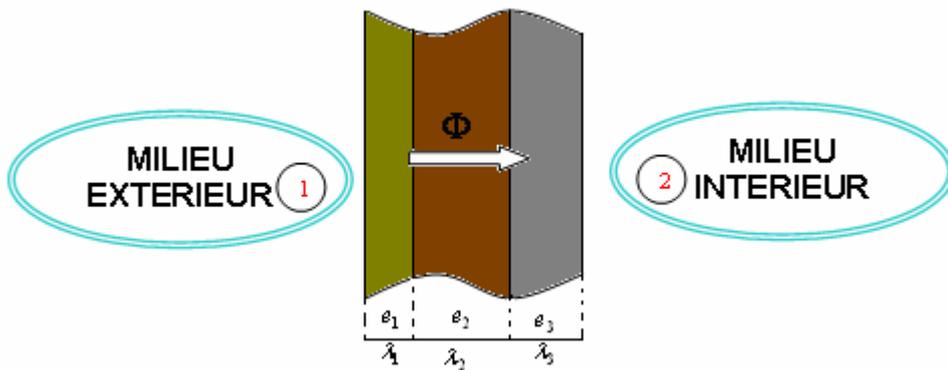


Figure 8 : Paroi plane composite (les trois modes de transfert thermique associés)

$$\Phi = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \frac{1}{h_2}} \quad [\text{W/m}^2]$$

Avec :

(1) milieu extérieur

(2) chambre froide : rayonnement et convection

Paroi 3 : conduction

h_1 : $A_1 + B_1$

h_2 : $A_2 + B_2$

A_1 Coefficient de convection du milieu extérieur (1)

A_2 Coefficient de convection du milieu intérieur (2)

B_1 Coefficient de rayonnement du milieu extérieur (1)

B_2 Coefficient de rayonnement du milieu intérieur (2)

e_1, e_2, e_3 : Épaisseur respective de chaque paroi [m]

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: Coefficient de conductivité de chaque paroi [W/m°C]

$\frac{1}{h_1}$: Résistance thermique du milieu extérieur [m².K/W]

$\frac{1}{h_2}$: Résistance thermique à l'intérieur de la chambre froide [m².K/W]

$\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}$: Résistance thermique du mur de la chambre froide [m².K/W]

III.II. MOYEN DE PRODUCTION DU FROID

Il existe trois moyens principaux de production du froid :

- Mélanges réfrigérants : La dissolution de certains sels dans certains liquides nécessitant une absorption de chaleur, cette dissolution sera productrice de chaleur.
- Détente d'un gaz comprimé : la compression d'un gaz élevant sa température, inversement la détente d'un gaz comprimé abaissera la température du gaz détendu.
- Evaporation d'un liquide pur ou d'un mélange de liquides purs : c'est le cas des trois types de machines frigorifiques. C'est-à-dire les machines à évaporation et compression d'un gaz liquéfiable ainsi que les machines à absorption.

III. III.LE CYCLE FRIGORIFIQUE

En réalité, tout cycle frigorifique suit le processus présenté dans le schéma de la page suivante :

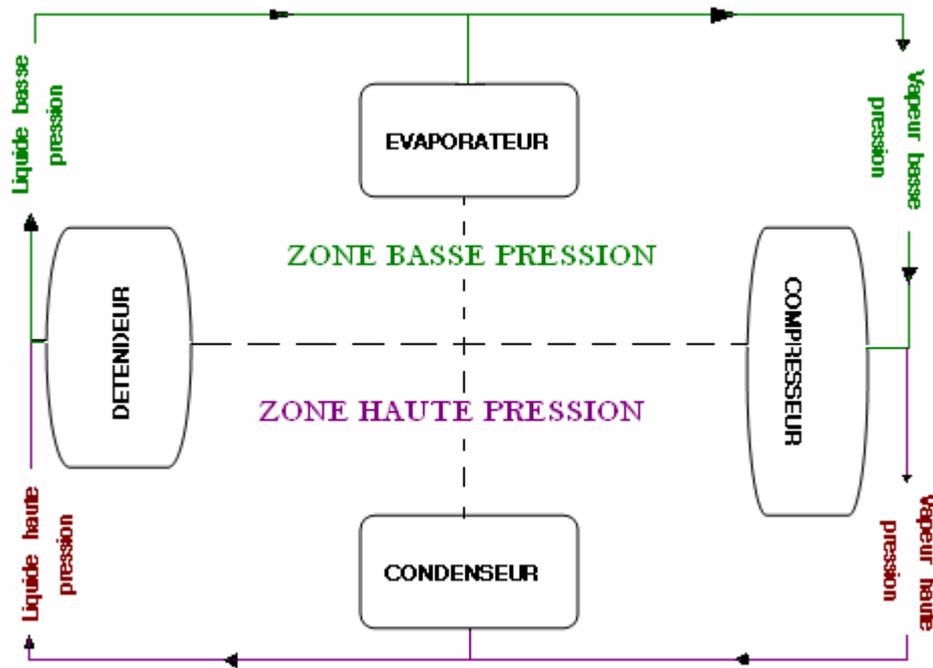


Figure 9 : Cycle frigorifique

III. IV.FLUIDES FRIGORIGENES EMPLOYES DANS LES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES.

III.IV.1. DEFINITION

Ce sont des fluides utilisés pour le transfert de chaleur dans un système de réfrigération qui absorbent la chaleur à basse température et basse pression et rejettent la chaleur à haute température et haute pression impliquant un changement d'état de ce fluide

III.IV.2.VARIETES DES FLUIDES REFRIGERANTS

Actuellement, deux grands types de mélange réfrigérants envahissent les marchés. Ces deux sont nommés de l'un à l'autre : mélanges azéotropes et mélanges zéotropes.

Ainsi, concernant le froid, ni domestique ni industriel, trois familles des fluides frigorigènes issues de ces deux types de mélange doivent être mis en jeu. Nous pouvons les citer :

- Les CFC (Chlorofluorocarbone) : R11, R12, ...
- Les HCFC (Hydro Chlorofluorocarbone) :R22, R502, ...
- Les HFC (Hydro fluorocarbone) : R134A, **R404A**, ...

III. IV.3.CARACTERISTIQUES

Dans notre projet, nous choisissons le liquide R404A qui est compatible pour la réfrigération basse, moyenne ou haute température d'évaporation. Ainsi, il est aussi adéquat avec tous les compresseurs existant ou neufs. Actuellement, le R404A est un nouveau fluide frigorigène autorisé, et parmi le plus utilisé en froid industriel. Il est composé en 44% de R125, 4% de R134A et 52% de R143A.

Tableau 16 : Caractéristique de R404A

Réfrigérant	Plage de température d'évaporation	Chaleur latente de vaporisation à 1,013bar	Point d'ébullition à 1,013bar	Température critique
R404A	+10 à -50°C	200,1kJ/Kg	-46,57°C	+72,14°C



Figure 10: Fluide R404A couleur conventionnel

**PARTIE II: LA CONSERVATION
ET LA QUALITE DE PRODUITS
DANS LES INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES**

Chapitre I- CONSERVATION

Le fruit est le siège de différents métabolismes, de plus, saisonnier. Leur teneur en nutriment peut être dissipée peu à peu. En effet, il n'est pas de ce point de vue stockable. Des caractères de leur conservation résultent une possibilité d'atténuer les défauts.

Dans cette partie nous adoptons la conservation par le froid en utilisant l'atmosphère contrôlée et le refroidisseur puis la conservation par transformation en intervenant par l'industrie agroalimentaire.

I. I. CONSERVATION PAR LE FROID

Les températures de la chambre froide dépendent des caractéristiques des fruits à conserver. Elles sont supérieures à celles qui causent la maladie de froid des fruits. L'humidité haute de l'air dans la chambre froide est souhaitée pour limiter la déshydratation des fruits.

Le but de ce chapitre est de concevoir une chambre froide de type traditionnelle pouvant contenir 103 tonnes de mangue (ou bien mangue et ananas). Auparavant, nous disons que les mangues sont de fruits saisonniers, et fragiles alors pour pouvoir ravitailler notre usine et aussi les supermarchés, on va les conserver.

De ce fait, notre étude consiste à l'exploitation de cet entreposage sous atmosphère contrôlée en raison de la grande sensibilité au froid des fruits.

Par définition, l'atmosphère contrôlée est un mode d'entreposage en réfrigération normale (température positive) mais sa spécificité est le réglage de la composition gazeuse dans l'enceinte à refroidir.

Les atmosphères contrôlées ont un effet bénéfique sur le ralentissement des divers phénomènes intervenant au cours de la maturation des fruits à savoir :

- La respiration
- La biosynthèse et l'action de l'éthylène
- Le changement de couleur
- Les changements de texture
- La production de composés volatils
- La dégradation de l'acide ascorbique.

Plusieurs combinaisons sur la composition des éléments de l'atmosphère de stockage ont permis d'obtenir de bons résultats :

- ❖ **L'abaissement du niveau d'oxygène** qui est de 21% dans l'atmosphère par les dispositifs d'épuration jusqu'à 2 ou 3% permet de réduire le risque d'oxydation et la production d'éthylène, produit responsable du mûrissement des fruits. Mais il ne faut pas abaisser de façon excessive ce taux sous peine d'empêcher les produits de respirer.

- ❖ **L'augmentation du niveau de CO₂** à des concentrations importantes (<10%), permet de réduire l'activité métabolique et donc de ralentir le processus de mûrissement. Elle peut inhiber en même temps l'action de certains champignons.

Dans la pratique, les mélanges utilisés sont de trois types :

- Riche en oxygène (O₂) et en dioxyde de carbone (CO₂) : 10 à 15% de O₂, 5 à 10% de CO₂
- Très pauvre en oxygène et modérément enrichi en dioxyde de carbone : 2 à 3% de O₂, 3 à 5% de CO₂
- Très pauvre en oxygène et très peu pourvu de CO₂ (mélange dit ULO, Ultra Low Oxygène) : 1 à 3% de O₂, 0 à 1% de CO₂.

L'atmosphère de ce type de chambre doit être régulée en permanence pour maintenir la composition des mélanges ternaires O₂ + CO₂ + N₂.

I. I.1. REGULATION DE L'ATMOSPHERE DES CHAMBRES A ATMOSPHERE CONTROLEE

I. I.1.1. Modification de la composition gazeuse

De multiples causes peuvent modifier la composition du mélange gazeuse réalisée dans un local :

❖ **La respiration des denrées entreposées :**

La respiration tend à réduire la concentration de l'O₂ et augmente celle du CO₂. La puissance d'absorption du CO₂ dont une chambre froide doit disposer, dépend donc à la fois de la nature des fruits entreposés, de leur quantité, du mélange gazeux choisi et de la température réelle des produits, qui sont les paramètres agissant sur la respiration.

❖ **La fuite accidentelle à travers les parois :**

Même si une entrée d'air ménagée est nécessaire, elle ne doit rien à des entrées non contrôlées se produisant à travers les parois.

L'incidence des fuites dépend des quantités d' O₂ consommés par la respiration du stock entreposé. Si une chambre n'est que faiblement remplie, les fuites risquent d'empêcher l'obtention du mélange recherché. La période de conservation en atmosphère contrôlée doit être la même pour tout le chargement, dont on ne peut prélever une part importante sans arrêter le fonctionnement sous atmosphère de la chambre. Le volume du stockage doit être fractionné pour permettre des ouvertures échelonnées lors du chargement.

I.I.1.2. Moyen de mise en œuvre :

En principe, les installations de conservation en atmosphère contrôlée des stations fruitières, qui constituent 50 à 100% de leur contenance doivent disposer des moyens suivants :

- Des chambres étanches au gaz
- Des dispositifs pour assurer la régulation de la composition gazeuse
- Des protocoles de surveillance, c'est-à-dire l'analyse de teneur en O₂ et CO₂ de l'atmosphère interne.

❖ **Etanchéité des chambres**

De nombreuses règles doivent être observées à la construction. Ainsi, il est indispensable de prévoir un écran pare vapeur très soignée lorsque l'isolation est recouverte de la couche étanche au gaz (sinon l'eau vient s'accumuler dans l'isolant, contre la paroi froide étanche).

Voici quelques matériaux qui peuvent constituer la couche d'étanchéité :

- Les résines synthétiques (polyester) appliquées sur le polystyrène avec adjonction de fibre de verre.
- Les enceintes métalliques étanches, portant à l'intérieur l'isolant qui est ainsi protégé au mieux.

❖ Appareil de régulation de la composition gazeuse

Il est à noter que, la mise en régime d'une chambre à atmosphère contrôlée s'effectue par le seul jeu de la respiration des fruits c'est-à-dire, à chaque volume d' O_2 consommé correspond un volume de CO_2 dégagé.

Lorsque le CO_2 atteint la valeur recherchée, on intervient pour éliminer celui qui est émis en excès par la respiration.

Lorsque l' O_2 atteint la valeur fixée (3%), on maintien son taux en pratiquant une aération ménagée.

➤ Concentration en CO_2

La concentration en CO_2 est assurée par l'appareil appelé le laveur d'air ou scrubber, à diethanolamine. L'air est épuré par combinaison du CO_2 avec de la diethanolamine, en traversant des tours de lavage.

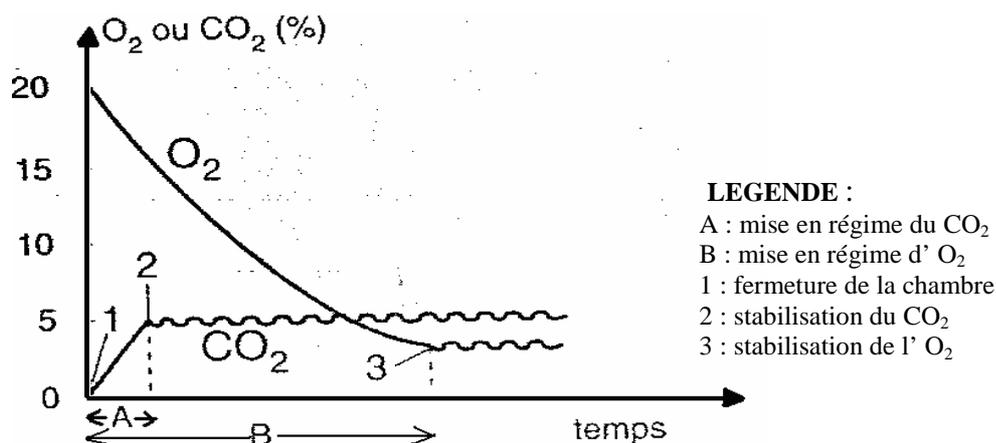


Figure 11 : Mise en équilibre du mélange gazeux d'une enceinte en atmosphère contrôlée

➤ Concentration en O_2

La concentration en O_2 s'obtient naturellement par la respiration des fruits. La régulation de cette concentration nécessitant l'introduction d'air pour compenser l'absorption due à la respiration, soit au moyen d'une vanne prévu sur le circuit d'aspiration du scrubber, soit par la portion de visite.

Dans le condition normale de température et de chargement, il nous faut environs trois semaines pour obtenir une concentration en O_2 de 2 à 3%. Cette mise en régime peut être

accélérée au moyen de générateur d'azote (technique de pull down) : appareil qui consomme l'oxygène de l'air par oxydation catalytique de propane.

❖ **Le protocole de surveillance**

Toute une série de contrôle s'impose pour un usage correct de ces installations :

➤ **Test d'étanchéité de la chambre :**

C'est une procédure essentielle, à la réception de travaux, pour s'assurer que l'étanchéité a bien été réalisée. L'étanchéité de la chambre en atmosphère contrôlée peut être vérifiée par un test de pression. La chambre doit être en équilibre thermique avec l'extérieur (laisser les portes ouvertes quelques jours avant le test).

➤ **Contrôle avant fermeture étanche :**

Comme il n'est pratiquement plus possible d'entrer dans la chambre lorsque l'atmosphère est obtenue (sauf équipement respiratoire spécial), il faut vérifier toutes les installations intérieures : domaines massique des réglages frigorifiques. La mise en régime thermique doit être effectué avant la fermeture étanche, aussi rapidement que possible (8 jours).

Devant le portillon de visite, des échantillons des lots entreposés sont disposés de façon à pouvoir être observés et prélevés en cours de conservation ; afin de vérifier leur évolution en maturation. Il est en effet très important de s'assurer qu'aucune maladie physiologique (brunissement interne, échaudure) ne se développe de façon invisible dans la chambre.

➤ **Contrôle après fermeture étanche :**

Une fois la fermeture faite, des contrôles quotidiens de l'évolution de l'atmosphère ($O_2 + CO_2$) sont nécessaires pour piloter le système de régulation en fonction de la demande. Bien que des matériels automatiques existent sur les marchés, la mesure se fait généralement avec l'appareil Fyrite, d'un maniement relativement simple, sûr, et dont la pression est suffisamment pour les mélanges classiques.

Une fois le régime stable obtenu, le maintien des mélanges gazeux ne pose généralement pas de problème autre que des incidents de matériels, ceci implique une surveillance stricte.

I.II.CONSERVATION PAR TRANSFORMATION

I.II.1. JUS DE FRUITS

Si l'eau reste la meilleure des boissons pour notre organisme, les jus de fruits permettent de varier les goûts et peuvent remplacer un fruit lors d'une collation ou d'un repas. Très digestes, ils sont appréciés et très commandés à tout âge

I.II.1.1.Definition

Le jus est obtenu par des procédés adaptés qui conservent les caractéristiques physiques, chimiques, organoleptiques et nutritionnelles essentielles des fruits dont il provient. Les arômes des fruits, les pulpes et les cellules provenant de jus et séparés pendant la transformation peuvent être restitués.

Tableau17: Composition nutritionnelle de jus de fruits

Pour 100 ml	Jus d'ananas	Jus de mangue	Jus d'orange	Jus de pomme
Energie (kcal)	51	59	40	47
Glucide (g)	11,9	15	8.8	11
Eau	86,2	87	88.8	87,4
Vitamine C (mg)	9-11	30	30-50	Trace
Provitamine A	10-20	50	42-70	Trace
Vitamine B9 (beta-carotène (µg))	10	20	20-30	1
Potassium (mg)	127	190	10	120
Magnésium (mg)	15	18	11	5
Calcium (mg)	12	10	180	6

Source : Ramburn N. et Fontenay G. Site internet/ www.prosi.net

I.II.1.2.Les variétés des jus de fruits

Dans la famille des jus de fruits, il existe trois catégories: les purs jus et les jus à base de jus concentrés et enfin le nectar.

☞ **Les purs jus de fruits** : identifiés par la mention "100 % pur jus de fruits ou 100 % pur jus direct: ils sont obtenus par simple extraction ou pressage. Ils ne contiennent aucun ajout, aucun additif, et n'ont pas d'adjonction de sucre.

☞ **Les jus à base de jus concentré** : identifiés par la mention "à base de jus concentré" et par le logo "teneur en fruits 100 %" : ils sont obtenus à partir du jus concentré auquel on réincorpore la même quantité d'eau que celle évaporée lors de l'opération de concentration.

☞ **Le nectar** : C'est le produit non fermenté, mais fermentescible, obtenu en ajoutant de l'eau, avec ou sans adjonction de sucres (20% au maximum), et/ ou de miel et/ou de sirops, et/ou d'édulcorants à des produits : jus, de purée ou de pulpe de fruits ou à un mélange de ces produits avec un pourcentage de fruit de 25 à 50% selon la variété.

I.II.1.3. Concentré et la purée de fruits

☞ **Le concentré**

Le concentré de jus de fruit (ou respectivement le concentré de la purée de fruit) est obtenu après élimination physique de l'eau en quantité suffisante de jus de fruit (ou respectivement la purée de fruit) pour porter la valeur Brix à un niveau supérieur de 50 pour cent au moins à la valeur Brix établie pour le jus reconstitué du même fruit, comme indiqué dans le tableau ci dessous.

Remarque :

Degré Brix sert à mesurer la fraction de sucre dans un liquide (en d'autre terme, le pourcentage de matière sèche soluble).

Exemple : un degré brix de 17 signifie que le jus contient 17% de sucre.

☞ **La purée de fruits**

La purée de fruits est le produit non fermenté, mais fermentescible, obtenu par des procédés appropriés, par exemple en passant au tamis ou en broyant la partie comestible du fruit entier ou pelé sans en prélever le jus.

Tableau18 : Valeur Brix minimale pour les jus et purées de fruits reconstitués et teneur minimale en jus et/ou pulpe des nectars de fruits à 20° C

Nom Botanique	Nom courant du fruit	Valeur Brix minimale Jus de fruits reconstitués et purées reconstituées	Teneur minimale en jus et/ou pulpe des nectars de fruits
Ananas comosus (L.) Merrill Ananas sativis L. Schult. F		12,8	40,0
Mangifera indica L	Mangue	13,5	25,0

Source : norme générale CODEX pour les jus et les nectars de fruits (CODEX STAN 247-2005)

Remarque :

Le jus concentré et la purée de fruits peuvent contenir des substances aromatiques et des composés aromatisants volatils restitués, à condition qu'ils aient été obtenus par des moyens physiques adaptés et à partir du même type de fruit. De la pulpe et des cellules obtenues par des moyens physiques adaptés à partir du même type de fruit peuvent être ajoutées.

I.II.1.4. Les techniques de fabrication de jus [19]

La préparation des jus ne met pas en jeu des procédés très complexes comme c'est le cas dans certains secteurs et reste en soi une production très traditionnelle même si l'automatisation y a fait son apparition.

En générale la fabrication de jus se fait comme suit :

- Travail préliminaire,
- La transformation,
- La pasteurisation et
- Le conditionnement.

 Étape préliminaire

Réception des fruits

Les fruits ainsi recueillis doivent être transportés jusqu'à l'usine de transformation dans les trois jours.

Faire le déchargement des fruits en les plaçant dans un endroit frais, sec, convenable; sans les décaisser

Toutes les caisses des fruits doivent être manipulées aussi doucement que possible et tout doit être fait pour réduire au minimum les dégâts physiques tels que les meurtrissures.

Triage

Les fruits destinés à la production de jus seront propres et sans maturité excessive. En effet, les fruits devraient être triés avec soin afin d'enlever tous fruits présentant des moisissures visibles, des pourritures, des meurtrissures et de voir leur maturation dans un endroit propre, sec et bien éclairé. Ces opérations peuvent s'effectuer manuellement sur une bande transporteuse qui permet de visualiser les fruits sous plusieurs angles.

Lavage, rinçage, et égouttage

Laver avec de l'eau potable ou traiter de manière appropriée. Puis rincer et égoutter. Les fruits sains doivent être conservés dans un conteneur propre ou chambre froide.

On peut ajouter un assainissant à l'eau de lavage des fruits pour réduire encore davantage les risques de contamination par des pathogènes provenant de l'eau de transformation.

Autres

Peler les fruits ; dénoyauter, calibrer.

Transformation

Pour éviter toute contamination, sélectionner les fruits puis laver à l'eau potable afin qu'ils soient également propres et exempts de pourriture et salissures, avant la transformation.

- ◆ Elaboration de produit de base

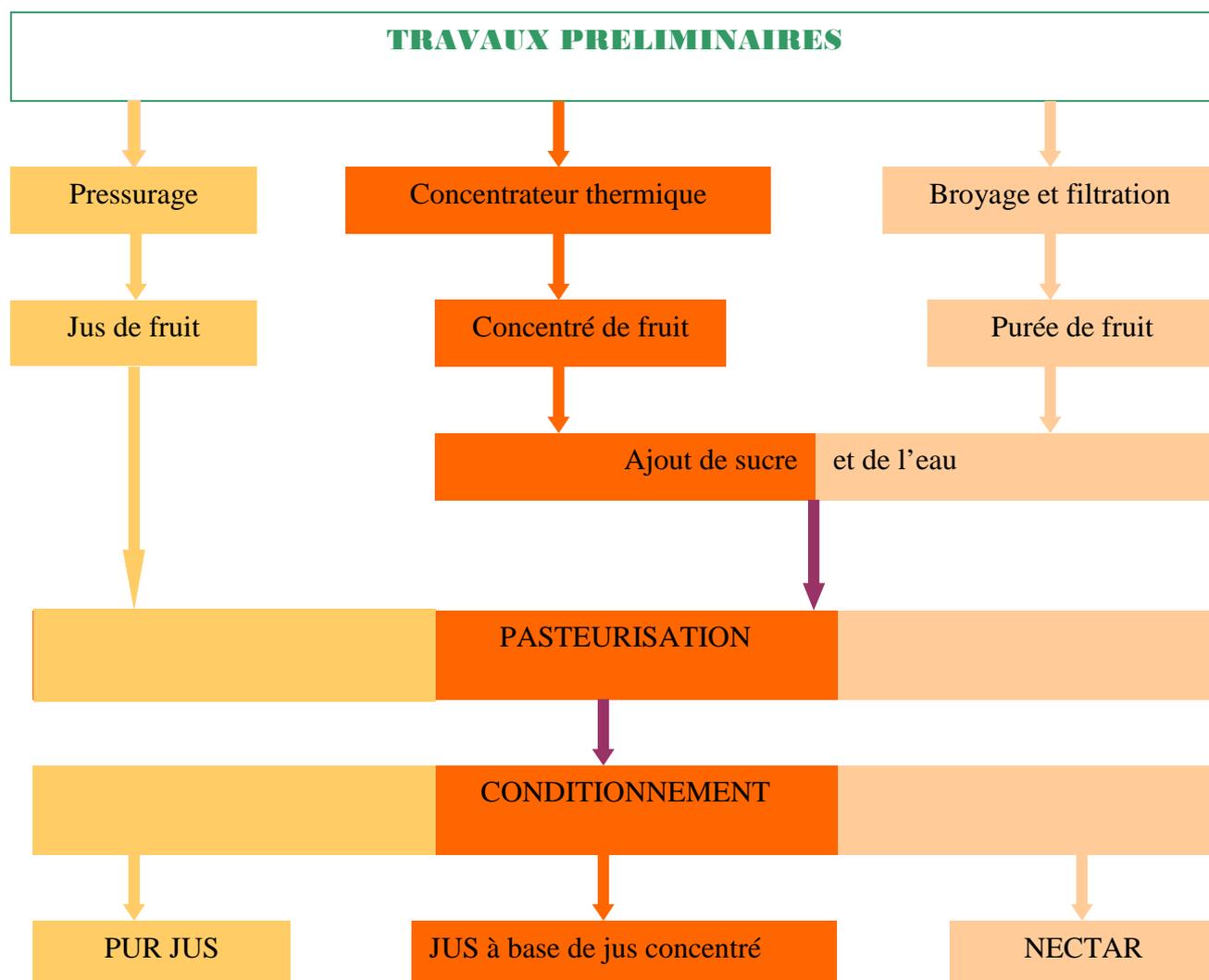


Figure 12: Diagramme de fabrication de jus

A. Pur jus

Le pressurage

Le pressurage est une méthode la plus ancienne utilisée quand on fabrique un pur jus. Il emploie une machine appelée pressoir afin d'en extraire le jus venant de la pulpe.

Les principaux types de pressoirs :

Différentes conceptions de pressoirs existent sur le marché. Elles entraînent des résultats variables au niveau du rendement en jus et de la rapidité du pressurage.

❖ Pressoir hydraulique à paquets

Afin de permettre l'écoulement du jus, la pulpe est placée en couches minces dans des toiles, formant des paquets qui sont séparés par des claies de grandeur variable (40 x 40 cm jusqu'à 80 x 80 cm). Le jus est extrait par pression hydraulique, vers le haut.

❖ Pressoir hydraulique ou manuel à cage

La pulpe est placée à l'intérieur d'un sac dans une cage en forme de cylindre vertical. Le jus est extrait par pressurage vers le bas.

❖ Pressoir à tambour

La pulpe est acheminée dans le pressoir par une pompe et le pressurage se fait automatiquement par gravitation.

Cette installation est adaptée pour de grandes quantités de fruits à presser.

❖ Pressoir à bandes

La pulpe est transportée par une bande en matière synthétique (polyester); elle est pressée par une succession de cylindres, de manière continue.



Figure 13: Pressoir hydraulique électrique à piston double effet

Clarification de jus ou filtration

Après quelques heures de pressurage, des particules en suspension dans le jus vont se déposer. En laissant le jus reposer une nuit, puis en le soutirant au-dessus des bourbes : on obtient un jus partiellement clarifié. Par ce seul débouillage, une grande partie des impuretés restera en suspension dans le jus. Alors il est possible de clarifier le jus en introduisant d'enzymes, suivie d'un collage à la gélatine.

❖ L'enzyme (ultrazym, pectinex) permet d'hydrolyser la pectine, soit d'en briser les

molécules. Par cette opération, la pectine qui stabilise le trouble des jus est transformée en une substance chimiquement plus simple.

❖ La gélatine (liquide en feuilles, poudre) favorise la clarification de jus puisqu'elle se combine avec l'albumine et le tanin contenus dans le jus, formant un corps floconneux: le tanate de gélatine et d'albumine. Les particules de ce corps floconneux s'agglutinent en un réseau serré, entraînant tel un filet, les particules en suspension vers le fond du récipient.

B. Jus concentré

Mettre le jus dans un concentrateur thermique pendant 5 à 7 minutes en éliminant par vaporisation et condensation une partie de l'eau de constitution du fruit sans en altérer les qualités pour porter la valeur Brix à un niveau supérieur de 50 pour cent au moins à la valeur Brix établie pour le jus reconstitué du même fruit, comme indiqué dans l'Appendice est de 60°. La température d'évaporation assure en même temps la pasteurisation du jus. Le jus concentré soit refroidi à - 10°C puis stocké.

C. Purée de fruit

Broyage

Le broyage consiste à rendre les fruits en fines particules sans élimination de jus.



Figure 14 : Broyeur électrique vertical

Tamisage

La pulpe obtenue est chauffée rapidement pour enlever les produits altérateurs qui peuvent la fermenter puis tamiser pour enlever les débris et les fibres.

◆ **Pasteurisation**

Par définition la pasteurisation est une opération consistante à porter à une température de 75°C à 85°C certaines substances alimentaires fermentescible pour tuer les microbes (levures) sans altérer le goût ni détruire les vitamines

Application

Différentes méthodes permettent de chauffer un jus. En voici deux:

❖ **Le chauffage au moyen d'un appareil à électrodes (thermoplongeur)**

C'est le système le mieux adapté pour la pasteurisation des jus dans le cadre familial. En effet, ce système demande peu de matériel et reste simple d'emploi:



Figure 15 : Thermoplongeur

Un thermoplongeur comprenant trois électrodes (charbons) est alimenté par du courant électrique 380 volts. Il est plongé dans le jus à chauffer. Le jus contenant des substances dissoutes (sucres) jouera le rôle de résistance au passage du courant électrique; il s'ensuivra une élévation de la température du jus

❖ **Le chauffage à l'aide d'un échangeur de chaleur**

Le jus à chauffer circule dans l'échangeur en sens inverse de l'eau chaude, prélevant au passage les calories de cette dernière. La source d'énergie pourra être l'électricité, le gaz, une chaudière de chauffage central ou encore une chaudière à vapeur. Avec ce système, le débit de jus chaud est continu.



Figure 16: Chaudière électrique verticale

❖ **Conditionnement**

Le conditionnement consiste à emballer une marchandise en vue de sa présentation commerciale. Il est l'étape capitale pour la conservation du produit. Le conditionnement aseptique, s'effectue en briques, en sachets ou en bouteilles, en fonction des volumes et du marché. On utilise uniquement des contenants neufs, non poreux, non corrosifs et de qualité alimentaire.



Figure17 : Mode de conditionnement

Remarque :

Après conditionnement, les récipients en verre (bonbonnes ou bouteilles) doivent être refroidis à l'abri des courants d'air, afin d'éviter leur éclatement. Les cartons contenant les autres en plastique pleines seront entreposés les uns sur les autres, verticalement, cette position présentant une meilleure résistance du carton ondulé. Les jus seront stockés dans un local frais et sec, à l'abri du gel. Dans ces conditions, les jus correctement pasteurisés et conditionnés se garderont aisément plusieurs années.

I.II.2.CONFITURE

I.II.2.1.Définition

La confiture est le produit préparé à partir d'un ingrédient fruit approprié pouvant être constitué de fruits entiers ou de morceaux de fruits, de pulpe ou de purée d'une ou plusieurs espèces de fruits; avec ou sans jus de fruits non concentrés ou concentrés ajoutés comme ingrédients facultatifs; mélangé avec un édulcorant glucidique, avec ou sans adjonction d'eau; soumis à un traitement destiné à lui donner la consistance voulue.

I.II.2.2.Historique

La confiture est l'art de conserver par le sucre les fruits que l'on amène par la cuisson à un degré de déshydratation suffisant pour en assurer la conservation.

L'origine des confitures est ancienne et liée au souci des hommes de conserver certains aliments. 500 ans avant Jésus Christ au Moyen Orient, les confitures étaient fabriquées avec du miel et du concentré de raisin.

L'art des confitures fut introduit en Europe par les Croisés, à la fin du XIII^e siècle.

A Madagascar, les étrangers et les malgaches aisés constituent la majeure partie des consommateurs de confiture ceci s'explique par la faiblesse du pouvoir d'achat et le développement des transformations ménagères : confitures et jus de fruits.

Remarque :

L'ingrédient fruit est le produit:

- ❖ Préparé à partir de fruits frais, congelés, en conserve, concentrés ou soumis à d'autres traitements de transformation ou de conservation;
- ❖ Préparé à partir de fruits substantiellement sains, en bon état et propres, d'un degré de maturité approprié, auxquels aucun de leurs principaux constituants n'a été enlevé, mais ayant été parés, triés et autrement préparés de manière à éliminer les taches, tiges, pédoncules, queues, trognons, noyaux (pépins) inadmissibles, et pouvant avoir été pelés.
- ❖ Contenant toutes les matières sèches solubles naturelles (produits d'extraction), à l'exception de ceux qui se perdent pendant la préparation selon de bonnes pratiques de fabrication.

I.II.2. 3.Fabrication de confiture [19]

Les confitures sont réparties en 8 familles : liquides, sèches, marmelades, gelées, pâtes, conserves, candis, et dragées. Dans notre étude on va parler de pâte à tartiner : confiture (conserves), gelées, marmelades.

☞ Les **confitures** sont des préparations de fruits entiers ou en morceaux (pulpe) cuites dans un sirop de sucre et épaissis

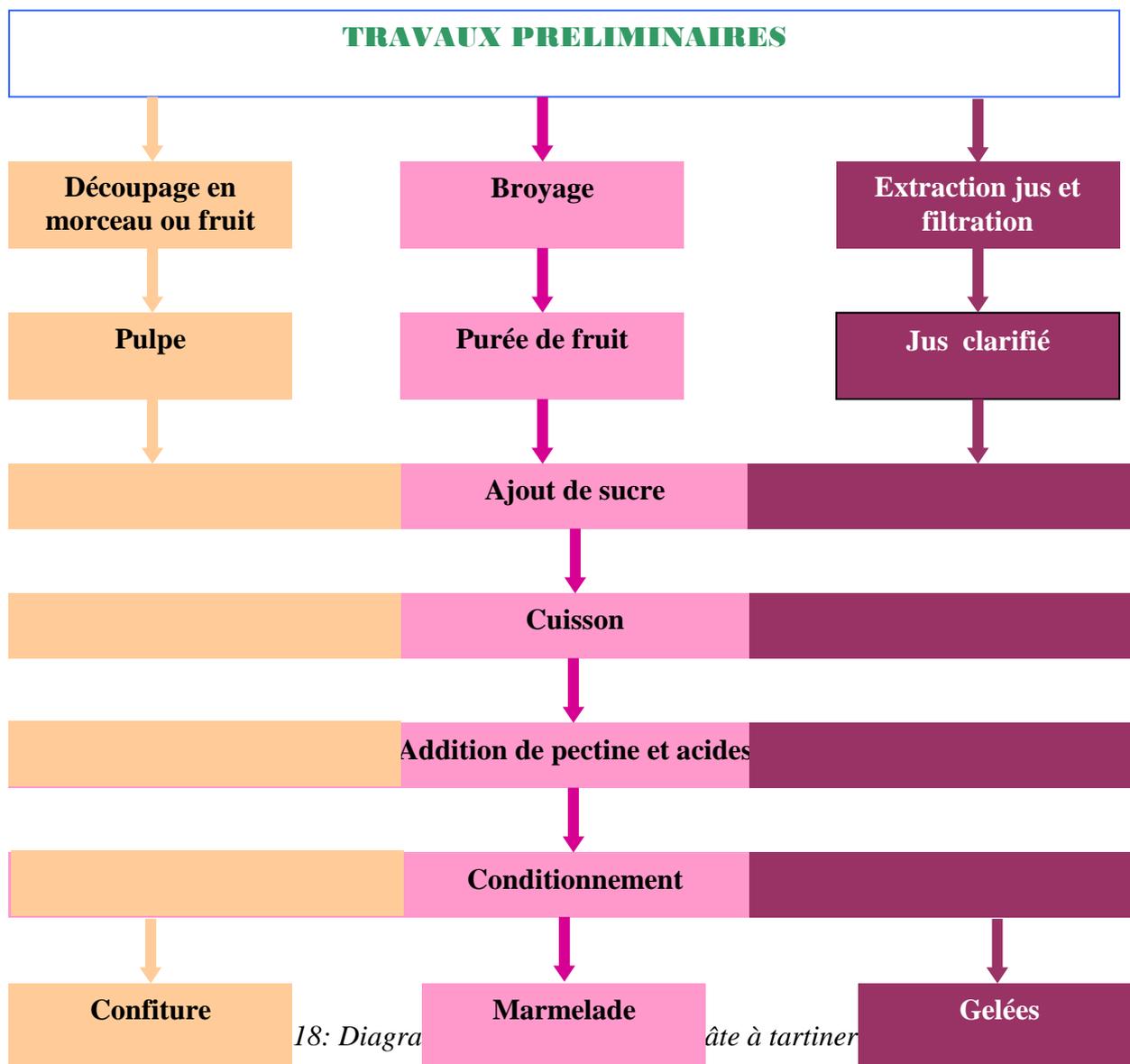
☞ Les **marmelades**, elles, sont confectionnées à partir de fruits réduits en fines particules par tamisage, filtration ou tout autre procédé mécanique (purées), cuits dans du sirop de sucre.

☞ Quant aux **gelées**, ce sont des produits transparents, fabriqués à partir de jus filtrés.

Le mode opératoire pour la fabrication de ces trois types de produits est très similaire. Les étapes communes sont notamment:

- Les travaux préliminaires
- L'ajout de sucre et de pectine pour épaissir
- Le conditionnement.

Ce schéma de la page suivante résume les grandes lignes du mode opératoire pour la fabrication des confitures, marmelades et gelées.



Les étapes de travaux préparatoires jusqu'à l'extraction de jus allant de pulpe et purée sont les mêmes méthodes comme voir au chapitre précédent.

◆ Confiture et marmelade

La fabrication des confitures ou des marmelades consiste à ajouter les fruits frais, pulpe ou purée dans une chaudière ouverte avec addition de sucre (généralement deux fois). Les autres ingrédients (gélifiants, acides...) sont ajoutés avant que l'épaississement soit réalisé par ébullition. La fin de l'ébullition est déterminée par un réfractomètre.

La durée totale de cuisson – ébullition est de l'ordre 15-30 minutes. Ce temps peut être réduit en cuisant sous vide. Cependant la confiture ou la marmelade préparée sous vide n'a pas le même arôme que celle cuite à la pression atmosphérique car le saccharose ne subit pas

l'inversion et la caramélisation nécessaire à une flaveur optimale. Les confitures et les marmelades qui ne sont pas portées à ébullition sont pasteurisées à 85°C.

◆ **Gelées**

Pour les gelées, les jus ou l'extrait aqueux sont mélangés au sucre et si nécessaire avec la pectine et l'on porte à l'ébullition dans une chaudière ouverte ou sous vide. On écume régulièrement et on contrôle la concentration jusqu'à atteindre 42% d'humidité.

Remarque

La stabilité au stockage des confitures, marmelades et gelées, est assurée par leur forte teneur en sucre ainsi que l'acidité du milieu. Un bon soin est à accorder à la présentation des produits finis sur le marché pour mettre la clientèle en confiance.

I.II.2.4. Caractéristique de confiture

La caractéristique de confitures, marmelades, gelées est la texture gélifiée. Pour l'obtenir, il faut réaliser les conditions physiques, chimiques et la durée nécessaire à l'établissement d'un réseau d'un gel pour les pectines.

Pour répondre aux normes que divers organismes ont requises, les valeurs physico-chimiques suivantes doivent être respectées :

- ❖ La teneur en eau finale de la confiture ne doit pas dépasser les 40% ;
- ❖ La teneur en matière sèche soluble ou degré de Brix doit être comprise entre 65% à 67% ;
- ❖ La teneur en sucres réducteurs est de 30% à 50% ;
- ❖ La teneur en cendres brutes doit être inférieure à 1% ;
- ❖ Pour l'acidité :
 - La valeur du pH doit être 2,9 à 3,4
 - La teneur en acidité titrable est comprise entre 0,45 à 0,65.

Remarques

Le produit doit être fabriqué à partir d'au moins, soit 45 ou soit 33 parties en poids de l'ingrédient fruit initial, à l'exclusion de toute adjonction de sucre ou d'ingrédients

facultatifs utilisés dans la préparation de l'ingrédient fruit, par 100 parties en poids du produit fini.

I.II.2.5. Rôles des ingrédients

Fruit

Le fruit utilisé doit être exempt d'altération, frais, c'est-à-dire en parfait état aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Quant au niveau de maturité, le producteur a le choix entre l'utilisation des fruits à complète maturité ou des fruits non totalement mûrs. Et, le choix trouve plutôt sa valeur vers ce dernier stade de maturité. En effet, les confitures fabriquées à partir des fruits qui n'ont pas encore atteint leur complète maturité ont plutôt un meilleur aspect car ces fruits sont plus riches en acide et en matière pectiques que ce qui sont murs et ils ont aussi une texture plus ferme et plus résistante.

Sucre

Le sucre est utilisé pour assurer une bonne conservation de la confiture en augmentant sa teneur en matière sèche et en diminuant son activité de l'eau, inhibant ainsi le développement de certains microorganismes.

Le plus employé est le saccharose et généralement, la quantité ajoutée imite celle du fruit. Il peut être additionné sous forme cristallisée solide ou sous forme liquide après dissolution. La première présente le risque d'une légère caramélisation tandis que la seconde forme à l'avantage de préserver la pectine, les arômes, la texture et la couleur des fruits blanchi ou non. Mais la dissolution entraîne aussi soit l'augmentation de la teneur en eau finale de la confiture, soit de l'augmentation de la durée de cuisson nécessaire à l'évaporation de l'eau. La quantité du sucre utilisée est susceptible d'influencer les caractéristiques finales des confitures selon le tableau ci-après :

Tableau 19: Influence de la quantité de sucre incorporée dans une confiture

Général à 50% possible	Supérieur à 80% du sucre non dissous
------------------------	--------------------------------------

-Risque de développement des moisissures ou risque de fermentation	(limite de solubilité de saccharoses)
-Confitures trop liquides	-Goût et arômes du fruit masqués Prise en masse trop rapide -Confiture trop ferme -Risque de cristallisation du sucre

Pectines

Les pectines sont des polymères linéaires de l'acide galacturonique et elles sont pourvues d'une capacité de rétention en eau très élevée. Ainsi, pour la confiture, la présence de cette substance à une quantité donnée conditionne la consistance du produit fini à obtenir. On utilise surtout des pectines à haute teneur en méthoxyle (70%).

Elles peuvent être apportées par le fruit lui-même ou incorporées grâce à l'utilisation des pectines de commerce (sous forme d'une poudre blanche et à dissoudre dans de l'eau chaude) ou à l'utilisation d'autres fruits riches en pectine.

Elles sont ajoutées en fin de cuisson pour ne pas les dénaturer.

Les acides

Les acides sont ajoutés dans le but de réduire les charges négatives du milieu, donc de favoriser la formation d'un gel plastique. En plus, ils facilitent l'inversion du saccharose et la solubilisation des pectines. On les incorpore sous forme diluée en fin de cuisson. Pour certains fruits qui sont naturellement acides comme les pommes, citron, leur utilisation n'est pas tout à fait justifiée tandis que pour d'autres, le recours à l'ajout d'acide citrique ou autres fruits riches en acide est nécessaire.

Tableau 20 : Influence de la quantité d'acide incorporée dans une confiture

Acidité faible	Acidité forte
-Gélification déficiente	-Vitesse de gélification trop rapide -Inversion excessive du saccharose -Altération du goût de la confiture

Chapitre II. LA QUALITE DES PRODUITS DANS LES INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES

II.1.DEFINITIONS

II.1.1. LA QUALITE

La qualité est définie comme « l'ensemble des caractéristiques d'une entité (produit, activité, processus, organisme ou personne) qui lui confère à l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites » (norme ISO 8402)

Quant on parle plus particulièrement de produits alimentaires, on peut distinguer trois aspects de la qualité :

- ❖ La qualité hygiène : assurant la sécurité et salubrité des aliments
- ❖ La qualité organoleptique : faisant partie des exigences explicites de la part du consommateur.
- ❖ La qualité commerciale : qui regroupe la présentation et la forme du produit, son prix, sa disponibilité,...

II.1.2. LES NORMES [2]

Il existe de nombreuses définitions des normes dont voici quelques unes :

- ❖ Règles fixant les conditions de réalisation d'une opération, de l'exécution d'un objet ou de l'élaboration d'un produit dont on veut unifier l'emploi ou assurer l'interchangeabilité.
- ❖ Document consensuel visant à unifier et à harmoniser en vue de résoudre les problèmes répétitifs découlant des transactions.

II.1.2.1.Références normatives

- **Codex STAN 85-1981** « Norme CODEX pour les jus d'ananas conservés exclusivement par des procédés physiques
- Codex STAN 247-2005 « Norme générale pour les jus et nectars de fruit »
- Règlement N°2073-2005 du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires- Journal officiel de l'Union Européen du 22 décembre 2005.
- Arrêté ministériel N°8671/2005 du 04 juillet 2005 du Ministère de l'industrialisation, du commerce et du développement du secteur privée- Madagascar, fixant les indication obligatoire pour l'étiquetage des produits et denrées préemballées.

II.1.2.2.Les différents organismes de normalisation

- ❖ Au niveau international, il y a l'ISO ou International Standard Organization.

- ❖ Au niveau régional, on peut citer la CEN ou Commission Européen de Normalisation
- ❖ Au niveau national, on a l' AFNOR (Association Française de Normalisation), DIN (Deutsh Industry Norm), MBS (Mauritius Bureau Standard), SABS (South Africa Bureau Standard) et ainsi nous avons le **BNM (Bureau de Norme de Madagascar)**

II.I.3. LE SYSTEME HACCP

Le système **HACCP** (Analyse des dangers et maîtrise des points critiques) est un moyen de garantir la salubrité des aliments qui est reconnu et recommandé dans le Monde entier. Son application consiste en une séquence logique de douze étapes qui englobe sept principes fondamentaux.

Le HACCP est une approche systématique d'identification, de localisation, d'évaluation et de maîtrise des risques potentiels de détérioration de la salubrité des denrées dans la chaîne alimentaire.

II.I.3.1. Les origines du système HACCP

Ce principe a été élaboré dans les années 60 par la société Pillsbury, l'armée américaine et la NASA, qui ont collaboré à la mise au point d'un système de production d'aliments salubres pour le programme spatial. La NASA voulait un programme d'élimination totale des défauts qui puisse garantir la salubrité des aliments consommés par les astronautes dans l'espace. Pillsbury a donc introduit et adopté le système HACCP, qui semblait pouvoir offrir la salubrité maximale et permettre de moins compter sur l'échantillonnage et l'analyse des produits finis.

La mise en place d'un système HACCP correspond à une démarche rationnelle composée de 12 étapes successives. Celles-ci peuvent se regrouper en 5 grandes étapes :

- ❖ **Définition du produit et du procédé** : former une équipe pour connaître le produit fabriqué et les différentes étapes de fabrication.
- ❖ **Identification des dangers** : à partir du synoptique de fabrication, définir les étapes où le produit risque d'être fortement altéré.
- ❖ **Etablissement des points critiques de contrôle (CCP : Critical Control Point)** : pour chaque point sensible décrit précédemment, définir quels types de contrôles (analyse, contrôle visuel, contrôle physique,...) il est possible d'effectuer afin d'éviter tout problème ultérieur.

❖ **Surveillance des CCP** : pour chaque point critique de contrôle, définir les limites acceptables et non acceptables.

❖ **Evaluation du système** : vérifier les procédures et l'efficacité du système.

II.I.3.2.Principes

Les principes du HACCP sont internationalement reconnus et peuvent être appliqués à l'ensemble des secteurs de la transformation d'aliments ou de boissons, la distribution, la vente, la restauration.

Le système HACCP est basé sur sept principes :

- ❖ Identifier les dangers et évaluer les risques
- ❖ Déterminer les points critiques pour la maîtrise (CCP) des risques
- ❖ Définir les tolérances critiques à respecter pour chaque CCP.
- ❖ Etablir des procédures de surveillance des CCP
- ❖ Prévoir les actions correctives nécessaires lorsque la surveillance des CCP révèle des déviations du système
- ❖ Documenter le système HACCP par des enregistrements pertinents
- ❖ Etablir des procédures de vérification du fonctionnement correct du système HACCP

II.I.3.3.Le principe de la marche en avant

L'application du principe de la « marche en avant » est indispensable dans une industrie agroalimentaire digne de son nom. Sa mise en place permet d'éviter que des produits se trouvant à des étapes différentes de leur processus de fabrication, et donc à des niveaux des contaminations différents, n'interfèrent entre eux. L'objectif est d'éviter les contaminations croisées « cross contamination », c'est-à-dire contamination d'un produit donné par un produit plus souillé.

II.II.LES ENJEUX DE LA QUALITE DANS UNE INDUSTRIE AGROALIMENTAIRE

L'instauration d'un système de gestion de la qualité n'est plus un luxe. Bien au contraire, face à une mondialisation galopante et à une concurrence de plus en plus accrue, la maîtrise de la qualité est une nécessité et cela pour plusieurs raisons :

II.II .1.LA DIMINUTION DES COUTS

La recherche de la compétitivité a amené et entraîne encore de nombreuses entreprises à négliger la maîtrise de la qualité. Or, au contraire, toute amélioration de la qualité, que ce soit au niveau du produit, au niveau du processus, au niveau de la distribution, ou autre, est susceptible de permettre des économies parfois spectaculaires.

En effet, par exemple, l'amélioration de la qualité du processus permet une meilleure utilisation des ressources, diminue ainsi le gaspillage, et évite donc des dépenses inutiles. Contrairement aux idées reçues, la qualité est bel et bien un outil pour améliorer la compétitivité de l'entreprise.

II.II.2.LA FIDELISATION DE LA CLIENTELLE

Un client satisfait deviendra probablement un client fidèle alors qu'un client non satisfait, non seulement ne reviendra plus mais en plus véhiculera une mauvaise image du produit. Or, pour satisfaire un client, il faut mettre à sa disposition un produit qui répond à ses attentes, avec un prix et des délais de livraison raisonnables. La qualité de ce produit doit de plus rester constante. Tout cela nécessite une bonne maîtrise de la qualité. La qualité est donc également un outil indispensable pour se constituer une clientèle et la garder.

II.II.3.L'ACCES AU MARCHÉ EXTERIEUR

Les marchés les plus convoités, tels que le marché européen, le marché américain (comme l'AGOA), le marché africain comme récemment à Madagascar le SADC et le COMESA sont tout soumis à des normes de qualité strictes. De plus, les consommateurs de ces marchés sont beaucoup plus exigeants que les consommateurs des pays en voie de développement. Il est donc impératif que les produits que l'on envisage d'envoyer vers ses marchés soient conformes aux normes requises et capables de satisfaire les exigences des consommateurs. Et cela ne peut se faire sans la maîtrise de la qualité. La qualité est un passeport indispensable pour conquérir les marchés extérieurs.

L'atmosphère contrôlée et la transformation en produits finis permettent de prolonger la durée de vie de fruit sans être détruit leurs valeurs nutritionnelles et de répondre les qualités requises aux consommateurs.

**PARTIE III: CALCULS
ET
DIMENSIONNEMENT**

Chapitre I. CALCULS ET DIMENSIONNEMENT D'UNE STATION FRUITIERE [11]

Les stations fruitières et les refroidisseurs sont les structures techniques qui contiennent les équipements frigorifiques .Ils représentent le coût le plus élevé. D'ailleurs, on va dimensionner les chambres et choisir leurs équipements frigorifiques adéquats.

I.I.PRESENTATION DE LA CHAMBRE

Notre projet est de concevoir une chambre froide pouvant contenir 103 tonnes des fruits, à savoir mangues et/ou ananas.

Les dimensions intérieures de la chambre sont les suivantes :

Tableau 21: Dimension intérieure de la chambre froide

Profondeur[m]	Largeur[m]	Hauteur[m]	Volume[m]
18	9	5	810

Avec porte coulissante dont les dimensions sont de 3 * 2m :

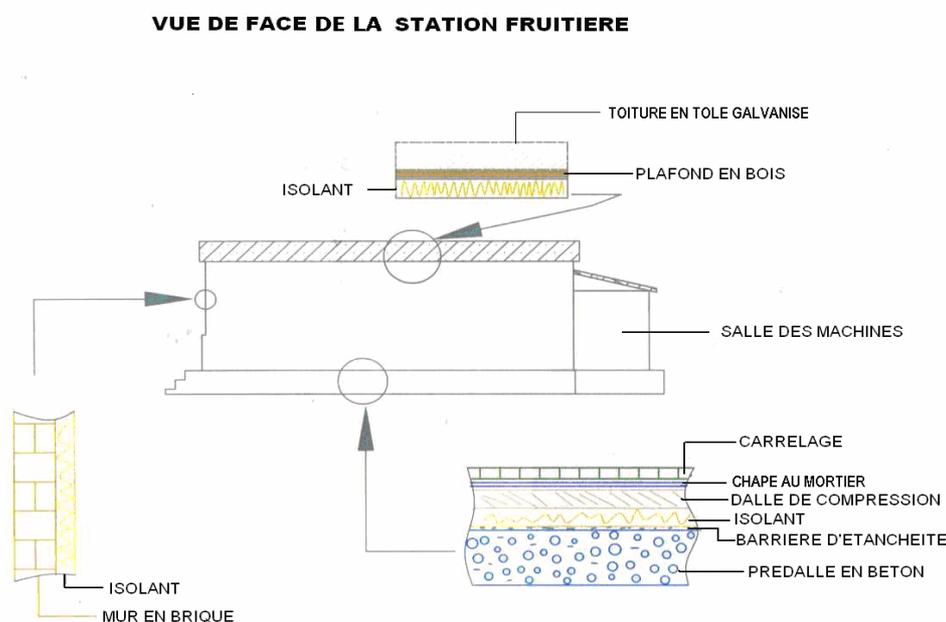


Figure 19: Station fruitière (vue de face)

I.II.CALCULS DES DIFFERENTS PARAMETRES UTILES A L'INSTALLATION DU STATION FRUITIERE

I.II.1.DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR

I.II.1.1.Des panneaux (murs)

D'après les données météorologique de la région d'Amoron'i Mania, nous trouvons que la température moyenne maximale dans cette région est de **25°C**, ainsi la température moyenne maximale du sol est de **29,3°C**

$$\left. \begin{array}{l} \text{Température ambiante : } T_{\text{amb}} = + 7^{\circ}\text{C} \\ \text{Température extérieure : } T_{\text{ext}} = 25^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta\theta = T_{\text{ext}} - T_{\text{amb}} \\ \text{soit } \Delta\theta = 18^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Notons que pour la chambre froide à température positive, l'épaisseur doit être calculée de façon à limiter les entrées de chaleur à environ 10W/m^2 [Formulaire du froid 12^e édition].

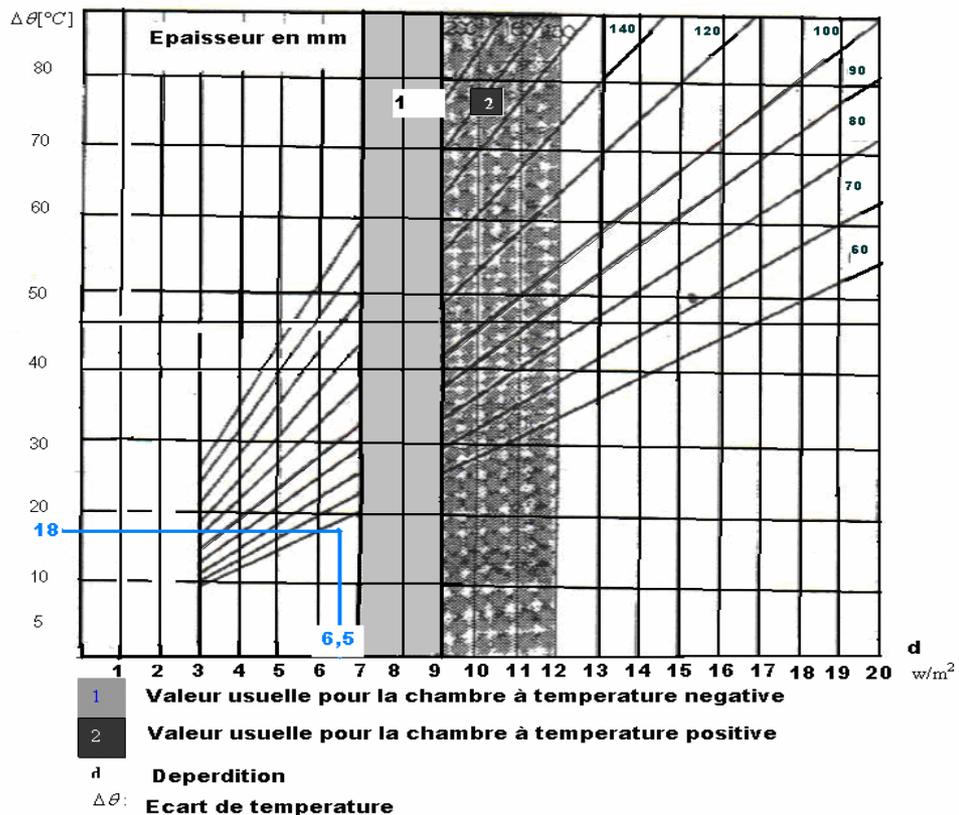


Figure 20: Diagramme de déperdition thermique

Source : Mémoire ANDRIAFIANDRY Zafibiby, 1999

D'après ce diagramme l'épaisseur de l'isolant est de 60 mm.

Vérification

Tableau 22: Déperdition thermique en fonction de la variation de température ($\Delta\theta$)

$\Delta\theta[^\circ\text{C}]$	Déperdition en kJ/jours rapporter au m^2
15	467
18	D ?
20	622

Par interpolation, la déperdition $D=560\text{kJ/jour.m}^2$. Soit $6,5 \text{ W/m}^2\text{j}$ est largement correct par rapport à $10\text{W/m}^2\text{j}$. D'où l'épaisseur des panneaux choisie est de

$e_{mur}= 60\text{mm}$

I.II.1.2.La porte

La porte isolante de la chambre froide constitue une âme de mousse de polyuréthane et de deux revêtements métalliques ; prenons épaisseur de la porte : $e_{porte}= 100\text{mm}$.

Tableau 23: Coefficient de transmission thermique d'une porte isolante composée d'une âme en mousse rigide de polyuréthane et de deux faces métalliques

Epaisseur de l'isolant [mm]	Coefficient k [$\text{W/m}^2.\text{K}$]
60	0,32
80	0,24
100	0,19

La déperdition $D = k\Delta\theta$ où k : le coefficient de transmission thermique d'une porte isolante de chambre froide.

Application numérique :

$\Delta\theta : 18^\circ\text{C}$

$k = 0,19\text{W/m}^2$

$D = 3,42\text{W/m}^2$ acceptable pour notre cas

Ce qui implique **$e_{porte} = 100\text{mm}$**

I.II.2.CHARGES THERMIQUES

I.II.2.1.Charges thermiques extérieures

📄 Charge thermique par transmission à travers les parois

$Q_{mur} = k_{mur} * S_{mur} * \Delta\theta$ avec k_{mur} : coefficient de transmission thermique du mur

S_{mur} : surface des murs

$S_{mur} = 2[(h * p) + (h * l)]$ soit h : hauteur de la chambre froide

p : profondeur

l : largeur

Application numérique :

$$k_{mur} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_{i=1}^2 \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ext}}}$$

Où $\frac{1}{h_{int}} = 0,06 [m^2K/W]$. Résistance thermique du milieu intérieur (cas d'une chambre à

ventilation mécanique).

$\frac{1}{h_{ext}} = 0,12 [m^2K/W]$. Résistance thermique du milieu extérieur (cas où il est en

contact avec un autre local)

e_1 : Épaisseur du brique formant le mur

e_2 : Épaisseur du mousse rigide à base de polyuréthane (plaque et bloc expansé en continu)

λ_1 : Conductivité thermique du béton en argile (brique)

λ_2 : Conductivité thermique du mousse rigide à base de polyuréthane

Tableau 24: Dimension des matériaux formant les murs

Désignations	l[m]	p[m]	h[m]	$\Delta\theta$ [°C]	e_1 [m]	e_2 [m]	λ_1 [W/m ² °C]	λ_2 [W/m ² °C]
valeurs	9	18	5	18	0,35	0,06	1,05	0,029

$$k_{mur} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,35}{1,05} + \frac{0,06}{0,029} + 0,06} = 0,3873 \quad \text{et} \quad Q_{mur} = 0,3873 * 270 * 18 = 1882,28$$

$$Q_{mur} = 1882,28W$$

Charge thermique par transmission à travers le sol

$$Q_{sol} = k_{sol} * S_{sol} * \Delta\theta_{sol}$$

Avec

k_{sol} : coefficient de transmission thermique du sol

$\Delta\theta$: Écart de température entre l'ambiante et le sol

S_{sol} : surface du sol = l * p

Application numérique : $\frac{1}{h_{ext}} = 0$ car le sol est réalisé sur terre plein

Tableau 25: Dimension des matériaux formant le sol

e_1 [m]= 0,15	Épaisseur de pré dalle en béton
e_2 [m]=0,015	Épaisseur de la barrière d'étanchéité au butime
e_3 [m]=0,06	Épaisseur du mousse rigide à base de polyuréthane
e_4 [m]=0,10	Épaisseur de dalle de compression en béton
e_5 [m]=0,05	Épaisseur de la chape au mortier
e_6 [m]=0,015	Épaisseur du carrelage (pavage)
λ_1 [W/m ² °C]=0,15	Conductivité thermique de pré dalle en béton
λ_2 [W/m ² °C]=0,15	Conductivité thermique de la barrière d'étanchéité au butime
λ_3 [W/m ² °C]=0,029	Conductivité thermique du mousse rigide à base de polyuréthane
λ_4 [W/m ² °C]=1,10	Conductivité thermique de la dalle de compression en béton
λ_5 [W/m ² °C]=1,924	Conductivité thermique de la chape au mortier
λ_6 [W/m ² °C]=1,05	Conductivité thermique du carrelage (pavage)

$$k_{sol} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \sum_{i=1}^6 \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{int}}}$$

$$k_{sol} = \frac{1}{0 + \frac{0,15}{0,15} + \frac{0,015}{0,15} + \frac{0,060}{0,029} + \frac{0,10}{1,10} + \frac{0,05}{1,924} + \frac{0,015}{1,05} + 0,06} = 0,298$$

Surface de sol [m ²]	$\Delta\theta$ [°C]	k_{sol} [W/m ² K]	Q_{sol} [W]
162	22,3	0,298	1076,554

Charge thermique par transmission à travers les plafonds

$$Q_{plafond} = k_{pl} * S_{pl} * \Delta\theta \quad \text{avec } k_{pl} : \text{coefficient de transmission thermique du plafond}$$

S_{pl} : surface du plafond égal S_{sol}

$$k_{pl} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \sum_{i=1}^2 \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{int}}}$$

e_1 : Épaisseur du plafond en bois formant le mur

e_2 : Épaisseur du mousse rigide à base de polyuréthane (plaque et bloc expansé en continu)

λ_1 : Conductivité thermique du bois sèche.

λ_2 : Conductivité thermique du mousse rigide à base de polyuréthane

Application numérique :

Tableau 26: Dimension des matériaux formant le plafond

Désignations	$\Delta\theta$ [°C]	e_1 [m]	e_2 [m]	λ_1 [W/m ² °C]	λ_2 [W/m ² °C]	$\frac{1}{h_{ext}}$	$\frac{1}{h_{int}}$
Valeurs	18	0,006	0,06	0,15	0,029	0,12	0,06

$$k_{pl} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,006}{0,15} + \frac{0,06}{0,029} + 0,06} = 0,4369$$

Surface de plafond [m ²]	$\Delta\theta$ [°C]	k_{sol} [W/m ² K]	Q_{pl} [W]
162	18	0,437	1274,292

Charge thermique due au renouvellement d'air

$$Q_{renouvellement} = m_{ae} * \Delta h$$

Avec m_{ae} : Débit masse d'air extérieur

Δh : Différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la chambre froide

$$\Delta h = h_{ae} - h_{aa}$$

h_{ae} : enthalpie de l'air extérieur

h_{aa} :enthalpie de l'air ambiant

Par ailleurs
$$m_{ae} = \frac{V_{ae} * \rho_{aa}}{86400}$$

Avec V_{ae} :débit volume d'air extérieur = $V_c * \eta$

ρ_{aa} :Masse volumique de l'air de la chambre froide

$$\rho_{aa} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T_{amb}}{273,15}}$$

ρ_0 : Masse volumique à la condition normale

V_c : Volume de la chambre froide

η :Taux de renouvellement d'air journalier
$$\eta = \frac{70}{\sqrt{V_c}}$$

Application numérique :

$$V_c = 18 * 9 * 5 = 810 m^3$$

$$\rho_0 = 1,293 kg / m^3 \quad \eta = \frac{70}{\sqrt{810}} = 2,46 / d$$

$$\rho_{aa} = \frac{1,293}{1 + \frac{7}{273,5}} = 1,261 kg / m^3 \quad V_{ae} = 810 * 2,46 = 1992,6 m^3$$

$$m_{ae} = \frac{1992,6 * 1,261}{86400} = 0,0291 kg/s$$

D'après les données: $T_{amb} = 7^\circ C$ $T_{ext} = 25^\circ C$ et $RH_{int} = 87,5 \%$

$RH_{ext} = 76,5\%$

Le diagramme d'humidité nous donne $h_{ae} = 63,5 kJ/kg$ et $h_{aa} = 21 kJ/kg$

$$\Delta h = 63,5 - 21 = 42,5 kJ / s ,$$

Δh [kJ/s]	m_{ae} [kg/s]	$Q_{renouvellement}$ [W]
42,5	0,0291	1236,75

 **Charge thermique par ouverture de porte**

Dans notre projet, le flux journalier est estimé à 20% de la contenance C



Figure 21: Type de porte coulissante appliquée pour la chambre

$$Q_{porte} = [8 + (0,067 * \Delta\theta)] \tau_p * \rho_{aa} * l_p * h_p * \sqrt{h_p \left(1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}\right) * (h_{ae} - h_{aa})} * Cr$$

Avec τ_p : temps d'ouverture des portes $\tau_{porte} = \frac{d_1 * f_j}{24}$

d_1 : durée moyenne de transit

f_j : flux journalier

Cr : coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air.

$$\rho_{ae} : \text{Masse volumique extérieur de la chambre froide} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T_{ext}}{273,5}}$$

ρ_0 : Masse volumique à la condition normale

Application numérique :

$$\rho_{ae} = \frac{1,293}{1 + \frac{25}{273,5}} = 1,185 \text{ kg/m}^3$$

$$f_j = \frac{103 * 20}{100} = 20,6 \text{ tonnes}$$

$$\tau_{porte} = \frac{6 * 20,6}{24} = 5,15 \text{ mn/h}$$

$d_1 = 6 \text{ mn/tonne}$ (cas de porte à ouverture manuel)

$Cr = 1$ (porte sans rideau d'air)

$$Q_{porte} = [8 + (0,067 * 18)] * 5,15 * 1,261 * 3 * 2 * \sqrt{2 * \left(1 - \frac{1,185}{1,261}\right) * (63,5 - 21)} * 1 = 5292,95$$

$$Q_{porte} = 5292,95 \text{ W}$$

Vérification de la contenance de la chambre

$$C = S_u * h_m * de * \eta_0$$

Où S_u : Surface utile = $S - S_{couloir}$

$S_{couloir}$: Surface pour couloir de chargement/déchargement

h_m : Hauteur de gerbage

η_0 : Coefficient d'occupation au sol de la marchandise

de : Densité d'entreposage

Application numérique :

Notre chambre comporte un couloir de 2 * 10mètres.

$$S_u = 142 \text{ m}^2$$

$$h_m : 2,97 \text{ m} \quad de : 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta_0 : 0,7 \text{ (cas de marchandises réfrigéré palettisé faible rotation)}$$

$$C = 142 * 2,97 * 350 * 0,70 = 103,194 \text{ tonnes}$$

I.II.2.2.Charges thermiques intérieures

Charge thermique due à l'éclairage

Normalisation 6W/ m² pour le chambre de travail

$$Q_{ecl} = 6 * S_{sol} = 6 * 162$$

$$Q_{ecl} = 972 \text{ W}$$

Charge thermique due au personnel

$$Q_{pers} = \frac{i_{pers} * q_{pers} * \tau}{24}$$

Avec i : nombre de personnes opérant dans la chambre froide

τ : Durée du travail dans la chambre froide

q_{pers} : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne

Application numérique :

Tableau 27: Valeurs de quantité de chaleur dégagée par personne par unité de temps

Température de la chambre froide [°C]	Quantité de chaleur dégagée par personne et unité d temps q_{per} [W]
10	210
7	q_{per}
5	240

$$q_{pers} (+ 7^\circ\text{C}) = 228 \text{ W (interpolation)}$$

$$\tau = 8 \text{ heures / jour}$$

Nous prenons $i_{pers} = 6$, pour le chargement / déchargement

$$Q_{pers} = \frac{6 * 228 * 8}{24} = 456 \text{ W}$$

Charge thermique due aux denrées entrantes

$$Q_{denrées} = \frac{C_m * f_j * (T_{ext} - T_{amb})}{86400}$$

Pour de raison technique, ou du besoin en production, on veut que le $\frac{1}{4}$ de la contenance seulement est réservée pour l'ananas pendant la saison des mangues alors,
 Ananas : 26 tonnes
 Mangues : 77 tonnes

La capacité thermique massique majeure est de $C_m = \frac{C_{mangues} M_{mangues} + C_{ananas} M_{ananas}}{M_{ananas} + M_{mangues}}$

$C_{mangues}$: capacité thermique massique de la mangue

C_{ananas} : capacité thermique massique d'ananas

M_{mangue} : masse de la mangue

M_{ananas} : masse d'ananas

Application numérique :

$C_{mangues} : 3,68 \text{ kJ/kgK}$ $C_{ananas} : 3,56 \text{ kJ/kgK}$

$$C_m = \frac{3,68 * 77000 + 3,56 * 26000}{77000 + 26000} = 3,649$$

$$C_m = 3,649 \text{ kJ / kgK}$$

$$Q_{denrées} = \frac{3,649 * 20600 * (25 - 7)}{86400} = 15,660 \text{ kW}$$

$$Q_{denrées} = 15,660 \text{ kW}$$

Charge thermique due à la respiration des denrées

Pendant le temps de chargement, les denrées sont respirées activement.

$$Q_{resp} = \frac{C * q_{resp}}{3600} \text{ Avec C : contenance}$$

q_{resp} : chaleur de respiration de denrée

Application numérique :

$$q_{resp} (ananas) = 187 \text{ kJ / t .h à } +7^\circ\text{C par interpolation}$$

$$q_{resp} (mangues) = 217 \text{ kJ / t.h à } +7^\circ\text{C par interpolation}$$

$$q_{resp} (moyenne) = 202 \text{ kJ / t. h}$$

$$Q_{resp} = \frac{103,194}{3600} * 202 = 5,79 \text{kJ/s.}$$

$$\text{Soit } Q_{resp} = 5,79 \text{ kW}$$

Charge thermique due au matériel roulant

Le matériel roulant le plus souvent utilisé constitue des chariots élévateurs et des transpalettes. Dans notre cas, on emploie deux chariots dont chacun a la puissance de 4kW, fonctionnant dix heures par jour.

$$Q_{mr} = \frac{i * P * \tau}{24} \quad \text{Avec } i : \text{ nombre de chariot}$$

τ : Durée de fonctionnement de ces chariots

P : puissance de chariot

Application numérique

$$i = 2 \quad \tau = 10 \text{h/jour} \quad P = 4 \text{kW}$$

$$Q_{mr} = \frac{2 * 4 * 10}{24} = 3,33$$

$$Q_{mr} = 3,33 \text{kW}$$

I.II.2.3. Charge thermique totale

$$Q_{Total} = Q_{mur} + Q_{sol} + Q_{pl} + Q_{renouv} + Q_{porte} + Q_{ecl} + Q_{pers} + Q_{denrées2} + Q_{resp} + Q_{mr}$$

$$Q_{Tot} = 1882,28 + 1076,555 + 1274,292 + 1236,75 + 5292,95 + 972 + 456 + 15660 + 5790 + 3333$$

$$Q_{Tot} = 36973,827 \text{W.}$$

$$\text{Soit } Q_{Tot} = 36,97382 \text{kW}$$

I.III. MODE DE CHARGEMENT / DECHARGEMENT

Nous avons un flux journalier de 21 tonnes.

Si les introductions au cours de la semaine sont irrégulières, la charge journalière moyenne est calculée comme suit :

❖ Cas de chargement 1jour/semaine seulement

$$f_{ja} = \frac{C}{2} = 51 \text{tonnes}$$

❖ Si le chargement a lieu deux jours /semaine

$$f_{jb} = \frac{C}{3} = 34 \text{ tonnes}$$

- ❖ Si le chargement se fait 3 à 4 jours par semaine et que la masse totale de deux introductions successives dépasse la moitié de la charge hebdomadaire

$$f_{jc} = \frac{C}{4} = 26 \text{ tonnes}$$

- ❖ Si l'introduction a lieu quatre jours par semaine et que la masse totale de deux introductions successives est inférieure à la moitié de la charge hebdomadaire

$$f_{jd} = \frac{C}{6} = 17 \text{ tonnes}$$

Dans le cas pratique, le flux journalier n'est pas constant, il est en fonction du mode de chargement et/ou de déchargement des denrées à entreposer.

I.IV.DIMENSIONNEMENT DES APPAREILS FRIGORIFIQUES

I.IV.1.EVAPORATEUR

I.IV.1.1.Calcul de la puissance

Notre installation fonctionne 16h/jour, donc la puissance frigorifique brute est de

$$Q_0 = \frac{Q_{Total} * 24}{16} \qquad Q_0 = \frac{36,976 * 24}{16} = 55,464 \text{ kW}$$

On estime que la puissance frigorifique provisionnelle de l'évaporateur est de

$$Q_{op} = 1,2 * Q_0 = 1,2 * 55,464$$

$$\text{Où } Q_{op} = 66,557 \text{ kW}$$

Caractéristique de fonctionnement

Puissance = 66,557kW

T_{amb} = +7°C

Fluide R 404A

Pour bien garder le taux d'humidité de la chambre à 87,5%, l'écart de température

$\Delta\theta = T_{amb} - T_{evap}$ doit être égale à 5,4K (cf. *Ecart de température en fonction de l'humidité relative*)

Ceci nous conduit à déterminer $T_{evap} = 1,6^{\circ}\text{C}$

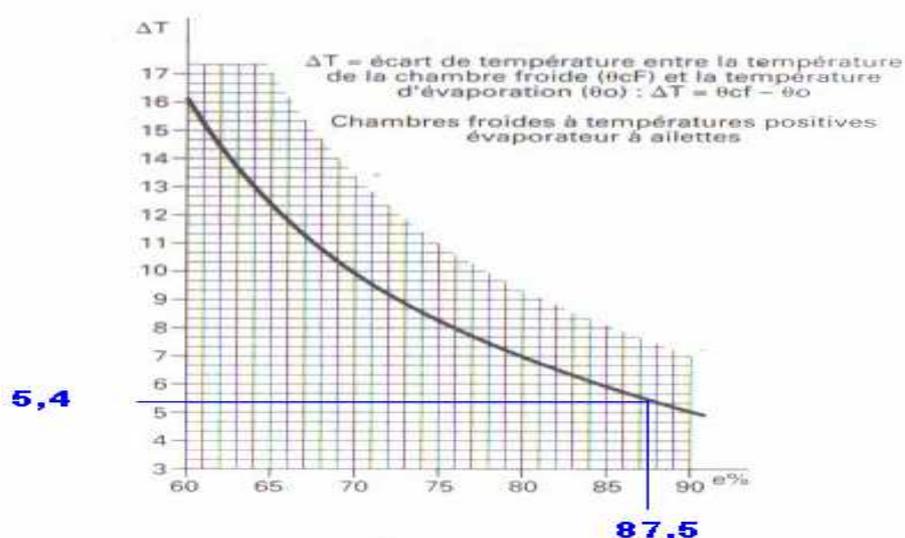


Figure 22 : Ecart de température en fonction de l'humidité relative

Pour cette puissance, le catalogue 2006 de FRIGA BOHN propose l'évaporateur cubique industriel "NKH" de modèle 2*8D C2 L



Figure 23: Evaporateur

Caractéristiques techniques de l'évaporateur

- ❖ Carrosserie robuste en acier galvanisé peint époxy blanc
- ❖ Panneaux latéraux permettant un accès facile aux raccordements électriques et frigorifiques
- ❖ Ventilateur : 400V/3/50Hz
- ❖ IP 54, classe F, 2 vitesses : 6/8 Pôles (1500/100 tr/min), graissage longue durée
- ❖ Puissance frigorifique totale : 68,11 kW
- ❖ Ventilation :
 - Nombre de ventilateur : 2
 - Ecartement d'ailette : 6mm, diamètre : 800mm
- ❖ Moteur :
 - Vitesse : 1500 tr/mn, puissance absorbée : 1,25 kW
 - Alimentation : 400V/3/50Hz, $I_{max}=2,30A$
 - Débit d'air : $38400\text{m}^3/\text{h}$

- Porté d'air : 38 m
- ❖ Dégivrage :
 - Puissance : 2 kW avec $I_{max} = 4A$
- ❖ Dimension :
 - $l * p * h = 3715 * 1060 * 1375mm$,
- ❖ Poids net 460 kg

I.IV.1.2. Contrôle de la puissance prévisionnelle de l'évaporateur

☞ Charge due au moteur du ventilateur

$$Q_{vent} = \frac{P_{vent} * \tau_{evap}}{\tau_{inst}} \quad \text{Avec } P_{vent} : \text{Puissance de ventilateur}$$

τ_{evap} : Durée de fonctionnement de ventilateur

τ_{inst} : Durée de marche de l'installation frigorifique

Application numérique :

$$P_{vent} = 1,25kW \quad \tau_{evap} = 16h / j \quad \tau_{inst} = 16h / j$$

$$Q_{vent} = 1,25 \text{ kW}$$

☞ Charge due à la résistance de dégivrage

$$Q_{deg} = \frac{P_{deg} * \tau_{deg}}{\tau_{inst}} \quad \text{Avec } P_{deg} : \text{Puissance de dégivrage}$$

τ_{deg} : Durée journalière de dégivrage

Application numérique :

$$P_{deg} = 2kW \quad \tau_{deg} = 60mn / j \quad \tau_{inst} = 16h / j$$

$$Q_{deg} = 0,125 \text{ kW}$$

Vérification : La puissance effective de l'évaporateur

$$Q_{0eff} = Q_{0p} + Q_{vent} + Q_{deg}$$

$$\text{D'où } Q_{0eff} = 66,557 + 1,25 + 0,125 = 67,932$$

$$Q_{0eff} = 67,932kW$$

On trouve que $Q_{0eff} \leq 68,11kW$ fournie par NKH 2*8D C2L donc notre dimension est correcte.

I.IV.2.COMPRESSEUR

Condition de fonctionnement du compresseur

Fluide R 404 A

$$T_{ext} = 25^{\circ}C$$

Il est à noter que notre organe de condensation fonctionne en eau. Pour cela, nous adoptons quelques hypothèses :

La différence de température entre T_{cond} et T_{ext} est de l'ordre de 12 à 15 K.

$$\text{Posons } T_{cond} = T_{ext} + 13,5K \text{ Soit } T_{cond} = 25 + 13,5 = 38,5$$

$$T_{cond} = 38,5^{\circ}C$$

La surchauffe normale est de l'ordre de 3 à 7K pour une meilleure protection ; prenons surchauffe : 7K

Le sous refroidissement est compris entre 3 à 5K, prenons sous refroidissement : 5K

Vérification de température de fin de compression ou de refoulement

D'après le logiciel SOLKAN 2.0, on obtient les valeurs suivantes, tirées du diagramme enthalpique de l'installation :

Tableau 28: Valeurs et caractéristiques du cycle de l'installation d'après SOLKAN 2.0

Points du cycle	Pressions [bar]	Températures [°C]	Volumes massiques [m ³ /kg]	Enthalpies massiques [kJ/kg]
1	6,36	1,6	0,03103	366,1
1sup	6,36	8,6	0,03242	373,01
2is	17,54	49	0,01149	393,83
2	17,54	53,18	0,01189	399,04
2''	17,54	38,5	0,01033	379,92
3 ‘	17,54	38,15	0,00102	256,79
3ssr	17,54	33,15	0,00100	248,71
4	6,36	1,22	0,00900	248,71

Nous avons :

$$T_{evap} = 1,6^{\circ}C \longrightarrow P_{evap} = 6,36bars$$

$$T_{cond} = 38,5^{\circ}C \longrightarrow P_{cond} = 17,54bars$$

Soit $T_{asp} = T_{evap} + \Delta T_{surchauffe}$: la température de l'aspiration au niveau du compresseur.

Soit $T_{asp} = 1,6 + 7 = 8,6^{\circ}\text{C}$

$T_{fc} = T_{asp} * \left(\frac{P_{cond}}{P_{evap}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$: la température de fin de compression polytropique ou

de refoulement

$T_{fc} = 53,18^{\circ}\text{C} = 326,18\text{K}$

$T_{asp} = 8,6^{\circ}\text{C} = 281,6\text{K}$

$\frac{P_{cond}}{P_{evap}} = \frac{17,54}{6,36} = 2,7578$

Calcul de l'exposant polytropique γ

En résolvant l'équation : $326,18 = 281,6 * \left(\frac{17,18}{6,36} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, on trouve $\gamma = 1,169415$

Alors la vraie température au refoulement est donc :

$T_{fc} = 281,6 * (2,7578)^{(1,169415-1)/1,169415}$

Soit $T_{fc} = 326,1803\text{K}$ ou $T_{fc} = 53,1803^{\circ}\text{C}$, T_{fc} est définie dans la plage de fonctionnement du fluide R404A donc notre installation est correct.

I.IV.2.1. Cycle frigorifique de l'installation

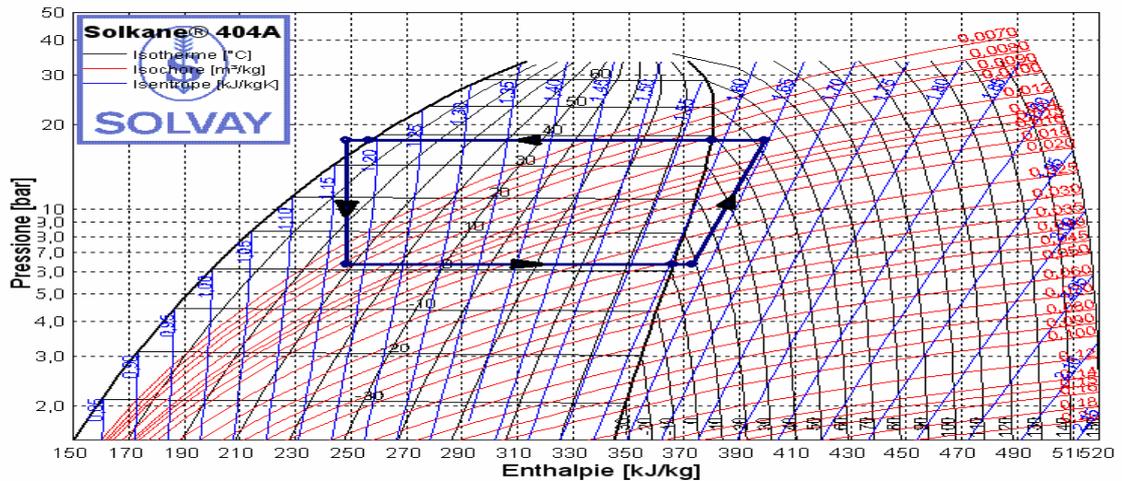


Figure 24: Diagramme enthalpique de l'installation

☞ Détermination de la puissance absorbée par le compresseur

❖ Production frigorifique

On a $h_1=366,1 \text{ kJ/kg}$ $h_2=399,04 \text{ kJ/kg}$ $V_1=0,03103 \text{ m}^3/\text{kg}$ $V_2=0,01189 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $h_4=248,71 \text{ kJ/kg}$

$$q_{0m} = h_1 - h_4 \qquad q_{0m} = 366,1 - 248,71 = 117,39 \text{ kJ / kg}$$

❖ Production frigorifique en mètre cube

$$q_{0h} = \frac{h_1 - h_4}{V_1} \qquad q_{0h} = \frac{117,39}{0,03103} = 3783,113 \text{ kJ / m}^3$$

❖ Travail théorique de compression

$$\Delta\omega = h_2 - h_1 \qquad \Delta\omega = 399,04 - 366,1 = 32,94 \text{ kJ / kg}$$

❖ Coefficient de performance

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad \varepsilon = \frac{117,39}{32,94} = 3,5637$$

❖ Débit massique de fluide

$$q_{mth} = \frac{Q_{0eff}}{h_1 - h_4} \qquad q_{mth} = \frac{67,932}{117,39} = 0,5787 \text{ kg / s}$$

❖ Volume aspiré

$$V_{th} = q_{mth} * V_1 \qquad V_{th} = 0,5787 * 0,03103 = 0,0179 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Soit $V_{th}=64,6454 \text{ m}^3/\text{h}$

❖ Puissance absorbée théorique

$$P_{th} = q_{mth} * (h_2 - h_1) \qquad P_{th} = 0,5787 * 32,94 = 19,0624 \text{ kW}$$

❖ Rendement volumétrique

$$\eta_v = 1 - 0,05 * \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \qquad \eta_v = 1 - 0,05 * \frac{17,54}{6,36} = 0,8621$$

❖ Volume balayé

$$V_b = \frac{V_{th}}{\eta_v} \qquad V_b = \frac{64,6454}{0,8621} = 74,9859 \text{ m}^3 / \text{h}$$

❖ Puissance réelle absorbée

Pour une nouvelle machine, on estime le rendement $\eta_m = 0,75$

$$P = P_{th} * \frac{1}{\eta_m} * \frac{1}{\eta_v} \qquad P = 19,0624 * \frac{1}{0,75} * \frac{1}{0,8621} = 29,4821 \text{ kW}$$

I.IV.2.2.Choix de compresseur

Condition de fonctionnement

Température d'évaporation : 1,6°C

Température de condensation : 38 ,5°C

Sous refroidissement : 5K

$$\Delta T_{\text{surchauffe}} = 7^{\circ}\text{C}$$

Puissance requise au compresseur 66,557kW

D'après cette condition de fonctionnement, la société **COPELAND** propose par ses catalogues 2006 le compresseur hermétique accessible de type D4DJ-300X qui a pour caractéristiques techniques :

- ❖ Production frigorifique : 69,43kW
- ❖ Puissance : 30Cv
- ❖ Volume balayé : 84,7 m³/h
- ❖ Alimentation :
 - Courant maximum 34A
 - Tension 380V triphasé, fréquence 50Hz
- ❖ Raccordement
 - Tube d'aspiration 21/8''
 - Tube de refoulement 13/8 ''
 - Charge huile 4 dm³
- ❖ Poids brut 230 kg



Figure 25 : Compresseur

I.IV.3.CONDENSEUR

I.IV.3.1.Calcul de la puissance du condenseur

$$Q_k = Q_{0eff} + P \qquad Q_k = 67,932 + 29,4821$$

$$Q_k = 97,4141 \text{ kW}$$

Il en résulte que l'installation frigorifique doit assurer une puissance de 97,4141 kW pour une température d'évaporation 1,6°C.

Condition de fonctionnement

Puissance totale 97,4141 kW

Température extérieure 25°C

Température de condensation 38,5°C $\Delta T = 13,5 K$

D'après ces paramètres de fonctionnement, le catalogue publié par **BITZER** en 2006 propose le **condenseur à eau** multitubulaire de modèle **K1053H-4** qui a pour caractéristiques suivantes :

- ❖ Puissance calorifique : 107,5 kW
- ❖ Débit d'eau : 11,56 m³/h
- ❖ Voyant monté en standard
- ❖ Raccord fluide frigorigène :
 - Entrée : 1''5/8 Sortie : 1''3/8
- ❖ Circuit eau :
 - Entrée : G1''1/4 Sortie : G1''1/4
 - Entrée condenseur : raccord rotalock / manchon à braser avec bride
 - Sortie condenseur : vanne d'arrêt
- ❖ Raccord rotalock pour soupape : intérieur 3/8" -18NPTF
- ❖ Dimension : L*h=1634*245*311
- ❖ Poids net : 87kg:
- ❖ Pressions / températures maxi admissible :
- ❖ Côté fluide frigorigène : 28 bar - de -10°C à +120°C
- ❖ Côté fluide caloporteur : 10 bar - de -10°C (avec antigel) à +95°C



Figure 26: Condenseur à eau

I.IV.4.TUYAUTERIES

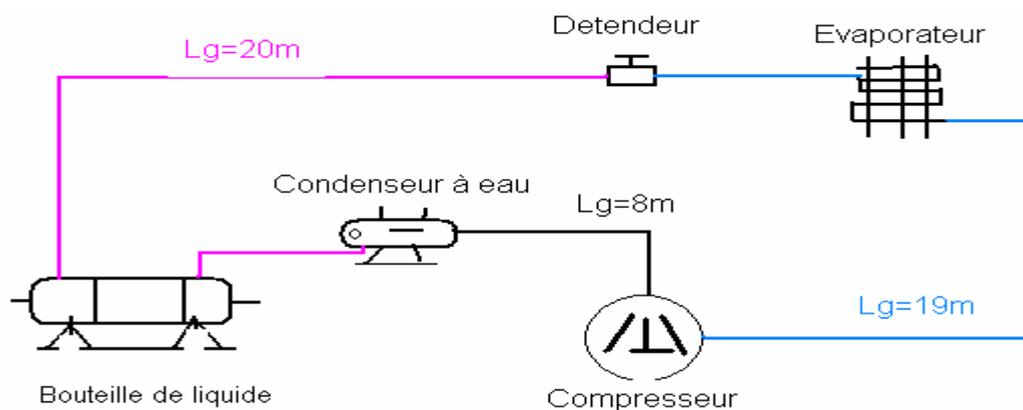


Figure 27: Schéma simplifié de l'installation (tuyauterie)

I.IV.4.1.Dimensionnement des tuyauteries d'installation

Le calcul de la conduite est basé sur la méthode du monogramme de la tuyauterie en cuivre pour le R404A (disponible à l'annexe). Pour cela, elle se fait en partant de la production frigorifique, de la température d'évaporation, de condensation, de la perte de charge maximale admissible et enfin de la longueur équivalente.

Cette méthode repose sur une marge bénéfique au concepteur sur le choix du coude à appliquer sur les différents tronçons de la conduite.

Valeur normalisée pour la perte de charge

- Aspiration 1 à 2 K
- Refoulement 1 à 2 K
- Tuyauterie liquide 0,5 K

Valeur normalisée pour la vitesse d'écoulement

- Aspiration 6 à 12 m/s
- Refoulement 6 à 15 m/s
- Tuyauterie de liquide 0,3 à 1,2 m/s



Figure 28 : tuyauterie en cuivre

📄 Calcul de la tuyauterie d'aspiration

Notre fluide étant le R404A

Tuyauterie d'aspiration, c'est la conduite qui est de la sortie de l'évaporateur jusqu'à l'entrée du robinet amont du compresseur. Dans notre cas, la longueur géométrique $l_g = 19m$.

❖ Longueur équivalente : l_{eq}

Comme l'aspiration comporte peu de singularité $l_{eq} = l_g + 30\%$ d'où $l_{eq} = 24,7m$

Le monogramme de la tuyauterie d'aspiration en R404A donne que la perte de charge admissible est de 1K.

❖ Dimensionnement de la tuyauterie

$$Q_{0eff} = 67,932kW$$

$$T_{evap} = 1,6^{\circ}C$$

$$T_{cond} = 38,5^{\circ}C$$

$$l_{eq} = 24,7m$$

L'aspiration, on trouve **54*2mm**, la vraie perte de charge réelle subite est de 0,45K.

Vérification de la vitesse d'écoulement (w)

$$w = \frac{4Q_{0eff}}{\pi(h_1 - h_4)\rho * di^2}$$

Notons que $w_{adm} = 12m/s$

ρ : La masse volumique du fluide à l'entrée du compresseur avec $\rho = \frac{1}{V_1}$ où V_1 le

volume massique du fluide à l'entrée de compresseur égal à $0,03103 m^3/kg$

di : diamètre interne de la tuyauterie

Application numérique :

$$\rho = \frac{1}{0,03103} = 32,23 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad d_i = 54 - 2 * 2 = 50 \text{ mm}$$

$$w = \frac{4 * 67,932}{\pi * (366,1 - 248,71) * 32,23 * 0,050^2} = 9,144 \text{ m} / \text{s} \leq w_{adm}, \quad \text{on peut}$$

prendre pour l'aspiration le 54*2mm.

 **Calcul de la tuyauterie de refoulement**

On entend par la tuyauterie de refoulement, la conduite qui est la sortie du robinet aval du compresseur à l'entrée du condenseur. Ici $l_g = 8 \text{ m}$.

Dans le cas, peu de singularité $l_{eq} = l_g + 30\% = 10,4 \text{ m}$

D'après le monogramme, la perte de charge admissible est de 1K.

$$Q_{0eff} = 67,932 \text{ kW}$$

$$l_{eq} = 10,4 \text{ m}$$

$$T_{evap} = 1,6 \text{ K}$$

$$T_{cond} = 38,5 \text{ K}$$

Nous obtenons comme **refoulement le 28*1,5mm** ; sa perte de charge réelle est de 1,4K.

Vérification de la vitesse d'écoulement

$$w = \frac{4Q_{0eff}}{\pi(h_1 - h_4)\rho * d_i^2}$$

$$\rho = \frac{1}{V_2} \quad \text{Où } V_2 : \text{ volume massique de fluide à la sortie de compresseur.}$$

$$V_2 = \frac{1}{0,01189} = 84,1043 \text{ m}^3 / \text{kg} \quad \rho = 84,1043 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$w = \frac{4 * 67,932}{\pi * (366,1 - 248,71) * 84,1043 * 0,025^2} = 14,017 \text{ m} / \text{s}$$

Notre dimensionnement est correct, prenons le refoulement 28*1,5 mm.

 **Tuyauterie liquide**

A titre indicatif, la tuyauterie de liquide est composée de deux parties :

- L'une allant de la sortie du condenseur à l'entrée de la bouteille liquide
- L'autre de la sortie du bouteille liquide à l'entrée du détendeur.

Alors pour la tuyauterie liquide $l_g = 20m$, elle comporte beaucoup de singularité

$$l_{eq} = l_g + 50\% = 30m$$

La perte de charge admissible pour cette tuyauterie est de 0,5 K. D'après le monogramme du R404A

$$Q_{0eff} = 67,932kW$$

$$l_{eq} = 30m$$

$$T_{cond} = 38,5K$$

$$T_{evap} = 1,6K$$

Ce qui implique que **la tuyauterie liquide est de 28*1,5mm** avec une perte de charge réelle maximale 0,45K.

Vérification de la vitesse d'écoulement

L'ordre de la vitesse admissible de l'écoulement dans la tuyauterie de liquide est de 0,3 à 1,2 m/s.

$$w = \frac{4Q_{0eff}}{\pi(h_1 - h_4)\rho * di^2}$$

Nous avons $P_{cond} = 17,54bars$ et dans la table de saturation pour le R404A, on trouve la masse volumique correspondante.

Tableau29 : Extrait de saturation R404A

Température de condensation [°C]	Pression [bar]	Masse volumique [kg/dm ³]
35	16,2012	0,9914
38,5	17,54	ρ
40	18,3104	0,9635

Par interpolation on trouve $\rho = 0,973691kg/dm^3$, soit $\rho = 973,691 kg/m^3$,

$$di = 28 - 2 * 1,5 = 25mm$$

$$w = \frac{4 * 67,932}{\pi * (366,1 - 248,71) * 973,691 * 0,025^2} = 1,21m/s$$

En effet la tuyauterie de liquide 28*1,5mm est correcte.

I.IV.5.DETENDEUR

I.IV.5.1.Calcul de la chute de pression au niveau du détendeur

Remarquons que dans notre installation, entre le détendeur et le condenseur il y a :

- La bouteille liquide
- La vanne manuelle
- Le filtre deshydrateurs
- Le voyant indicateur d'humidité
- La vanne solénoïde (régulateur pompe down)

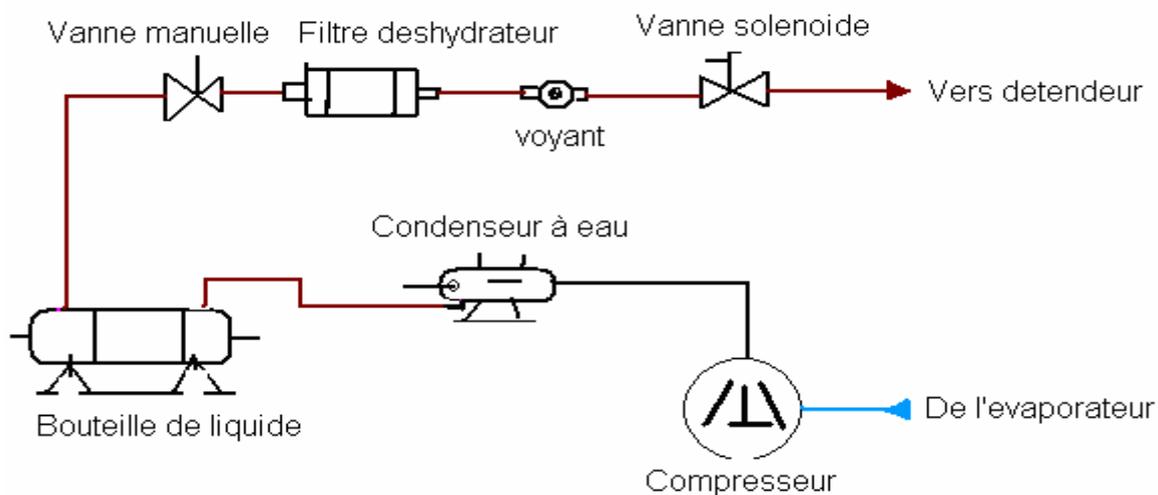


Figure 29: Schéma simplifié de l'installation

Ce figure nous montre que le fluide passe par quelques éléments de circuits, ces derniers provoquent une perte de charge.

- ❖ Sous l'effet du distributeur de liquide, la valeur de perte de charge au niveau de la bouteille et le voyant peut être négligée au niveau du calcul mais, elle existe pratiquement.
- ❖ Le filtre deshydrateurs entraîne une perte de charge de l'ordre de **0,14 bar**.
- ❖ La vanne manuelle crée une perte de l'ordre de **0,04 bar**.
- ❖ La vanne solénoïde donne une perte de **0,2 bar**.
- ❖ La tuyauterie liquide, du point de vue frottement, la perte de charge est de

$$\Delta P_{liq} = (l_g + l_{eq}) \frac{\lambda}{di} * \frac{\rho}{2} * w^2$$

Avec λ : coefficient de perte de charge répartie sans dimension

Application numérique :

$$\lambda = 0,03$$

$$\Delta P_{liq} = (20 + 30) * \frac{0,03}{0,025} * \frac{973,691}{2} * 1,21^2 = 42767,43 Pa, \text{ soit } \Delta P_{liq} = \mathbf{0,4221 bar}$$

❖ Pour vaincre la pesanteur, la partie ascendante du liquide subit une perte de charge

$$\Delta P_{asc} = h_{asc} * \rho * g \quad \text{avec } h_{asc} : \text{ la hauteur ascendante de la ligne liquide}$$

Application numérique : $h_{asc} = 5m$ $g = 9,81m/s$

$$\Delta P_{asc} = 5 * 973,691 * 9,81 = 47759,54 Pa$$

$$\Delta P_{asc} = \mathbf{0,4714 bar}$$

❖ Le distributeur de liquide provoque une perte de charge de l'ordre de **0,5 bar**.

En résumé, la pression en amont du détendeur donc juste avant que le fluide frigorigène liquide ne pénètre dedans est $P_{amont} = P - \sum \Delta P$

$$P_{amont} = 17,54 - (0,14 + 0,04 + 0,2 + 0,4221 + 0,4714) = 16,2665 bar$$

$$P_{amont} = \mathbf{16,2665 bar}$$

La valeur de pression qui règne après le détendeur par la méthode d'interpolation.

D'après le tableau de saturation en R404A, $T_{evap} = 1,6^\circ C$

Tableau 30 : Extrait de saturation R 404A

T_{evap} [°C]	Pression [bar]
0	6,0841
1,6	P_a
5	7,1084

Par interpolation, $P_a = 6,4107 bars$

Comme la perte de charge du distributeur de liquide et ses tubes de distribution est égale à 0,5 bar. La pression qui doit régner à la sortie du détendeur doit être $P_{aval} = P_a + 0,5$.

$$P_{aval} = 6,4107 + 0,5 = 6,9107 bars$$

En définitive, le détendeur doit assurer une chute de pression $\Delta P = P_{amont} - P_{aval}$

$$\Delta P = \mathbf{16,2665 - 6,9107 = 9,3558 bar}$$

I.IV.5.2. Détermination de la capacité nominale du détendeur (Q_n)

$Q_n = Q_{0eff} * k_{\Delta P} * k_p$. Avec $k_{\Delta P}, k_p$: facteur de correction

❖ Détermination de $k_{\Delta P}$

Tableau 31: Facteur de correction

ΔP [bar]	$k_{\Delta P}$
9	1,07
9,3558	$k_{\Delta P}$
11	0,97

$k_{\Delta P} = 1,052$

❖ Détermination du facteur de correction k_p

Par une double interpolation, la température à l'entrée du détendeur

$T_{det} = T_{cond} - (sous - refroidissement)$.

Application numérique $T_{det} = 38,5 - 5 = 33,5^\circ C$

Dans ce même tableau, chercher une température de $33,5^\circ C$

Tableau 32 : Facteur de correction

Température à l'entrée du détendeur [$^\circ C$]	Température d'évaporation [$^\circ C$]	
	0	5
30	0,88	0,90
33,5	k_{p1}	k_{p2}
35	0,93	0,97

On trouve $k_{p1} = 0,915$
 $k_{p2} = 0,949$

En se rapportant à notre $T_{evap} = 1,6^\circ C$

Tableau 33 : Facteur de correction

Température à l'entrée du détendeur [°C]	Température d'évaporation [°C]		
	0	1,6	5
33,5	0,915	k_p	0,949

$$k_p = 0,93$$

La capacité nominale du détendeur à sélectionner est
 $Q_n = 67,932 * 0,93 * 1,052$ $Q_n = 66,462 \text{ kW}$

En réalité, la puissance corrigée au niveau du condenseur est
 $Q_{cor} = 67,932 * 1,052 * 0,93$, $Q_{cor} = 66,462 \text{ kW}$

En se rapportant au catalogue du fabricant, le modèle 2006 du **DANFOSS** propose le **TES 55-37** qui a pour capacité nominale 130 kW.



Figure 30: Détendeur thermostatique à égalisation externe

- ❖ Raccordement (interchangeable) :
 - entrée 1 1/8" ou 26,03*28,575mm
 - Sortie 1 3/8 ou 32,13*34,925mm

Chapitre II. CONCEPTION D'UN REFROIDISSEUR DE JUS

Pour l'industrie agroalimentaire, du point de vue production, il existe plusieurs types de refroidisseur. Ces derniers se différencient en fonction de leur besoin d'utilisation et de leurs caractéristiques techniques. Nous pouvons citer quelques types qui sont parmi les plus appliqués actuellement :

- ❖ Refroidissement par air pulsé
- ❖ Refroidissement par système clos
- ❖ Refroidissement par le vide
- ❖ Brumisation
- ❖ Refroidissement par eau de glace ou par bain d'eau douce...

Dans notre projet, nous proposons le type de refroidisseur à système clos c'est-à-dire, celui du tunnel qui est alimenté par un évaporateur à serpentin. Ce prototype de refroidisseur nous permet d'avoir un meilleur rendement à cause de ses caractéristiques suivantes : facile à maintenir, rapide, simple, et présente la moindre consommation d'énergie.

II.1. PRESENTATION DU REFROIDISSEUR

Dimension extérieure du tunnel

Profondeur : 3m

Largeur : 0.4m

Hauteur : 0.5m



Figure 31: Schéma du prototype de refroidisseur

II.II.DIMENSIONNEMENT DU REFROIDISSEUR

II.II.1.LA CONDUITE DU JUS

Notons que notre conduite est rectiligne et uniforme dans le tunnel.

Hypothèse : admettons que, notre but est de refroidir 200 litres de jus pendant 15 minutes.

Le débit volumique dans la conduite est donc de Q_v , $Q_v = \frac{200l}{15 * 60s} = 0.22 \frac{l}{s}$ soit

$$Q_v = 0.80m^3/h$$

II.II.1.1.Caractéristique de l'écoulement

Pour prendre d'avantage au niveau du perte de charge, nous prenons dans tous les calculs que l'écoulement du jus dans la conduite est conservatif ($Q_v = \text{constante}$).

Pratiquement, pour avoir un meilleur rendement au niveau de la production, nous adoptons le type de conduite en Aluminium sous forme rectangulaire

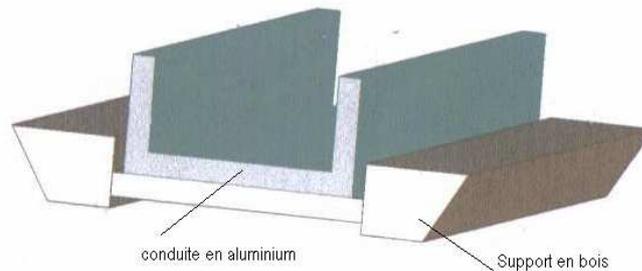


Figure 32: La conduite du jus en aluminium

II.II.1.2. Calcul de la vitesse d'écoulement à l'entrée de la conduite : w_1

Le débit étant $Q_v = 0.80m^3/h$

$$Q_v = S_m * w_1 \text{ implique } w_1 = \frac{Q_v}{S_m} \text{ avec } S_m : \text{Surface mouillée}$$

Application numérique :

$$S_m = 0.080 * 0.015 = 0.0012m^2$$

$$w_1 = \frac{0.000222}{0.0012} = \mathbf{0.185m/s}$$

II.II.1.3. Calcul de perte de charge dans la conduite

Il est évident que l'évaporation du liquide dans la conduite entraîne une perte ainsi que le frottement. Alors d'après la loi de frottement expérimental, la perte de charge régulière dans la conduite rectangulaire est donnée par :

$$\Delta H_{reg} = \lambda * \frac{l}{h_m} * \frac{w_1^2}{2g}$$

Avec λ : nombre adimensionnelle caractéristique du frottement

l : largeur interne de la conduite

h_m : Hauteur mouillée de la conduite

w_1 : Vitesse d'écoulement

Application numérique :

$$g=10\text{m/s}^2, l=0.08\text{m}, h_m=0.015\text{m},$$

$$\lambda = 64/\text{Re} \text{ cas d'écoulement laminaire Re}=1500$$

$$\Delta H_{reg} = \frac{64}{1500} * \frac{0.08}{0.015} * \frac{0.185^2}{2 * 10} = 3,89 * 10^{-4} \text{m}$$

$$\Delta H_{reg} = 0,389 \text{mm}$$

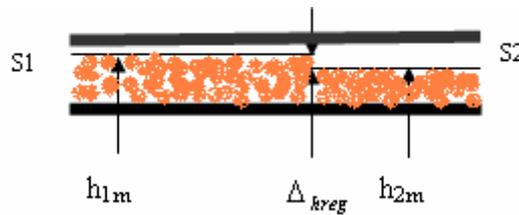


Figure 33 : Charge d'écoulement

II.II.1.4. Calcul de la pente d'écoulement pour avoir la vitesse de 0,185m/s

Vérification de la vitesse d'écoulement à la sortie du tunnel

D'après le paradoxe du VENTURI, satisfaisant au condition d'application du théorème de BERNOULLI : pour toutes sections différentes de la conduite

$$p^* + \frac{1}{2} \rho w^2 = \text{constante}, \text{ et comme l'écoulement est conservatif, le débit volumique se}$$

conserve ($Q_v = \text{constante}$).

$$\left. \begin{array}{l} Q_v = S_m * w \text{ on a } S_1 w_1 = S_2 w_2 \\ Q_1 = S_{1m} * w_1 \\ Q_2 = S_{2m} * w_2 \end{array} \right\} \longrightarrow Q_1 = Q_2$$

$$h_{2m} = h_{1m} - \Delta H_{reg} \quad \text{et} \quad S_{2m} = 1 * h_{2m}$$

Application numérique :

$$h_{2m} = 15 - 0,389 = 14,611 \text{ mm}$$

$$\text{Soit } S_{2m} = 0,014611 * 0,080 = 0,001169 \text{ m}^2$$

Comme $Q_1 = Q_2 \longrightarrow w_2 = \frac{Q_1}{S_{2m}}, w_2 = \frac{0,000222}{0,001169} = 0,189 \text{ m/s}$

Alors, le principe de Bernoulli nous dit que $\frac{1}{2} \rho w^2 + \rho g z + P = \text{constante}$

Pour les deux section amont et aval du tunnel $\frac{1}{2} \rho w_1^2 + \rho g z_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho w_2^2 + \rho g z_2 + P_2$

Or $P_1 = P_2 = P_{atm}$ et $z_2 = 0$ (origine de l'axe)

Alors $z_1 = \frac{1}{2g} * (w_2^2 - w_1^2)$ où $z_1 = \overline{oz_1} = \frac{1}{2 * 10} * (0,189^2 - 0,185^2) = 0,185 \text{ m}$

La pente de la conduite du jus est donc de $\alpha = \text{Arc tan}(\frac{\overline{oz_1}}{L})$

$$\alpha = \text{Arc tan}(\frac{0,185}{3}) = 3,9208^\circ$$

On trouve alors que la vitesse moyenne de l'écoulement traversant le tunnel est

de $w_m = \frac{w_1 + w_2}{2}$ qui est de 0,187 m/s.

II.II.2.LE TUNNEL

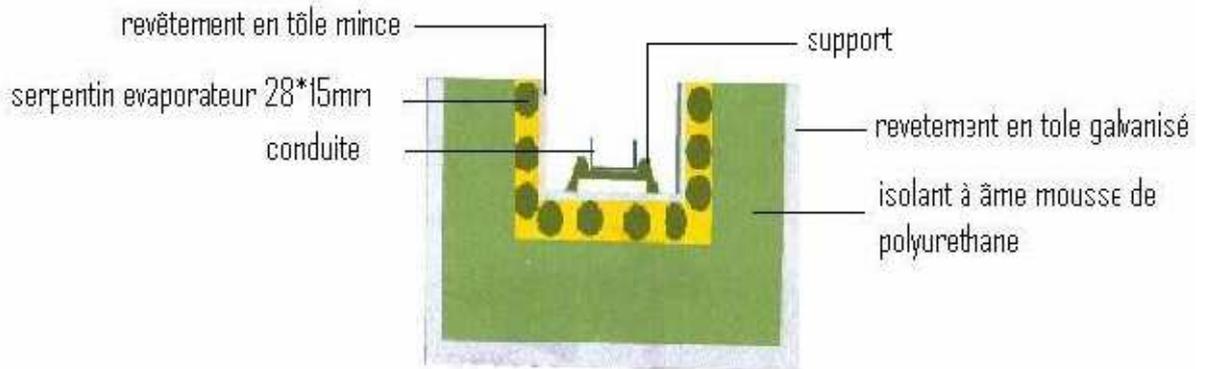


Figure 34 : Coupe en demi vue du tunnel

II.II.2.1. Dimensionnement de l'isolant du tunnel

Notre tunnel étant en température négatif, la déperdition par transmission thermique soit limitée à environ 8 W/m^2 [Formulaire du froid DUNOD édition 2003]

$$\left. \begin{array}{l} T_{amb} = -1^\circ\text{C} \\ T_{ext} = +38^\circ\text{C} \end{array} \right\} \longrightarrow \begin{array}{l} \Delta\theta = T_{ext} - T_{amb} \\ \Delta\theta = 39^\circ\text{C} \end{array}$$

Avec la déperdition thermique recommandée, l'épaisseur de l'isolant du refroidisseur est comprise entre 140 et 150mm. Nous prenons le 150 mm.

Vérification :

Tableau 34 : Déperdition thermique en fonction de la variation de température $\Delta\theta$

$\Delta\theta$ [°C]	Déperdition en KJ/jours rapporté au m ²
35	386
39	D ?
40	451

Par interpolation, on trouve D=438kJ/jours.m². Soit 5,069w/m² ce qui est largement acceptable pour notre conception.

II.II.2.2.Calcul de charge par transmission à travers les parois

Tableau 35 : Coefficient de déperdition en fonction de l'épaisseur de l'isolant

Epaisseur de l'isolant à âme en polyuréthane [mm]	Coefficient de déperdition k [W/m ² K]
130	0,172
150	0.149

$$Q_p = k * S * \Delta\theta \quad \text{Avec } S : \text{surface d'une paroi}$$

k : coefficient de déperdition

$$S = 2[(l_t * h_t) + (p_t * l_t) + (p_t * h_t)] \quad \text{Avec } l_t, p_t, h_t \text{ sont les dimensions du tunnel}$$

Application numérique :

$$S = 2 * [(0,4 * 0,5) + (3 * 0,4) + (3 * 0,5)] = 5,8 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 0,149 * 5,8 * 39 = 33,703 \text{ W}$$

II.II.2.3.Calcul de la puissance frigorifique nécessaire au refroidisseur

$$Q_0 = \frac{m}{t} C_e * \Delta\theta_e$$

Avec m : masse de jus à refroidir

C_e : capacité thermique massique du jus avant congélation

t : temps de refroidissement

$\Delta\theta_e = \theta_e - \theta_s$ soit θ_e : température d'entrée de jus au refroidisseur

θ_s : Température de sortie de jus au refroidisseur

Application numérique :

$$M : 200\text{kg} \quad C_e : 3,81 \text{ kJ/kgK} \quad t : 15 \text{ mn} \quad \theta_e : 95 \text{ }^\circ\text{C} \quad \theta_s : 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_e = 95 - 38 = 57^\circ\text{C}$$

$$Q_0 = \frac{200}{15 * 60} * 3,81 * 57 = 48,26 \text{ kJ/s. Soit } Q_0 = \mathbf{48,26 \text{ kW}}$$

Nous avons le besoin frigorifique $Q_{0e} = Q_0 + Q_p$

$$Q_{0e} = \mathbf{48,26 + 0,033703 = 48,294 \text{ kW}}$$

II.II.3.L'EVAPORATEUR

II.II.3.1.Calcul du serpentín évaporateur

Pour refroidir les jus pasteurisés $+38^\circ\text{C}$, nous avons admis une température d'évaporation de -6°C pour avoir l'ambiance dans le tunnel -1°C . Ce qui nous donne l'écart de température de -6°C à $+38^\circ\text{C}$: $\Delta\theta = +44^\circ\text{C}$

Tableau 36: Coefficient de transmission en fonction température du liquide

Température du liquide $\Delta\theta [^\circ\text{C}]$	Coefficient de transmission k [W/m ² K]
18	90
15	88

Source : Formulaire de froid 12^e édition 2003 pour le liquide non agité mécaniquement.

Dans notre cas $\Delta\theta = +44^\circ\text{C}$, par extrapolation on trouve $k=220 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La surface du serpentín évaporateur est donnée par $S_{evap} = \frac{Q_{0e}}{k * \Delta\theta}$

$$S_{evap} = \frac{48294}{220 * 44} = 4,989 \text{ m}^2.$$

Si nous utilisons le tube en cuivre de section $28 * 25 \text{ mm}$. La surface au mètre de ce tube est donc $s = \pi * d_{ext}$ ou $s = \pi * 0,028$ Soit $s = 0,088 \text{ m}^2$.

La longueur du serpentín évaporateur sera $L_{evap} = \frac{S_{evap}}{s}$,

$$L_{evap} = \frac{4,989}{0,088} = \mathbf{56,693 \text{ m}}$$

II.II.4.COMPRESSEUR

Concernant la puissance du compresseur, nous savons qu'il soit fournir 48,294kW. Le calcul n'étant pas rigoureux, on peut prendre une marge dit de « sécurité » de 10%. Il faudra donc un groupe compresseur ayant une puissance de $48,294 + \frac{10 * 48,294}{100}$. Soit

$$Q_{0eff} = 53,1234KW$$

Condition au fonctionnement :

Liquide frigorigène R404A

Température extérieure ou dans l'usine $T_{ext} = 38^{\circ}C$. Nous adoptons que le taux d'humidité relative à l'intérieur du petit tunnel est de 90%.

Ainsi, d'après la figure (cf. *Ecart de température en fonction de l'humidité relative*)

l'écart entre T_{evap} et T_{amb} doit être égal à 5K.

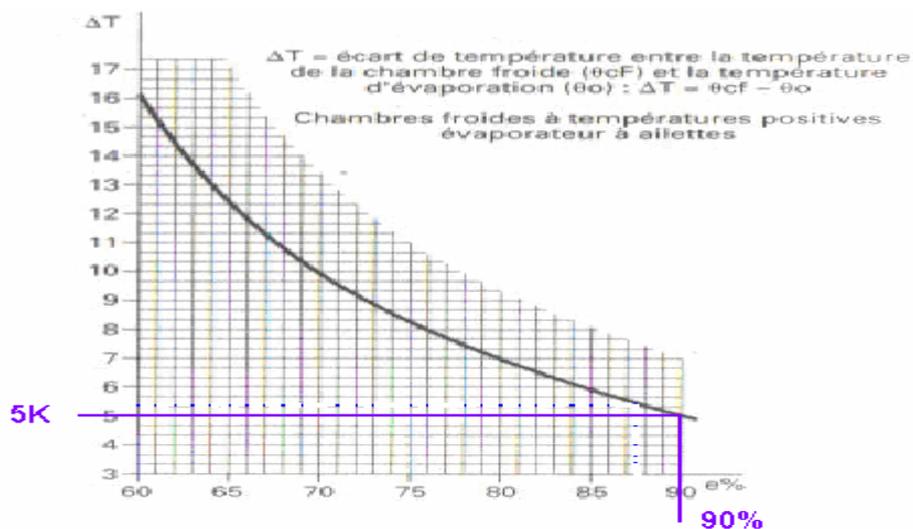


Figure35 : Ecart de température en fonction de l'humidité relative

Pour un condenseur, la différence entre T_{cond} et T_{ext} est de l'ordre de 12 à 15K

Prenons $T_{cond} = 38 + 13,5$ soit $T_{cond} = 51,5^{\circ}C$

Une surchauffe normale est de l'ordre de 3 à 7K. On prend le 7K pour le maximum de fonctionnement.

La valeur de sous refroidissement normal est comprise entre 3 à 5K. On prend le 5K

Vérification de la température de fin de compression ou de refoulement au compresseur

D'après les données suivantes : $Q_{0eff} = 53,1234KW$

$T_{cond} = 51,5^{\circ}C$, $T_{evap} = -6^{\circ}C$, sous refroidissement 5K, ainsi que surchauffe à 7K ;le logiciel SOLKAN 2.0, nous donne des valeurs ci-dessous, tirées du diagramme enthalpique de l'installation :

Tableau 37: Valeurs et caractéristiques du cycle de l'installation d'après SOLKAN 2.0

Points du cycle	Pressions [bar]	Températures [°C]	Volumes massiques [m ³ /kg]	Enthalpies massiques [kJ/kg]
1	4,97	-6	0,03969	362,25
1sup	4,97	1	0,04136	368,85
2	23,77	64,38	0,00828	400,92
2	23,77	70,23	0,00876	408,94
2''	23,77	51,50	0,00695	380,75
3 ''	23,77	51,21	0,00112	279,74
3ssr	23,77	46,21	0,00108	270,59
4	4,97	-6,30	0,01889	270,59

Nous avons donc :

$$T_{evap} = -6^{\circ}C \longrightarrow P_{evap} = 4,97bars$$

$$T_{cond} = 51,5^{\circ}C \longrightarrow P_{cond} = 23,77bars$$

Soit $T_{asp} = T_{evap} + \Delta T_{surchauffe}$: la température de l'aspiration au niveau du compresseur.

$$\text{Soit } T_{asp} = -6 + 7 = 1^{\circ}C$$

$$T_{fc} = T_{asp} * \left(\frac{P_{cond}}{P_{evap}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} : \text{ la température de fin de compression polytropique ou$$

de refoulement

$$T_{fc} = 70,23^{\circ}C = (70,23 + 273) K \text{ soit } T_{fc} = 343,23K$$

$$T_{asp} = 1^{\circ}C = (1 + 273) K \text{ soit } T_{asp} = 274K$$

$$\frac{P_{cond}}{P_{evap}} = \frac{23,77}{4,97} = 4,7827$$

Calcul de l'exposant polytropique γ

En résolvant l'équation : $343,23 = 274 * \left(\frac{23,77}{4,97}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, on trouve $\gamma = 1,16815$

Alors la vraie température au refoulement est :

$$T_{fc} = 274 * \left(\frac{23,77}{4,97}\right)^{\frac{1,16815-1}{1,16815}} = 343,231K. \text{ Soit } T_{fc} = 70,231^{\circ}C, \text{ qui est définie dans}$$

la plage de fonctionnement du R404A, donc notre installation est correcte.

II.II.4.1. Détermination de la puissance absorbée

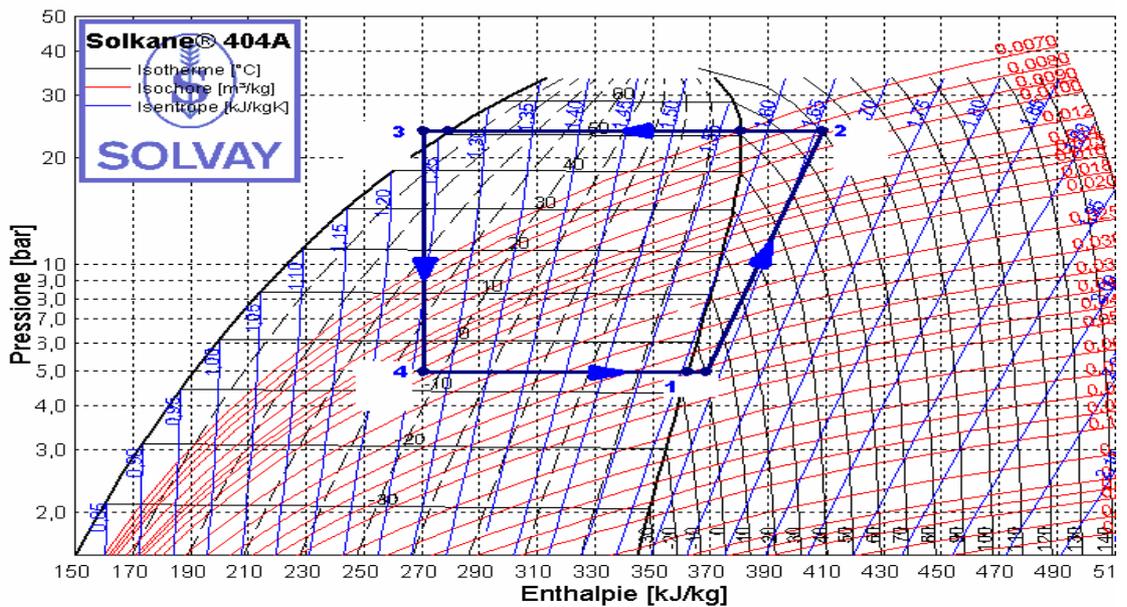


Figure 36: Diagramme enthalpique d'installation

Le diagramme enthalpie du R404A ci-dessus nous donne : $h_1 = 362,25 \text{ kJ/Kg}$, $h_2 = 408,94 \text{ kJ/Kg}$, $h_3 = h_4 = 270,59 \text{ kJ/kg}$, $V_1 = 0,03969 \text{ m}^3 / \text{Kg}$ et $V_2 = 0,00876 \text{ m}^3 / \text{kg}$

Production frigorifique

$$q_{0m} = h_1 - h_4 \qquad q_{0m} = 362,25 - 270,59 = 91,66 \text{ kJ / kg}$$

- Production frigorifique en mètre cube

$$q_{0h} = \frac{h_1 - h_4}{V_1}$$

$$q_{0h} = \frac{91,66}{0,03969} = 2309,398 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

- Travail théorique de compression

$$\Delta\omega = h_2 - h_1$$

$$\Delta\omega = 408,94 - 362,25 = 46,69 \text{ KJ} / \text{kg}$$

- Coefficient de performance

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$\varepsilon = \frac{91,66}{46,69} = 1,9632$$

- Débit massique de fluide

$$q_{mth} = \frac{Q_{0eff}}{h_1 - h_4}$$

$$q_{mth} = \frac{53,1234}{91,66} = 0,5796 \text{ kg} / \text{s}$$

- Volume aspiré

$$V_{th} = q_{mth} * V_1$$

$$V_{th} = 0,5796 * 0,03969 = 0,0230 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Puissance absorbée théorique

$$P_{th} = q_{mth} * (h_2 - h_1)$$

$$P_{th} = 0,5796 * 46,69 = 27,0615 \text{ kW}$$

- Rendement volumétrique

$$\eta_v = 1 - 0,05 * \frac{P_{cond}}{P_{evap}}$$

$$\eta_v = 1 - 0,05 * \frac{23,77}{4,97} = 0,7609$$

- Volume balayé

$$V_b = \frac{V_{th}}{2}$$

$$V_b = \frac{0,0230}{2} = 0,0115 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V_b = 41,40 \text{ m}^3 / \text{h}$$

- Puissance réelle absorbée

Pour une nouvelle machine, on estime le rendement à 75%, $\eta_m = 0,75$

$$P = P_{th} * \frac{1}{\eta_m} * \frac{1}{\eta_v}$$

$$P = 27,0615 * \frac{1}{0,75} * \frac{1}{0,7509} = 48,0517 \text{ kW}$$

D'après la condition au fonctionnement, le catalogue 2006 du **COPELAND** propose le compresseur hermétique accessible de modèle **D4 DH-250X** qui est capable de supporter le besoin frigorifique de l'installation avec leurs caractéristiques techniques suivantes :

- Production frigorifique : 55 ,92KW, puissance du moteur 25Cv
- Volume balayé : 70,8m³/h
- Alimentation :

- 400v/triphasé/50Hz
 - $I_{\max}=34A$
- Raccordement
 - Aspiration : 21/8''
 - Refoulement : 11/8''
 - Charge d'huile : 4dm³
- Poids brut :225Kg



Figure 37: Compresseur

II.II.5.CONDENSEUR

II.II.5.1.La puissance requise au condenseur

$$Q_k = Q_{0eff} + P \quad , \quad Q_k = 53,1234 + 48,0517 = 101,1751 \text{ kW}$$

Condition au fonctionnement

Puissance totale 101,1751 kW

Température extérieure 25°C

Température de condensation 51,5°C

D'après ces paramètres de fonctionnement, le catalogue publié par **BITZER** en 2006 propose **le condenseur à eau** multitubulaire de modèle **K1053H-4** qui a pour caractéristiques suivantes :

- ❖ Puissance calorifique : 107,5kW
- ❖ Débit d'eau : 11,56 m³/h
- ❖ Voyant monté en standard
- ❖ Raccord fluide frigorigène :
 - Entrée : 1''5/8 Sortie : 1''3/8
- ❖ Circuit eau :
 - ❖ Entrée : G1''1/4 Sortie : G1''1/4
 - ❖ Entrée condenseur : raccord rotalock / manchon à braser avec bride

- ❖ Sortie condenseur : vanne d'arrêt
- ❖ Raccord rotalock pour soupape : intérieur 3/8" -18NPTF
- ❖ Dimension : L*I*h=1634*245*311
- ❖ Poids net : 87kg:
- ❖ Pressions / températures maxi admissible :
- ❖ Côté fluide frigorigène : 28 bar - de -10°C à +120°C
- ❖ Côté fluide caloporteur : 10 bar - de -10°C (avec antigel) à +95°C



Figure 38: Condenseur à eau

II.II.6.TUYAUTERIE

Valeur normalisée pour la perte de charge

- ❖ Aspiration 1 à 2 K
- ❖ Refoulement 1à 2 K
- ❖ Tuyauterie liquide 0,5 K

Valeur normalisée pour la vitesse d'écoulement

- ❖ Aspiration 6 à 12 m/s
- ❖ Refoulement 6 à 15 m/s
- ❖ Tuyauterie de liquide 0,3 à 1,2 m/s

II.II.6.1.La tuyauterie d'aspiration

Longueur géométrique : $l_g = 12m$

Longueur équivalente : $l_{eq} = l_g + 30\%$

Comme l'**aspiration** comporte peu de singularité $l_{eq} = 15,6m$.

D'après le monogramme d'une tuyauterie, on trouve **42*1,5** mm avec la perte de charge réelle de 1,75 K.

Vérification de la vitesse d'écoulement

$$w = \frac{4}{\pi} * \frac{Q_{0eff}}{(h_1 - h_4)\rho * di^2}$$

$$\rho = \frac{1}{V_1}$$

Application numérique :

$$\rho = \frac{1}{0,03969} = 25,1952 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad di = 0,042 - 2 * 1,5 = 0,039 \text{ m}$$

$$w = 19,26 \text{ m} / \text{s} \geq w_{adm} = 12 \text{ m} / \text{s} , \text{ il faut choisir le tuyau dont la}$$

dimension est supérieure à 42*1,5. Prenons comme l'aspiration le 54*2 mm

Vérification de la vitesse d'écoulement

Application numérique :

$$di = 0,054 - 2 * 2 = 0,050 \text{ m}$$

$$w = \frac{4}{\pi} * \frac{53,1234}{91,66 * 25,191 * (0,050)^2} = 11,72 \text{ m}$$

$$w = 11,72 \text{ m} / \text{s} \leq w_{adm}$$

On peut prendre pour **l'aspiration le 54*2mm**, la perte de charge réelle est de 0,56 K.

11. II.6.2. La tuyauterie de refoulement

La longueur géométrique est de $l_g = 7 \text{ m}$

Comme le refoulement comporte peu de singularité d'où $l_{eq} = l_g + 30\%$, $l_{eq} = 9,1 \text{ m}$

Pour le refoulement la perte de charge admissible égale 1K.

En consultant le monogramme de la tuyauterie en cuivre pour le R404A, on trouve 42*1,5mm.

Vérification de la vitesse d'écoulement

$$w = \frac{4Q_{0eff}}{\pi(h_1 - h_4)\rho * di^2} \quad \rho = \frac{1}{V_2}$$

Application numérique :

$$di = 0,042 - 2 * 1,5 = 0,039 \text{ m} \quad \rho = \frac{1}{0,00876} = 114,1553 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$w = 4,25m/s$, qui est largement faible par rapport à la vitesse admissible de $6m/s \leq w_{adm} \leq 15m/s$. On prend le $35*1,5$ mm comme refoulement.

Vérification de la vitesse d'écoulement

Application numérique :

$$di = 0,035 - 2 * 1,5 = 0,032m$$

$$w = \frac{4 * 53,1234}{\pi * (362,25 - 270,59) * 114,1553 * 0,032^2} = 6,3127m/s ,$$

Pour le **refoulement**, le tuyau est **35*1,5mm**, la perte de charge réelle est de 0,9K

II.II.6.3.Tuyauterie de liquide

$l_g = 16m$. Comme la tuyauterie liquide comporte beaucoup de singularité $l_{eq} = l_g + 50\% = 16 + 16 * 50 / 100 = 24m$. En consultant le monogramme de tuyauterie en cuivre pour le liquide ; on trouve le $28*1,5$ mm. La vraie perte de charge correspondante est de 0, 26K.

Vérification de la vitesse d'écoulement

$$w = \frac{4Q_{0eff}}{\pi(h_1 - h_4)\rho * di^2}$$

Application numérique :

$$di = 0,025m$$

La pression de condensation est de 23,77 bars et dans la table de saturation de R404A, on a comme masse volumique correspondante $\rho = 924,09kg/m^3$

$w = 1,28m/s \geq 1,2m/s$.On prend le $35*1,5$ mm pour la tuyauterie liquide, la vraie perte de charge est de 0,65 K.

Vérification du vitesse d'écoulement

$$w = \frac{4Q_{0eff}}{\pi(h_1 - h_4)\rho * di^2}$$

Application numérique :

$$di = 35 - 2 * 1,5 = 32mm$$

$$w = \frac{4 * 53,1234}{\pi * 91,66 * 924,09 * 0,032^2} = 0,7798m/s . \text{ Cette dimension}$$

est acceptable.

II.II.7. DETENDEUR

La tuyauterie de liquide comporte jusqu'à l'amont du détendeur

- ❖ Un filtre deshydrateurs
- ❖ Robinet d'isolement manuel en amont et en aval
- ❖ Un voyant indicateur d'humidité
- ❖ Un robinet solénoïde

L'évaporateur est alimenté par un distributeur liquide.

La perte de charge au niveau du distributeur est d'environ **0,5 bar**

$$Q_n = Q_{0eff} * k_{\Delta P} * k_p$$

$$\Delta P = P_{amont} - P_{aval}$$

La pression en amont du détendeur égale la pression à la sortie du condenseur (sous refroidissement).

Pour le filtre deshydrateurs, il provoque la perte de **0,14 bar** (valeur adoptée indépendamment du constructeur)

Pour chaque robinet manuel de barrage à nets d'isolement, la perte de charge est de l'ordre de **0.04 à 0.05bar**. On prend le 0.04bar pour notre installation classée de moyenne puissance.

Le voyant indicateur d'humidité n'entraîne pas une perte de charge car il est généralement brassé à ces deux extrémités avec un même diamètre à celui de la tuyauterie liquide.

Le robinet solénoïde provoque une perte de charge de l'ordre de **0,2bar**.

Pour la tuyauterie liquide du point de vue frottement, la perte de charge est donnée

$$\text{par : } \Delta P = (\ell_{eq} + \ell_g) * \frac{\lambda}{di} * \frac{\rho}{2} * w^2$$

λ : Coefficient de perte de charge répartie sans dimension

Application numérique :

$$\Delta P_{liq} = (24+16) * \frac{0,03}{0,032} * \frac{924,09}{2} * 0,7798^2 = \mathbf{10536,15Pa}$$

$$\Delta P_{liq} = \mathbf{0,1039 \text{ bar}}$$

Pour vaincre la pesanteur, la partie ascendante de la tuyauterie liquide subit la perte de charge de $\Delta P = h * \rho * g$ avec h : hauteur ascendante de la ligne liquide

Application numérique :

Avec h=2m.

$$\Delta P_{asc} = 2 * 924,09 * 9,81 = 18130,65Pa$$

$$\Delta P_{asc} = 0,1789 \text{ bar}$$

Connaissant maintenant les différents pertes de charge subissent par le liquide frigorigène dans leur parcours avant d'arriver au détendeur ; la pression en amont de celle-ci est de : $P_{amont} = P_{cond} - \sum \Delta P$.

Application numérique :

$$P_{amont} = 23,77 - (0,5 + 0,14 + 0,05 + 0,2 + 0,1039 + 0,1789) = \mathbf{22,5972 \text{ bars}}$$

Il s'agit à présent de déterminer la pression qui règne en aval du détendeur. Notre T_{evap} est de $-6^{\circ}C$; alors, la table caractéristique thermodynamique du R404A nous indique que la pression correspondante à la saturation est de 5,0192bars. Et comme la perte de charge du distributeur de liquide avec ses tubes de distribution est égale à 0,5bar. C'est donc la vraie pression qui doit régner à la sortie du détendeur doit être égale à $P_{aval} = 5,0192 - 0,5$.

Soit $P_{aval} = 4,5192 \text{ bars}$. En définitive, le détendeur doit assurer une chute de pression égale à

$$\Delta P = P_{amont} - P_{aval}, \quad \Delta P = 22,5972 - 4,5192 = \mathbf{18,078 \text{ bars}}$$

II.II.7.1. La capacité nominale du détendeur

La capacité nominale du détendeur est calculée à partir de $Q_n = Q_{0eff} * k_{\Delta P} * k_p$

❖ Détermination de facteur de correction $k_{\Delta P}$ et k_p .

Par méthode d'interpolation :

Tableau 38 : Facteur de correction

$\Delta P [bar]$	Facteur de correction $k_{\Delta P}$
18	0,58
18,078	$k_{\Delta P}$
19	0,57

$$k_{\Delta P} = 0,5792$$

❖ Détermination du facteur de correction k_p

Par une double interpolation, la température à l'entrée du détendeur est : $T_{det} = T_{cond} - (sous - refroidissement)$, $T_{det} = 51,5 - 5 = 46,5^{\circ}C$

Dans ce même tableau, chercher une température de $46,5^{\circ}C$

Tableau39 : Facteur de correction

Température à l'entrée du détendeur [$^{\circ}C$]	Température d'évaporation [$^{\circ}C$]	
	-10	-5
45	1,17	1,15
46,5	k_{p2}	k_{p1}
50	1,26	1,23

On trouve $k_{p1} = 1,174$
 $k_{p2} = 1,194$

En se rapportant à notre $T_{evap} = -6^{\circ}C$

Tableau 40 : Facteur de correction

Température à l'entrée du détendeur [$^{\circ}C$]	Température d'évaporation [$^{\circ}C$]		
	-10	-6	-5
46,5	1,174	k_p	1,194

D'où $k_p = 1,178$

La capacité nominale du détendeur à sélectionner est :

$$Q_n = 53,1234 * 1,178 * 0,5792 = 36,2459kW$$

En se rapportant au catalogue 2006 du DANFOSS, on trouve le modèle du détendeur à égalisation externe **TE 5** dont sa capacité nominale est de 36,3 kW

❖ Raccordement :

- Entrée 5/8 ou 13,84*15,875mm
- Sortie : 7/8 ou 19,94*22,225mm



Figure 39: Détendeur thermostatique

II.III.SCHEMAS FLUIDIQUE DE L'INSTALLATION [24]

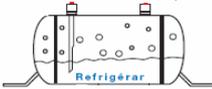
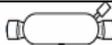
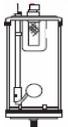
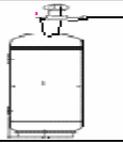
On entend par schéma fluide, la représentation graphique d'une installation frigorifique ; y compris tous les composants pour leur bon fonctionnement.

En voici ces éléments :

Tableau 41 : Composants frigorifiques principaux

DESIGNATIONS	FIGURES
Evaporateur	
Condenseur à eau	
Compresseur	
Détendeur thermostatique à égalisation externe	

Tableau 42 : Composants secondaires

DESIGNATIONS	FIGURES
Filtre deshydrateurs	
Voyant indicateur d'humidité	
Bulbe du détendeur	
Vanne de service (manuel)	
Bouteille de liquide	
Pressostat différentiel d'huile	
Variateur de vitesse	
Thermostat d'ambiance	
Prise de pression ou régulateur de pression (Aspiration/Refoulement)	
Filtre d'aspiration	
Séparateur d'huile	
Pressostat BP HP	
Bouteille anti-coup de liquide	
Vanne solénoïde (régulateur pompe down)	
Générateur d'azote	
Distributeur de liquide	

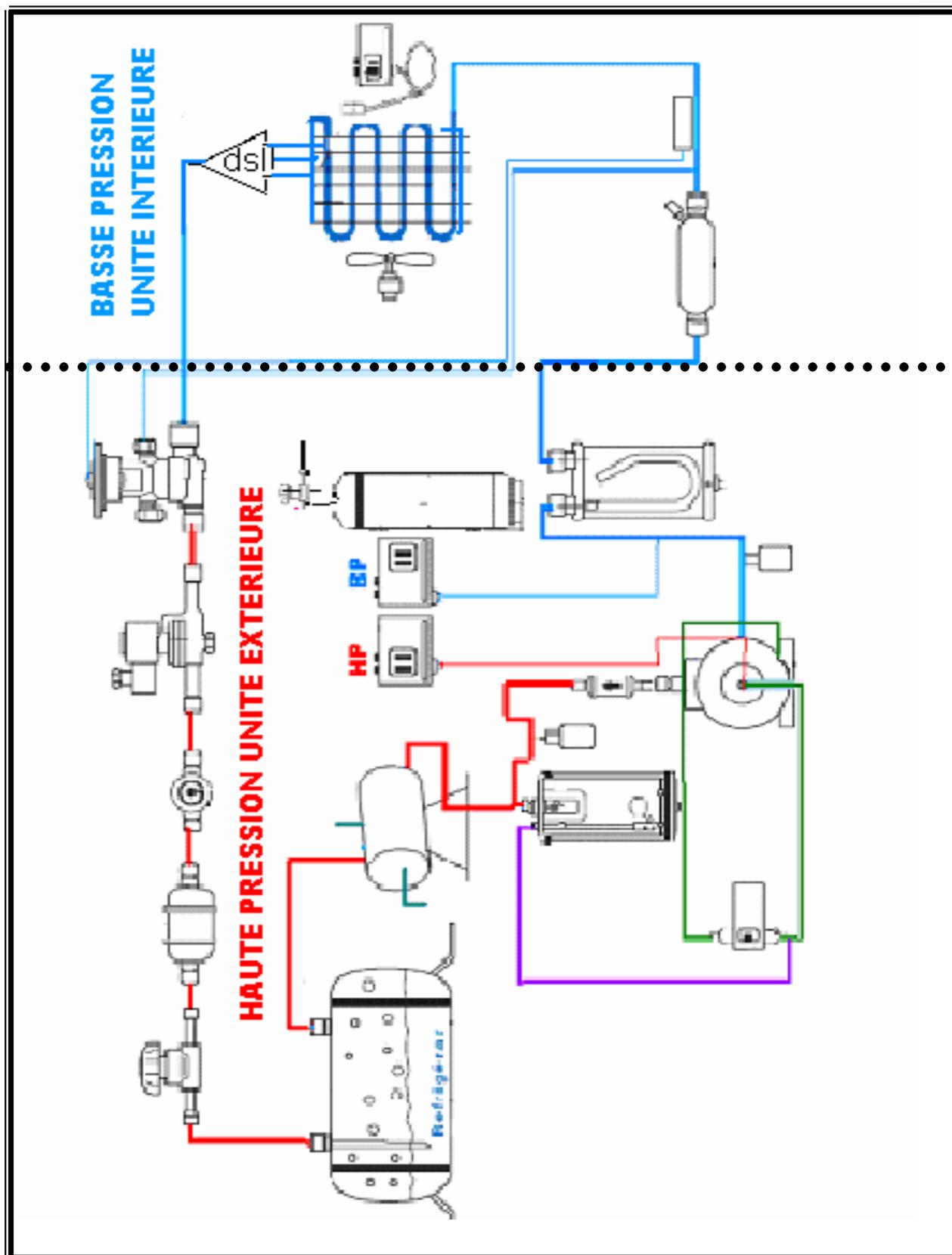


Figure 40 : Schéma fluide pour le centre fruitier

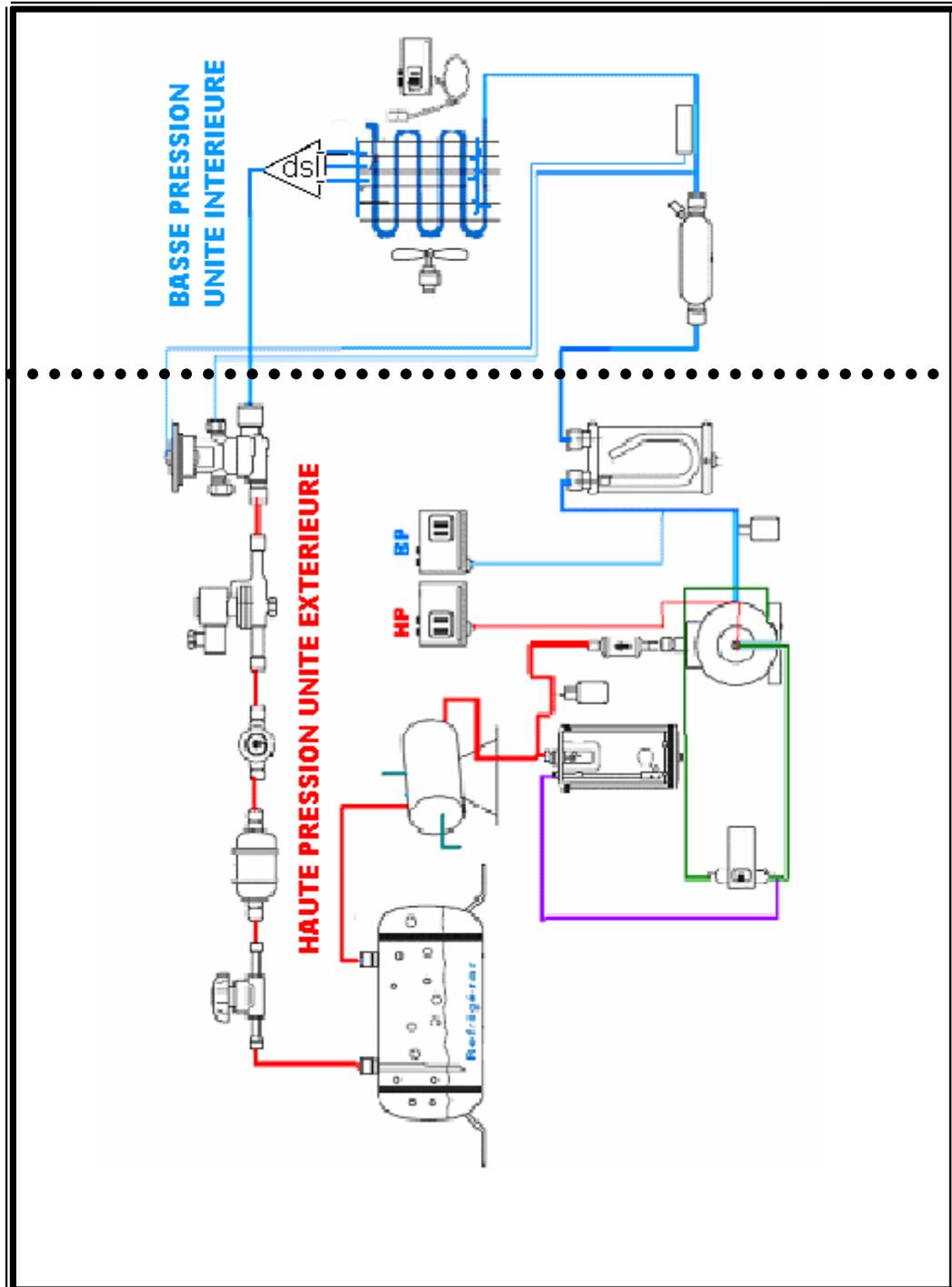
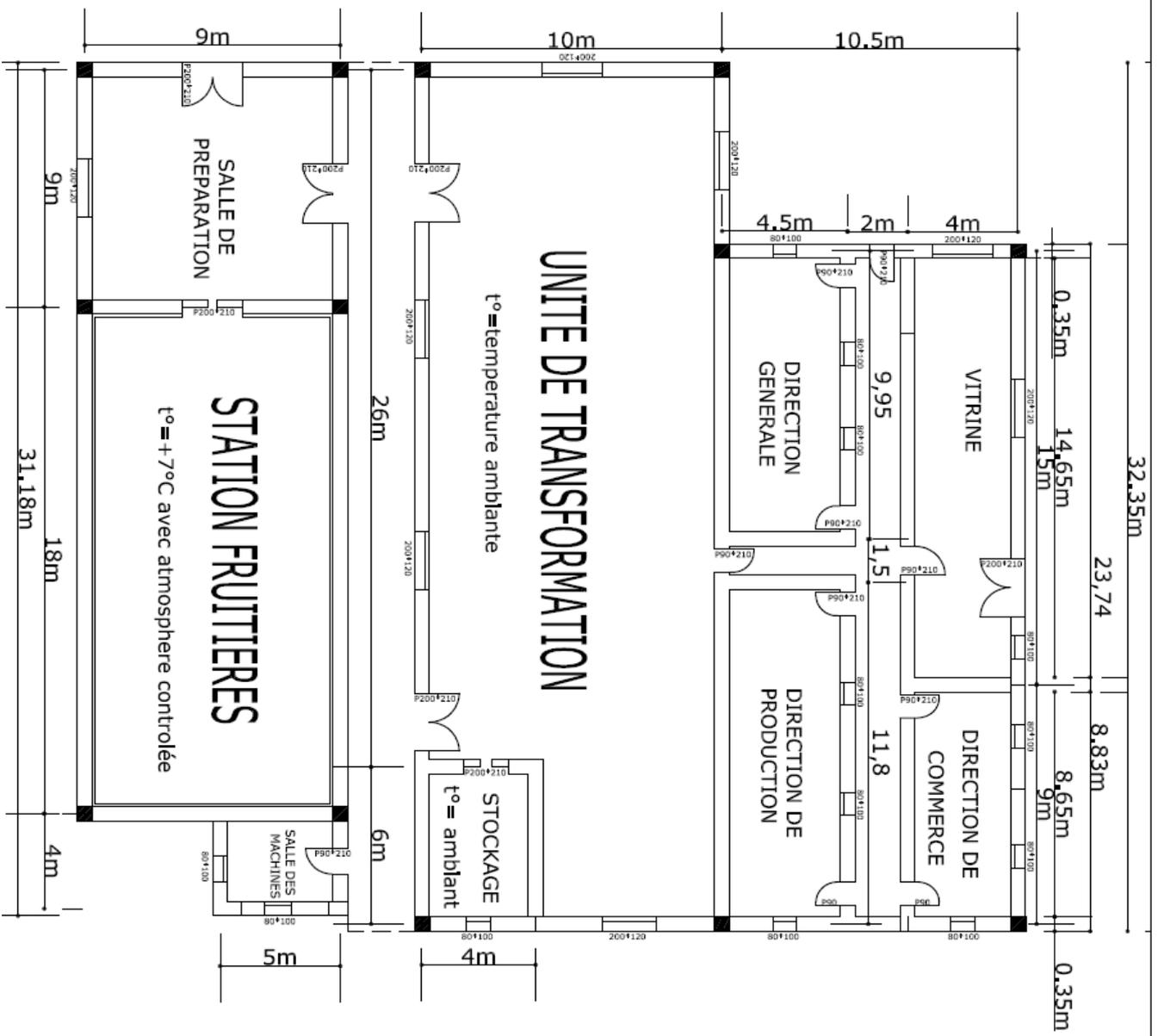
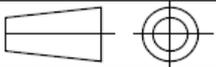


Figure41: Schéma fluide pour le tunnel

PARTIE IV: EVALUATIONS DU PROJET



PLAN DE L'USINE	E.S.P.A	Echelle 1/200
	HAINGO	
	P.01	22-01-07

Chapitre I : ETUDE ECONOMIQUE DU PROJET

I.I.LES CHARGES D'INVESTISSEMENT

L'étude économique consiste à chercher la rentabilité du projet en se basant sur l'évaluation du coût d'investissement. Ce dernier correspond à la somme des différentes charges d'investissement. C'est-à-dire l'investissement en limite des unités de production représente une des composantes de coût total des investissements.

Pour notre projet, conception d'usine de transformation ; nombreux éléments constituent cet investissement en limite des unités de production.

L'étude économique du projet contient de référence normalisée. Cette référence peut être modifié en fonction de la taille et caractéristique du projet.

Tableau 43 : Structure moyenne d'investissement en limites des unités de production

30	30
80	40
70	120
70	70
100	100

1- Structure de référence

2-Structure adoptée pour notre projet

Cette structure comporte, partant de bas en haut :

- **Les principaux matériels** : sont les équipements d'installation dans l'unité de stockage et de transformation.
- **Les matériels secondaires** : représentent les équipements complémentaires pour faire exister l'usine.
- **Montage** : englobe tout les frais de construction (génie civil)
- **Les frais indirect de chantier** : comportent les différents types de préparations sur la mise en œuvre du projet (bâtiment provisoire, assurance...).

- **L'imprévu** : encombre tous les petits œuvres à remplir les besoins.

D'après le relevé de prix concernant les différents matériels principaux frigorifiques que ce soit pour la conservation ou la transformation (annexe), nous avons les coûts suivant :

Coût des matériels principaux $C_m = \text{Ar } 167\ 617\ 900$

Maintenant, la structure de référence de notre projet permet de chiffrer les autres éléments de l'investissement en limites des unités de production comme suit :

Tableau 44: Investissement en limite des unités de production

Désignation	Calibrage	Montant [Ariary]
Matériels principaux	100	167 617 900
Matériels secondaires	70	117 332 500
Montage	120	201 141 500
Frais indirect au chantier	40	67 047 160
Imprévu	30	50 285 370
Total des investissements en limite des unités de production : I_1		603 424 400

- **Les autres charges d'investissement**

La méthode empirique, sans démonstration ; mais fonction de l'expérience vécue dans l'usine. Ce principe fixe les coefficients corrélant I_1 aux autres charges.

- *Les installations générales et stockage : I_2*

Pour l'industrie classée dans la « grande chimie », y compris l'agroalimentaire :

$$I_2 = 0,35I_1$$

$I_2 = \text{Ar.}211\ 198\ 600$. On pourrait évaluer maintenant que « l'investissement usine » de notre projet s'élève à $I_u = I_1 + I_2$ ou $I_u = \text{Ar } 814\ 623\ 000$

- *Le frais d'Engineering : I_3*

Il est estimé à 0.1 à 0.2 I_u , nous prenons dans notre cas 0. I_u .

$$I_3 = \text{Ar } 81\ 462\ 300$$

Le stock de pièce de rechange I_4

Cette charge est supposée nulle pour l'industrie du pays en voie de développement (cas de Madagascar).

- *Le frais de contracter I_5*

Négligeable devant les autres charges.

- *Les charges initiales I_6*

Charge pour ne pas tourner les machines à vide. En principe, cette charge appartient au fond de roulement de l'usine, mais on peut l'estimer à $I_6 = \text{Ar } 4\,000\,000$

- *Les intérêts intercalaires I_7*

Dépenses entre la décision de construction et le démarrage effectif de l'usine. I_7 est estimé à 7% du capital fixe.

Le capitale fixe de l'usine : CF

$CF = I_u + I_3 + I_4 + I_5$. On a $CF = \text{Ar } 896\,085\,300$. Donc on a $I_7 = \text{Ar } 62\,725\,970$

- *Le frais de démarrage : I_8*

$I_8 = 1$ à 4 mois des frais opératoires. En générale, I_8 est sensiblement équivalent à la moitié du besoin en fond de roulement.

- *Besoin en fond de roulement : FR*

Pour les industries agroalimentaires, plus précisément l'usine des fruits ; le fond de roulement représente environ le 12% du chiffre d'affaire prévisionnel $[CA]$.

Tableau 45: Chiffre d'affaires

Désignations	Production annuelle en Tonnes [T]	Prix de vente en [Ariary]	TOTAL [Ariary]
<i>Produits destinés aux marchés locaux</i>			
Mangues fraîches	600	1 000 000	600000000
Ananas frais	40	600 000	24000000
Pur jus	0,4	2 400 000	960000
A base de concentration	60	1 800 000	108000000
Nectar	100	1 500 000	150000000
Confiture	0,15	5 000 000	750000
Marmelade	0,1	6 000 000	600000
Gelé	0,05	7 000 000	350000
<i>Produits destinés aux marchés extérieurs</i>			
Mangues fraîches	8	10 000 000	80000000
Ananas frais	4	5 000 000	20000000
Pur jus	0,2	15 000 000	3000000
A base de concentration	4	12 000 000	48000000
Nectar	7	11 000 000	77000000
Confiture	0,3	20 000 000	6000000
Marmelade	0,03	20 000 000	600000
Gelée	0,03	25 000 000	750000
TOTALE DE CHIFFRE D'AFFAIRES			1 120 010 000

D'après le calcul voici les différentes charges d'investissement :

Tableau 46: Coûts d'investissement

Désignation	Montant en Ariary
I ₁	603 424 400
I ₂	211 198 600
I ₃	81 462 300
I ₄ et I ₅	négligeables
I ₆	4 000 000
I ₇	62 725 970
I ₈	67 200 600
FR	134 401 200
Investissement total	1 164 413 000
(I)	

I. II. LES ELEMENTS DU COUT DE PRODUCTION

Ce sont les coûts nécessaires pour maintenir en marche la production de l'usine.

Le coût de production se repartie en coûts fixes et coûts variables.

I.II.1.LES CHARGES FIXES

Elles comportent les éléments suivants :

- Les charges d'amortissement $\approx 0,04 * I_u$
- Les frais financiers $\approx 20\% * FR$
- Les frais d'entretien $\approx 0,04 * I_u$
- Taxes et assurances $\approx 0,02 * I_u$
- Frais généraux et sièges $\approx 0,01 * I_u$

Ces estimations empiriques nous permettent d'évaluer les résultats suivants :

Tableau 47 : Coûts fixes

Désignations	Montant en Ariary
Amortissement	32 584 920
Frais financiers	26 880 240
Frais d'entretien	32 584 920
Taxes et assurances	16 292 460
Frais généraux et sièges	8 146 230
Total coûts fixes	116 488 800

I.II.2.LES COUTS VARIABLES

Concernant l'usine de transformation des produits alimentaires, y compris les fruits, les charges variables constituent les 80% du coût de production. Soit environ quatre fois les coûts fixes. Ces charges englobent les matières premières, les mains d'œuvres, l'emballage, les différentes utilités ainsi que les frais divers.

Le coût de production qui est la somme de coûts fixes et variables est :

$$C=116\,488\,800*4+116\,488\,800$$

$$C=Ar\,582\,443\,900$$

I.III.CALCUL DE RENTABILITE

La rentabilité est un facteur commun de toutes les activités de production.

Le but majeur d'une entreprise revient à la recherche de bénéfice en échange de la fourniture de biens ou de services.

Bénéfice brute **B** : C'est la différence entre les recettes d'exploitation et le coût opératoire.

$$B=CA-C$$

Application numérique: $B= 1\,120\,010\,000-582\,443\,900$

Soit: $B= Ar\,537\,566\,100$

Bénéfice net après taux d'imposition B_{net} .

Actuellement, le taux d'imposition « a » étant de **30%**.

$$B_{net}= B* (1-a)$$

Application numérique: $B_{net}=537\,566\,100*(1-0,3)$

Soit $B_{net}= Ar\,376\,296\,300$

Le cash flow net (CF) représente le revenu effectif (ressources nettes dégagées par l'investissement) est :

$$CF = B_{net} + Amortissement.$$

$$CF = 376\,296\,300 + 32\,584\,920$$

$$\text{Soit } CF = Ar\,408\,881\,200$$

I.III.1.CALCUL DU POT (Pay Out Time).

Le POT correspond à la durée de l'exploitation nécessaire pour que les revenus dégagés permettent de récupérer le montant de l'investissement.

$$POT = \frac{I}{CF}. \quad \text{Soit } POT = \frac{1164413000}{408881200} = 2,847 \text{ ans. Plus précisément } \mathbf{POT = 2 \text{ ans et } 10}$$

mois.

I.III.2.CALCUL DE VAN (Valeur Actuelle Nette)

La VAN est définie comme la somme des valeurs actuelles des cash flows associés à la réalisation du projet. $VAN = CA - I$

L'actualisation se basera sur le taux moyen utilisé par la banque, soit $i = 18\%$

Supposons que la durée du projet est de 10 ans.

Tableau 48: Valeur actualisée de l'investissement

Années	Cash Flow annuel	Coefficient d'actualisation	CF actualisé	Valeur actualisée de l'investissement
Année0	(1 164 413 000)			(1 164 413 000)
Année1	408 881 200	0,8475	342965003,3	
Année2	408 881 200	0,7182	293658477,8	
Année3	408 881 200	0,6086	248845098,3	
Année4	408 881 200	0,5158	210900923	
Année5	408 881 200	0,4371	178721972,5	
Année6	408 881 200	0,3704	151449596,5	
Année7	408 881 200	0,3139	128347808,7	
Année8	408 881 200	0,266	108762399,2	
Année9	408 881 200	0,2255	92202710,6	
Année10	408 881 200	0,1911	78137197,32	
TOTAL DE CHIFFRES D'AFFAIRES Ar 1 833 991 187				(1 164 413 000)

Donc, le VAN est de $VAN = 1\,833\,991\,187 - 1\,164\,413\,000$. Soit $VAN = Ar\,669\,578\,200$

I.III.3. LE TAUX DE RENTABILITE INTERNE (TRI)

C'est le taux maximal auquel les revenus du projet permettent de rémunérer la capitale investie sans devenir déficitaire.

$$\text{Le TRI est donc solution de l'équation } -I + \sum_{p=1}^{10} \frac{CF}{(1+i)^p} = 0$$

Nous avons **TRI=34 %**

I.III.4.L'INDICE DE PROFITABILITE (IP)

Il représente le rapport entre le Cash Flows actualisé pendant la durée du projet avec l'investissement requis par celle-ci.

$$IP = \frac{\sum_{p=1}^{10} \frac{CF}{(1+i)^p}}{I}$$

$$\text{Soit IP} = \frac{1833991187}{1164413000} = \mathbf{1,575}$$

Nous avons trouvé que les revenus estimés pour le projet permettent un remboursement à délai réduit de l'investissement. Le POT qui est de 2 an et 10 mois soit très loin de la limite du rejet 5 ans.

La VAN ainsi que de l'IP (vision globale de la rentabilité du projet) incluent dans le critère de meilleure sélection : la VAN doit être positive, la valeur de l'IP strictement supérieure à 1.

Le TRI 34 % lui laisse une marge très large pour vaincre l'accroissement du taux bancaire inévitable.

Chapitre II. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

II.I.CONTEXTE ACTUEL [15]

Par définition, l'environnement c'est le milieu dans lequel un organisme fonctionne incluant l'air, la terre, les ressources naturelles, la flore, la faune, les êtres humains et leur interrelation.

L'effet d'installation industrielle entraîne la dégradation de l'environnement. Avant d'entreprendre certain projet le promoteur doit établir en priori l'étude d'impacts environnementaux. A nos jours, il existe plusieurs conventions internationales qui nous conduisent à mieux respecter la norme environnementale.

Les installations de réfrigération et de climatisation présentent des impacts assez analogues: la production de froid étant basée sur les mêmes procédés. Les incidences proviennent essentiellement des pertes de fluides réfrigérants.

Dans notre étude ces fluides sont les HFC (hydrofluorocarbones): de structure analogue mais ne comportant plus de chlore. Inoffensifs pour la couche d'ozone, ils ont néanmoins un pouvoir de contribution important à l'effet de serre et ne constituent donc pas le substitut idéal aux CFC et HCFC.

II.II.IMPACTS NEGATIFS

Les installations de réfrigération et de climatisation ont des incidences sur :

- ❖ L'air
- ❖ Les déchets
- ❖ La santé et la sécurité
- ❖ Le cadre de vie
- ❖ Les biens matériels et le patrimoine

II.II.1. L'AIR

- Le changement climatique et l'ozone stratosphérique dû :

- **Emission de gaz à effet de serre :**

Le pouvoir contributif à l'effet de serre des fluides réfrigérants retenus et les possibilités de substitution de ceux-ci seront vérifiés.

❖ **Emission de gaz pouvant affecter la couche d'ozone :**

L'agressivité vis-à-vis de la couche d'ozone des fluides réfrigérants retenus et les possibilités de substitution de ceux-ci sera vérifiée.

II.II.2.LES DECHETS

Les fluides réfrigérants deviennent des déchets en cas de renouvellement d'installations ou d'évolution de la législation imposant leur remplacement. Ces déchets sont coûteux à éliminer

❖ **Gestion des déchets :**

Les déchets potentiels générés à partir des réfrigérants sont recensés en tenant compte de la durée de vie des équipements, du contexte législatif et des plans de remplacement éventuels. Les modalités d'élimination de ces déchets sont précisées, en vérifiant la qualité des filières retenues.

II.II.3.LA SANTE/SECURITE

❖ **Maladies et accidents :** Les hydrocarbures légers présentent un grand risque d'explosion, ce qui entraîne l'application des mesures de prévention associées à ce type de substances.

II.II.4.LE CADRE DE VIE

❖ **Bruit :**

Les ventilateurs associés aux condenseurs des groupes frigorigènes, placés à l'extérieur des bâtiments, génèrent des nuisances sonores susceptibles de causer une gêne aux habitations voisines. L'auteur de projet localisera ces installations par rapport aux zones habitées. Une modélisation de la dispersion des bruits peut s'avérer nécessaire dans les situations sensibles.

II.II.5.LES BIENS MATERIELS ET LE PATRIMOINE

❖ **Capacité des équipements et infrastructures :**

La conception des bâtiments tiendra compte des apports externes et internes de chaleur au cours des saisons de façon à limiter les besoins de climatisation.

La capacité du réseau de distribution d'électricité à répondre aux besoins du projet sera vérifiée. En ce qui concerne l'énergie électrique, les perturbations en amont seront vérifiées

(facteur de puissance, gestion des pointes quart-horaires). La conception des installations en sera éventuellement modifiée ou des équipements correcteurs prévus.

II.III.IMPACTS POSITIFS

- ❖ L'existence d'usine dans un endroit où il s'installe crée un nouvel emploi pour les gens riverains et apporte des motivations pour les agriculteurs. Elle caractérise la potentialité d'une région ainsi que la nation.
- ❖ Grâce à cette usine la vie des paysans s'améliore: taux de scolarisation augmente, diminution de chômage, le pouvoir d'achat augmente, ainsi elle empêche la migration vers l'autre région...

II.IV.MESURE D'ATTENUATION

Toutes les mesures sont prises pour prévenir les pertes de fluides: tests d'étanchéité, procédures d'entretien, information du personnel,

Les mesures sont prévues en faveur de la prévention des pertes et de la récupération des fluides en fin de vie de l'installation.

- Afin d'assurer une continuité de service pour les installations frigorifiques, les producteurs de liquides frigorigènes ont élaboré des fluides dits « de transition » à base de HCFC comme R124, R124b, R409A qui permettent une conversion du fluide d'origine par un produit à faible action sur la couche d'ozone, et des fluides définitifs à base de HFC (corps purs ou mélanges) comme les R23, R134A, R404A ...sans action sur la couche d'ozone.
- Les ordures doivent être collectées ou enfouies dans un endroit soigneusement choisi.
- Recycler ou traiter les eaux usées.

CONCLUSION GENERALE

Les fruits sont de nature périssables et saisonnière, il est nécessaire d'utiliser les techniques de conservation et de valorisation.

Devant les problèmes cruciaux des arboriculteurs (agriculteurs), on a recours à l'installation d'usine de transformation dans la région productrice. Elle comporte outre la station fruitière en atmosphère contrôlée, qui est plus spécialisée et adaptable à l'entrepôt des fruits frais ; une chambre pour traiter les fruits tels que le tri, emballage et conditionnement de fruits frais ; une unité de transformation nécessaire aux différentes opérations de valorisation des fruits.

La station fruitière atténue les sénescences des fruits, élimine tous les produits portant de telles altérations des fruits, assure le circuit de distribution des fruits frais, augmente leurs durées de vie, et diminue leurs pertes.

D'ailleurs la valorisation des fruits par transformation permet de prolonger l'existence des fruits au-delà de sa saison puis de profiter leurs valeurs nutritionnelles.

De plus, l'usine peut garantir les qualités et les normes de qualité exigé pour les consommateurs. D'où accès au marché surtout international. En effet, la transformation apporte une plus-value inestimable à ces produits mais elle révèle être un moyen de lutter contre la pauvreté.

ANNEXES

ANNEXE1 : Valeurs normalisés pour la conception des chambres froides.

Matériau	Conductivité thermique $\lambda [W / m^2 K]$
Béton de structure avec sable de rivière	1,05
Prédelle en béton sur terre plein	0,15
Barrière d'étanchéité	0,015
Isolant thermique (polystyrène)	0,10
Dalle de compression	0,10
Chappe au mortier	0,05
Carrelage	0,015
Bois (végétaux)	0,12 à 0,23

Résistances thermiques superficielles $\frac{1}{h_i}$ et $\frac{1}{h_e}$ en $m^2.kW$ des parois d'une chambre froides

Coté externe des parois	$\frac{1}{h_i}$	Coté interne des parois	$\frac{1}{h_e}$
Cas où il est en contact avec l'air extérieur	0,03		0,06
Cas où il est en contact avec un autre local	0,12		0,12

Durée moyenne de transit de différents types de marchandises entreposées

Type de porte	Type de marchandise	$d_1 mn / tonne$
Porte à ouverture manuelle	Cas des marchandises palettisées	6
Porte automatique commandé	Cas des marchandises palettisées	0,8

Densités d'entreposage de conserves en chambre froide

Marchandise concernée	$d_e [Kg / m^3]$	Conditionnement
Pommes	350	Caisses
Fruits exotiques (mangue, ananas)	350	Caisses
Compote de fruit	670	Expresso
Jus en générale	600	En fût

Coefficient d'occupation du sol d'une chambre froide en fonction du type d'entreposage de marchandise

Type d'entreposage	η_0
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à faible rotation	0,65 à 0,70
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à rotation rapide	0,50 à 0,60

Chaleur massique de respiration q_{resp} des différentes denrées

Denrées	$q_{resp} [KJ/t.h]$	
	0°C	10°C
Ananas	89	229
Pommes	53	175
Mangues	210	283
Prunes	58	366

ANNEXE 2 : Listes de prix

I- Liste de prix des matériels frigorifiques du « SMEF »

Appareils frigorifiques principaux

DESIGNATION	Prix unitaire en Ariary TTC
Compresseur : puissance de 50 à 100kW D4DT5-2200	25 845 000 à 30 000 000
Evaporateur mural ou plafonnier : puissance de 46 à 100kW LUC 10306	10 000 000 à 12 000 000
Condenseur a air : puissance de 47 à 100 kW W767	15 382 000 à 18 000 000
Détendeur thermostatique à égalisation externe : puissance 46à 80kW TES 12	143 000 à 486 000

b) Appareils secondaires

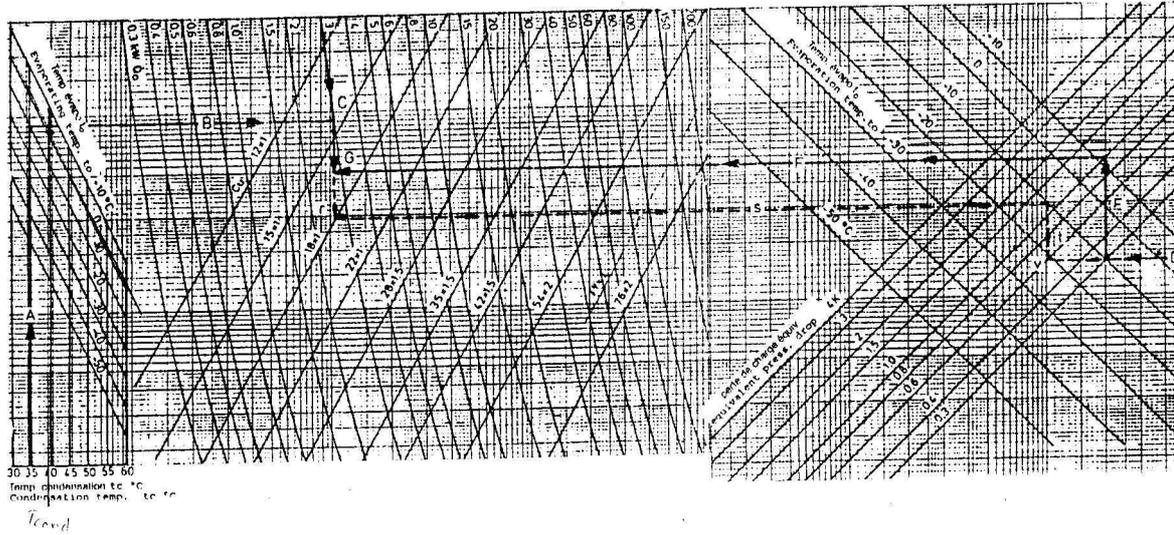
DESIGNATION	Prix unitaire en Ariary TTC
Tuyauterie :	139 300 à 247 000/m
Pressostat	642 000
Thermostat	575 000
Liquide R404A	≤ 663 000

II- Listes de prix non exhaustifs

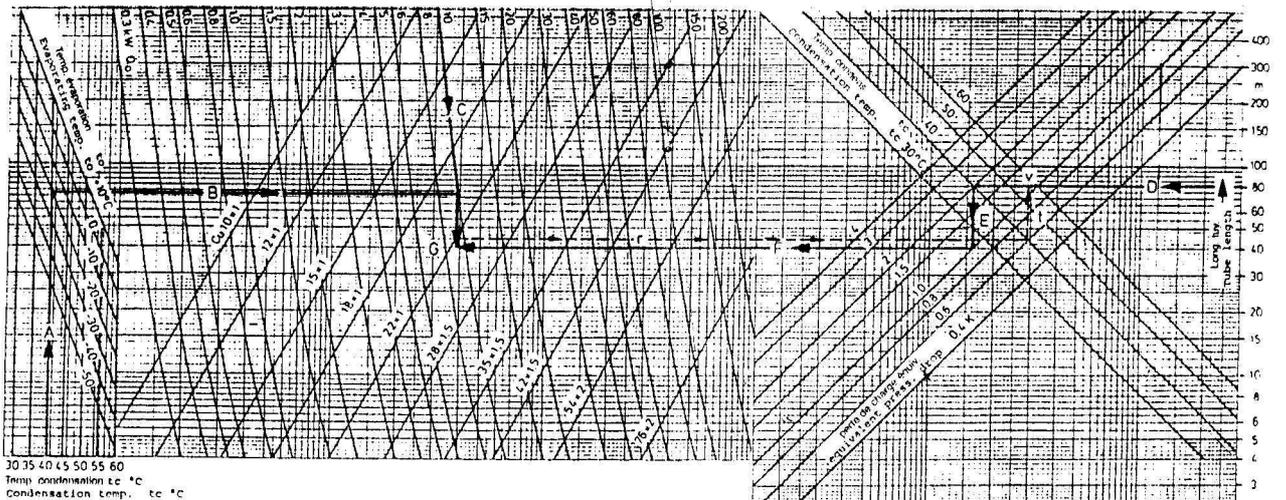
Désignation	Prix unitaire en Ariary TTC
Broyeur	3 536 000
Pressoir	3 822 900
Fût (aluminium et plastique)	800 000 à 7 000000
Chaudière	18 000 000
Camion	20 000 000
Laveur pour fruit	3 0000 à 70 000

ANNEXE 3 : Abaque de dimensionnement de tuyauterie

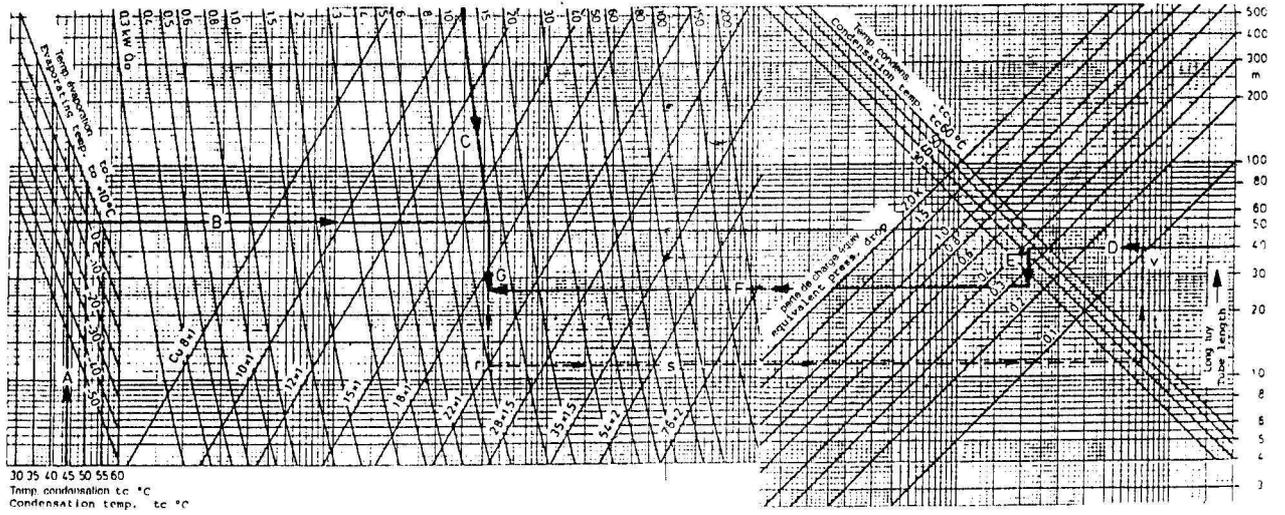
Monogramme de détermination des dimensions d'une tuyauterie d'aspiration en cuivre pour R404A



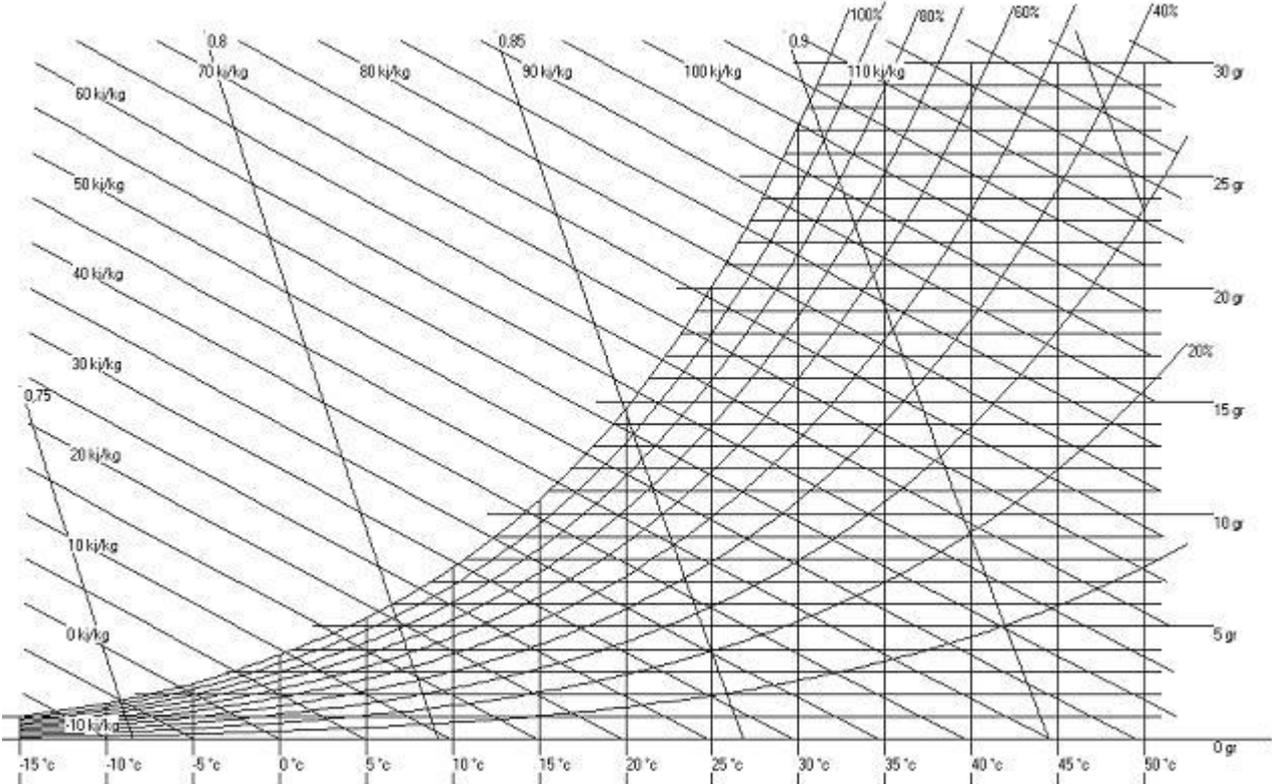
Monogramme de détermination des dimensions d'une tuyauterie de refoulement en cuivre pour R404A



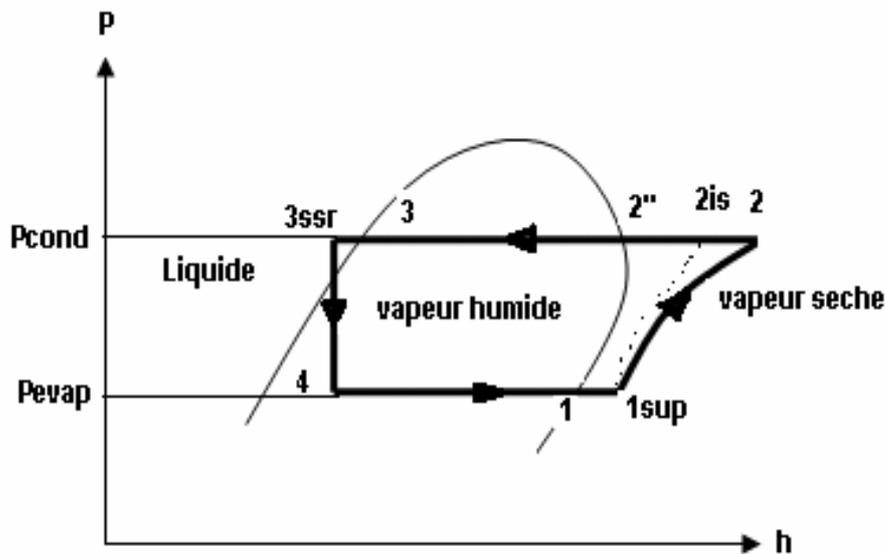
Monogramme de détermination des dimensions d'une tuyauterie de liquide en cuivre pour R404A



ANNEXE 4 : Diagramme d'air humide



ANNEXE 5 : Cycle pratique d'une machine frigorifique à compression d'après SOLKAN 2.0



1sup-2 : Compression polytropique de la vapeur de fluide frigorigène

2-2'' : Désurchauffe

2''-3 : Condensation isobare

3-3ssr : Sous refroidissement

3ssr-4 : Détente isenthalpe du fluide condensé

4-1 : Evaporation isobare

1-1sup : Surchauffe

BIBLIOGRAPHIE et SITE INTERNET

[1]. ANDRIAFIANDRY Zafibiby.

Etude et conception de chambre froide. Mémoire d'ingénieur en Génie Industriel. Université d'Antananarivo. Ecole Supérieure Polytechnique, promotion **1999**.

[2]. BUREAU DE NORME DE MADAGASCAR

NMEXP, Edition **2006**.

[3]. COM, DANIEL, ULRICH, ROGER, HERMANN H.

La chaîne du froid. Paris Tome 1, Edition 1995

[4]. CENTRE TECHNIQUE DE HORTICOLE D'ANALAMANGA

Introduction à l'arboriculture de Madagascar. Edition **2000**.

[5]. CENTRE TECHNIQUE DE HORTICOLE D'ANALAMANGA

SMIR Journal d'information rurale. Edition 2006.

[6]. Direction de la Météorologie

Document sur les normales températures en °C et 1/10, Edition 2006

[7]. FTM

Base de données, Edition 2006

[8]. INSTAT

Annuaire de production, Edition 2002

[9]. MINISTERE DU COMMERCE

Statistique pour les exportations, Edition 2006

[10]. Pierre RAPPIN, Patrick JACQUARD.

Formulaire du froid, 12^e Edition juin 2003

[11]. Pierre RAPPIN, Patrick JACQUARD

Calcul de chambre froide, **PYC**, Edition 1998.

[12]. Pierre RAPPIN, Patrick JACQUARD

Itinéraire de frigoriste, **PYC**, Edition 1998

[13]. RAKOTONARIVO A.Sambatra.

Conception des chambres froides pour fruits et légumes. Mémoire d'ingénieur en Génie Industriel. Université d'Antananarivo. Ecole Supérieure Polytechnique, Promotion 2003

[14]. RANAIVOSON L. Roger

Contribution à l'étude de l'ananas à Arivonimamo. Mémoire d'ingénieur en Agronomie. Université d'Antananarivo. Ecole Supérieure de la Science Agronomie. Promotion 2004

[15]. Cours de Monsieur ANDRIAMANALINA William au sein de l'ESPA

Etude d'impact environnementaux « Constitution- Charte- Décret MECIE », année 2006

[16].[http//www.fao.org](http://www.fao.org)

[17].[http// www.one.mg](http://www.one.mg)

[18].[http// www.prosit .net](http://www.prosit.net)

[19].[http// www.technofruits2001.cirad.fr](http://www.technofruits2001.cirad.fr)

[20].[http// www.geothermik.fr](http://www.geothermik.fr)

[21].[http// www.friga-bohn.com](http://www.friga-bohn.com)

[22].[http// www.erc-ref.com](http://www.erc-ref.com)

[23].[http// www.keep priterefrigeration.com](http://www.keep.priterefrigeration.com)

[24].[http// www.ecopeland.com](http://www.ecopeland.com)

[25].[http// www.snclavalin.com/agro](http://www.snclavalin.com/agro)

ETUDE ET CONCEPTION D'UNE UNITE DE TRANSFORMATION DES FRUITS TROPICAUX

Nombre de pages : 110

Nombre de figures : 41

Nombre de tableaux : 48

RESUME

Cet ouvrage peut résoudre les problèmes des producteurs et opérateurs lors du stockage des denrées périssables allant de la cueillette jusqu'au moment de la consommation.

Diverses techniques sont présentes dans ce mémoire : les techniques de conservation qui utilise la chaîne du froid, d'autre part la méthode de transformation en jus de fruit permet ainsi de prolonger la durée du fruit au delà de saison, afin que les produits atteignent les qualités adéquates aux exigences du marché local et du commerce international.

Mots clés : *Chambre Froide en atmosphère contrôlée- Qualités - HACCP- Valorisation des fruits*

ABSTRACT

This work can solve producers' and operators' problem during the storage perishables goods, from picking until consummation.

Various technics are presented in this memory-book: as technics of conservation that uses the freezing- mixture and the method of transformation into fruit juice which permit to prolong the length of the fruit beyond season, so that the products are reached on qualities required and adequate, in the inland market and the international trade.

Key words: *Cold room in controlled atmosphere - Qualities- HACCP - Valorization of the fruits*

Auteur: **ANDRIAMIHAINGO Fanomezana**

Lot: VS 52 GC Ter Avaratrankatso, Tana 101

Tel : 033 12 591 57

Directeur de mémoire : **RANAIVOSON Andriambala Hariniaina**, Maître de conférence à l'Ecole supérieure Polytechnique d'Antananarivo