

ECOLE INTER-ETATS D'INGENIEURS DE

L'EQUIPEMENT RURAL

03 B.P. 7023 OUAGADOUGOU 03
BURKINA FASO

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

ANNEE 1995 - 1996

Présenté par :
MAINA BOUKAR Gaptia

**DIAGNOSTIC TECHNICO-ECONOMIQUE
DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES
ET CHAMBRES FROIDES COMMERCIALES
A OUAGADOUGOU**

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée le 04 JUIL. 1996 N° 294/96

MENTION :

Professeur Responsable
F. COUPEL
T. DJAKO

Bénin - Burkina - Cameroun - Centrafrique - Congo - Côte d'Ivoire - Gabon
Guinée - Mali - Mauritanie - Niger - Sénégal - Tchad - Togo

S O M M A I R E

DEDICACE.....	1
REMERCIEMENTS.....	2
RESUME.....	3
INTRODUCTION.....	4
PREMIERE PARTIE - ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
INTRODUCTION.....	6
I. CLASSIFICATION ET CARACTERISTIQUES DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES.....	6
I.1 Classification des entrepôts frigorifiques.....	6
I.2 Caractéristiques des entrepôts frigorifiques.....	7
I.3 Influence du protocole de Montréal.....	9
II. TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES.....	11
II.1 Génie civil.....	11
II.2 Isolation et portes.....	12
II.3 Equipements frigorifiques et électriques.....	15
II.3.1 Installations frigorifiques.....	15
II.3.2 Equipements électriques.....	15
III COÛTS D'ACQUISITION ET D'EXPLOITATION DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES.....	16
III.1 Coûts de construction.....	16
III.2 Coûts d'exploitation.....	17
CONCLUSION.....	18
DEUXIEME PARTIE - DIAGNOSTIC TECHNIQUE.....	19
INTRODUCTION.....	20
I. COLLECTE DE DONNEES TECHNIQUES.....	20
I.1 Problèmes techniques identifiés.....	20
I.2 Recommandations.....	20
II. ETUDE TECHNIQUE DES ETABLISSEMENTS PACO.....	21
II.1 Présentation de PACO.....	21
II.2 Génie civil, isolation et portes.....	23
II.3 Equipements frigorifiques.....	25
II.3.1 Fonctionnement théorique.....	25
II.3.2 Fonctionnement réel.....	30
II.3.3 Analyse comparative des fonctionnements théorique et réel.....	32
II.4 Equipements électriques.....	32

CONCLUSION.....	37
RECOMMANDATIONS	37
TROISIEME PARTIE - DIAGNOSTIC ECONOMIQUE.....	38
INTRODUCTION	39
I. EVALUATION ECONOMIQUE.....	40
I.1 Investissements.....	40
I.2 Financement des investissements.....	41
I.3 Les charges.....	42
II. ETUDE DE RENTABILITE	46
II.1 Calcul du délai de récupération	46
II.2 Calcul du seuil de rentabilité	47
II.3 Analyse de la trésorerie	48
CONCLUSION	51
RECOMMANDATIONS	51
CONCLUSION GENERALE.....	52
BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXES	

DEDICACE

A mon père Bolo Koura et ma mère Atcha Zara qui m'ont toujours soutenu.

A mon mari Maïna Boukar Amsagana pour avoir su supporter toute mon absence.

A mon oncle Chétima Madou Gadjì

A mes soeurs et frères.

A mes filles Maïram Zara, Hadiza, Assé, et Awa.

REMERCIEMENTS

Ma profonde gratitude à tout le corps professoral de l'E.I.E.R, en particulier à:

Monsieur Thomas Djiako pour sa bienveillance et sa disponibilité constante.

Monsieur Fabrice Coupel dont les conseils ont permis de parfaire le volet économique de ce travail.

Je ne saurais oublier :

Monsieur Saoura Janvier, Directeur de l'établissement PACO pour sa compréhension et sa disponibilité.

Ma tante Hadjia Haoua, mes soeurs Madame Fanami Kiariram et Annatou, Madame Bila Kawa, qui m'ont soutenu moralement durant tout mon cycle

Tous mes collègues de la 25ème promotion en particulier Messieurs Touré (Côte d'Ivoire), N'garadoum (Tchad), Khadim (Sénégal).

Messieurs Boulama Inoussa, Sanoussi Abdourazak, Boulama Rawa et Souleymane Hachimou pour leurs conseils.

RESUME

Les problèmes techniques et économiques auxquels sont confrontés les exploitants d'entrepôts frigorifiques en Afrique sont très mal connus dans la profession. Par ailleurs les opérateurs économiques qui souhaitent investir dans le domaine de l'entreposage frigorifique ne disposent généralement d'aucune information pratique pouvant leur permettre d'apprécier la pertinence d'un investissement dans cette filière.

Le principal intérêt de l'actuel mémoire est de contribuer à une meilleure connaissance des contraintes pratiques vécues par les professionnels, ceci à travers un diagnostic technico-économique d'une structure semi-industrielle assez représentative de la profession.

L'étude bibliographique sur le sujet nous a permis de dégager les informations suivantes :

- le m³ brut d'une chambre froide à température positive, en maçonnerie traditionnelle, coûte environ 100 000 FCFA à Ouagadougou.
- au Burkina Faso, le coût de l'entreposage de denrée dans une chambre froide positive est d'environ 6000 FCFA/mois en zone urbaine contre 15 FCFA/kg/jour en zone rurale
- le kWh coûte environ deux fois plus cher en Afrique qu'en Europe, et la facturation d'électricité est beaucoup plus pénalisante en Afrique.
- comparativement à l'Europe, une chambre froide coûtera deux fois plus cher en Afrique.

La deuxième partie du mémoire portant sur le diagnostic technique fait apparaître les informations suivantes :

- la puissance électrique à souscrire pour l'ensemble des équipements, le facteur de puissance et l'exploitation rationnelle des plages horaires en fonction de la tarification électrique sont souvent mal cernés par les exploitants.
- le suivi et la maintenance des installations frigorifiques sont généralement négligés.
- les densités d'entreposage ne sont pas respectées.
- les exploitants ignorent les conséquences du protocole de Montréal.

Enfin, la dernière partie du mémoire portant sur le diagnostic économique aboutit aux conclusions suivantes :

- l'investissement dans ce secteur d'activité est rentable
- les chambres froides ne sont pas utilisées à certaines périodes de l'année d'où la nécessité de diversifier les produits à entreposer et rechercher d'autres débouchés.
- le coût mensuel d'entreposage des produits dans une chambre positive à Ouagadougou est actuellement d'environ 7000 FCFA/m³.

INTRODUCTION

La construction et l'exploitation d'entrepôts frigorifiques posent des problèmes techniques et économiques souvent mal appréciés par les exploitants ou les opérateurs économiques qui souhaitent investir dans ce domaine. C'est pour cette raison qu'en collaboration avec les exploitants d'unités frigorifiques à Ouagadougou, le Département Energie pour le Développement Rural de l'EIER a défini cette année un thème de mémoire de fin d'études portant sur le diagnostic technico-économique des entrepôts frigorifiques et chambres froides commerciales en exploitation à Ouagadougou.

Le travail à effectuer sera scindé en trois grandes parties :

- la première partie sera consacrée à une analyse bibliographique sur le thème du mémoire ; cette analyse a pour objectif de faire le point sur les pratiques en Afrique ou en Europe en matière de construction ou d'exploitation d'entrepôts frigorifiques.

- la seconde partie sera essentiellement consacrée à un diagnostic technique d'un entrepôt frigorifique basé à Ouagadougou. L'objectif de cette partie est de vérifier la conformité technique et les performances des équipements utilisés.

- la dernière partie portera sur le diagnostic économique de l'unité étudiée dans la seconde partie. Cette partie aura pour but d'une part, de fournir des informations chiffrées sur les coûts de construction, d'exploitation et la rentabilité des projets d'entrepôts frigorifiques, et d'autre part de proposer des ratios permettant de chiffrer ou d'évaluer ce type d'investissement en Afrique Sahélienne.

PREMIERE PARTIE
ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION

L'analyse bibliographique a pour but de faire le point sur les techniques et coûts de construction ou d'exploitation d'entrepôts frigorifiques tant en Afrique qu'en Europe. Cette synthèse permettra d'apprécier objectivement la pertinence de pratiques locales.

Cette partie de l'étude est répartie de la manière suivante :

- classification et caractéristiques des entrepôts frigorifiques.
- techniques de construction des entrepôts frigorifiques.
- coûts d'acquisition et d'exploitation des entrepôts frigorifiques.

I. CLASSIFICATION ET CARACTERISTIQUES DES

ENTREPOTS FRIGORIFIQUES

I.1 Classification des entrepôts frigorifiques

Un entrepôt frigorifique est constitué d'un ensemble de chambres froides et de locaux annexes; une chambre froide est un local isolé thermiquement, destiné à stocker des produits dans des conditions de température et d'humidité relative bien définies.

Les entrepôts sont classés selon leur régime d'activités (entrepôts polyvalents, entrepôts spécialisés) ou selon leurs fonctions économiques (entrepôts de production, entrepôts de conservation à long terme, entrepôts de distribution).

***Classification selon les régimes d'activités:**

- Les entrepôts polyvalents permettent de stocker plusieurs variétés de produits dans des conditions d'ambiance variées. Ce sont en général des entrepôts dits publics.

- Les entrepôts spécialisés permettent la conservation d'une seule catégorie de produit (laiterie, abattoir, station fruitière etc.)

***Classification selon les fonctions économiques:**

- Les entrepôts de production sont intégrés à un complexe industriel, agricole ou à un port de pêche (station fruitière, fabrique de crème glacée, etc.)

- Les entrepôts de conservation à long terme sont destinés à stocker des produits pendant plusieurs mois avant expédition ; ils sont utilisés pour de grands rayons d'action.

- Les entrepôts de distribution permettent de conserver les produits pendant une semaine à un mois et sont généralement situés en zone urbaine, à côté des marchés ou des centres commerciaux.

1.2 Caractéristiques des entrepôts frigorifiques [3]

Les entrepôts frigorifiques sont construits à un seul niveau ou en étages. Ceux à un seul niveau sont les plus fréquents.

Le plan d'un entrepôt frigorifique à un seul niveau est assez simple et peut comprendre :

- une ou plusieurs chambres froides à la même température ou à des températures différentes.

- une salle des machines qui peut être construite à une extrémité du bâtiment.

- une aire de réception et conditionnement des produits

- un magasin

- un quai (de chargement et déchargement)

Les entrepôts frigorifiques à un seul niveau sont dimensionnés en fonction des systèmes de manutention et du mode de gerbage. La largeur d'une chambre froide est déterminée en fonction du nombre et des dimensions des palettes et en tenant compte de la largeur des couloirs de circulation; la hauteur de la chambre froide est fixée à partir des systèmes d'entreposage utilisés. Si la manutention est faite avec des chariots élévateurs, la hauteur intérieure de la chambre froide sera de 8.50 m à 10 m; si la manutention est manuelle, la hauteur intérieure de la chambre froide n'excédera pas 4 m. Quant à la largeur, elle ne doit pas dépasser 15 m pour les petites chambres froides et 30 m pour les grandes.

– Mode de manutention et de gerbage

La manutention concerne tous les mouvements des marchandises tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de l'entrepôt. Les opérations de manutention comprennent le déchargement, le triage, le pesage, le déballage, l'emballage, le transport à l'emplacement de stockage, le transport vers l'extérieur de l'entrepôt, et le chargement.

Le gerbage est le mode d'empilement des marchandises pendant l'entreposage. Pour ne pas influencer le coût de l'entreposage, une bonne manutention doit être rapide, rationnelle et sûre.

Le plus souvent la manutention est faite à l'aide des chariots. La palettisation permet surtout de diminuer les risques d'accidents lors de la manutention des marchandises; elle permet par ailleurs une bonne disposition des lots, ce qui facilite le contrôle des stocks. Les salaires, le taux de rotation du stock, l'accélération du rythme d'exploitation, la régularité d'exploitation sont en général des facteurs qui ont une incidence sur le coût de la manutention.

– La température

Une température élevée accélère le développement des micro-organismes qui s'attaquent aux denrées périssables. Par contre une faible température réduit le développement de ces microorganismes prolongeant ainsi la durée de conservation des produits.

Pendant toute la durée d'entreposage, la température doit être constante et uniformément répartie.

– L'humidité relative

Une faible humidité relative a une incidence sur les pertes de masse des denrées entreposées. Ces pertes de masse ont une grande importance du point de vue économique et nutritionnel. On doit respecter les conditions d'hygrométrie recommandées pour chaque type de denrée. Une humidité élevée favorise le développement de micro-organismes tandis qu'une faible humidité relative engendre la dessiccation des denrées. Il faut noter qu'à l'intérieur d'une même chambre froide, l'humidité varie avec la nature et la quantité des produits stockés, la nature et le mode d'emballage.

Dans une chambre froide l'air doit être diffusé convenablement pour permettre une répartition uniforme de l'humidité relative.

I.3 Influence du protocole de Montréal

La couche d'ozone protège la terre des rayons ultra-violet qui sont la cause de plusieurs maladies dont le cancer.

La découverte en 1975 d'un trou dans la couche d'ozone au pôle sud et la confirmation de la dégradation de cette couche en 1985 ont amené 57 pays du monde à se réunir le 16 septembre 1987 à Montréal sous la direction des Nations Unies pour l'environnement (P.N.U.E). De cette réunion il est ressorti la signature d'un accord appelé le protocole de Montréal prenant effet à partir de 1989. Ce protocole vise à limiter les émissions des gaz favorisant la diminution de la couche d'ozone. Le secteur de la réfrigération est concerné par 11.2% des substances qui appauvrissent la couche d'ozone [18]. Ce sont pour la plupart des produits halogénés utilisés comme fluide frigorigène. Nous avons en particulier le R12 des installations frigorifiques et le R11 des isolants (pour l'expansion des polyuréthanes[2]). Le R22, qui a une durée de vie dans l'atmosphère plus faible, présente un effet sur l'ozone nettement plus faible que celui du R12; il est actuellement toléré mais son usage sera aussi limité dans l'avenir.

La limitation ou l'interdiction de certains fluides halogénés a une influence sur le marché des équipements frigorifiques (nouveaux fluides, nouvelles technologies, nouvelles pratiques).

Actuellement, le marché du froid est en pleine mutation, tant en Occident qu'en Afrique. Nous donnons ci-dessous quelques informations techniques sur les nouveaux fluides les plus promoteurs.

Le tableau 1 présente les nouvelles appellations des fluides frigorigènes.

Groupe	Composition	"Avant Montréal"	"Après Montréal"
Chlorofluorocarbures complètement halogénés	CCl F2 CCl F3 CCl F2-CF3	R12 R13 R115	CFC-12 CFC-13 CFC-115
Chlorofluorocarbures partiellement halogénés	CHCl F2 CHCl2-CF3	R22 R123	HCFC-22 HCFC-123
Fluorocarbures partiellement halogénés	CHF3 CF3-CHF2	R23 R125	HFC-23 HFC-125
Complètement fluorés	CF4	R14	FC-14
Hydrocarbures	CH3-CH3	R170	HC-170
Mélanges azéotropiques	48.8% R22 51.2% R115	R502	R502

Tableau 1 :Nouvelles appellations des fluides frigorigènes.

Les fluides sont désignés comme fluides de transition ou fluides de substitution selon que leur élimination soit prévue à court ou long terme

Définition

* Fluides de transition :

On appelle fluide de transition, les fluides qui ont été définis par le protocole de Montréal comme ayant un potentiel d'appauvrissement de l'ozone réduit par rapport aux CFC, mais non nul. Ce sont des fluides de remplacement à court terme.

* Fluides de substitution :

Les fluides de substitution sont ceux dont le potentiel d'appauvrissement de l'ozone stratosphérique est nul. Ce sont des fluides de remplacement à long terme.

Les fluides considérés comme responsables de l'appauvrissement de la couche d'ozone sont les CFC (CFC11, 12, 13, 113, 114, 115, et leurs mélanges le R502, le R500).

Les HCFC qui ont une durée de vie dans l'atmosphère plus faible et un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone plus bas que le CFC ont été retenus comme fluide de transition tandis que les HFC, HC, FC sont des fluides de substitution.

Les fluides à effets néfastes et leurs remplaçants à court terme sont présentés dans le Tableau 2 :

Remplace	Fluide frigorigène	Température d'utilisation
R12	R401A "MP 39"	-20°C
	R401B "MP 66"	-30°C
	R409A "FX56"	-30°C
	R405A "G2015"	—
	R406A	—
	R412A "TP5R" "DI 36"	-35°C
R502	HCFC-22	-40°C
	R402A "HP80"	-40°C
	R402B "HP81"	-40°C
	R403B "Isceon 691"	à
	R408A "FX10"	-45°C
	R509 "TP5R2" "DI44"	

Tableau 2 : Les fluides à effets néfastes et leurs remplaçants à court terme.

Les CFC et les fluides de substitution sont présentés dans le tableau 3.

Remplace	Fluide frigorigène "appellation commerciale"	Température d'utilisation
R12	HFC-134a "Isceon 49"	-25°C -30°C
R502	R404A "HP62,FX70,M55" R407A "Klea 61" R407B "Klea 61" FX 40 "HX 4"	-45°C -45°C -50°C -50°C -50°C
R13B1	"ES 20" "Isceon 89"	-55°C -55°C

Tableau 3 : Les fluides de substitution et leurs remplaçants à long terme.

Les différentes réglementations donnant suite au protocole de Montréal sont présentées en Annexe 1.

II. TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES

II.1 Génie civil

La réalisation du génie civil se fait de manière à avoir un local aussi économique que possible. La chambre froide peut être faite en maçonnerie traditionnelle ou en panneau préfabriqué. Le sol est réalisé de façon à supporter des charges statiques de 5000 à 7500 kg/m² et des charges dynamiques d'environ 3000 kg. [1]. L'ossature est généralement porteuse avec isolation à l'intérieur ou à l'extérieur et peut être en métal, en béton armé ou en bois.

Pour les chambres froides à températures négatives, des protections antigel doivent être faites en prévoyant une ventilation sous l'isolation du sol ou des réseaux de chauffage dans le béton avant l'isolant. Le toit est en général à deux pans avec une très bonne étanchéité. Les murs extérieurs sont en matériaux conventionnels ou en préfabriqués. Pour lutter contre l'insolation, on peut prévoir des auvents (en particulier aux façades Est et Ouest) et peindre les surfaces extérieures des murs d'une couleur blanche.

II.2 Isolation et portes

Dans la construction d'une chambre froide, l'isolation est très importante. Son coût peut atteindre 25 % du coût de la construction [5]. Le matériau isolant doit répondre à certaines exigences qui sont :

- faible coefficient de conductivité thermique, facilité de mise en oeuvre, imperméabilité à la vapeur d'eau
- résistance au poinçonnement élevée
- absence d'odeur et de toutes contre-indications hygiéniques
- résistance au pourrissement et aux parasites
- résistance au feu

Les matériaux couramment utilisés sont :

- pour les planchers : le liège expansé, le polyuréthane, le polystyrène extrudé, la mousse de verre.
- pour l'isolation des murs et du plafond : le polystyrène expansé ou le polyuréthane et parfois la fibre de verre.

Un pare-vapeur est généralement disposé sur la face chaude de l'isolant afin d'éviter la pénétration d'humidité. Les faces froides de l'isolant doivent être protégées contre les chocs et être recouvertes avec un revêtement poreux permettant la migration de l'eau vers l'évaporateur. On utilise généralement l'aluminium, l'acier galvanisé et les plastiques armés.

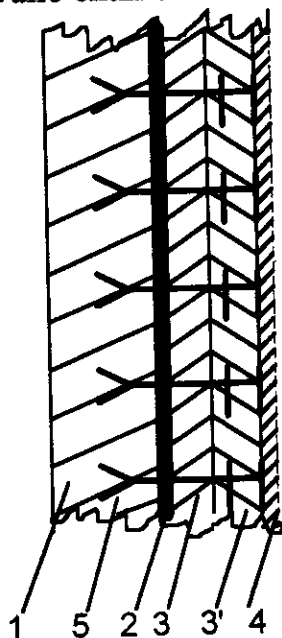
Les ponts thermiques doivent être évités (tuyauterie, fixation de réseau aérien, câbles électriques etc.)

II.2.1 Isolation des parois verticales et du plafond

Elle se présente sous deux formes : l'isolation en maçonnerie traditionnelle et l'isolation en panneau préfabriqué.

- Maçonnerie traditionnelle

L'isolation traditionnelle consiste à mettre successivement sur la face interne du mur porteur un écran pare vapeur, des panneaux isolants (posés à joints croisés et fixés par des tortillons de fil de fer), et un revêtement perméable de protection. (Voir fig.1). Nous présentons en annexe 3 une vue d'ensemble d'une chambre froide en maçonnerie traditionnelle.



1. Mur porteur
2. Ecran d'étanchéité
3. Première couche d'isolant
- 3' Deuxième couche d'isolant
4. Revêtement poreux intérieur
5. Tortillon de fil de fer avec batterie de blocage des panneaux

Fig 1 : Isolation traditionnelle [2]

- Panneaux préfabriqués

L'isolation en panneaux préfabriqués nécessite que l'isolant ait une bonne résistance à la compression, à la traction et au cisaillement, ce qui est le cas des mousses denses en plastique (polystyrène, polyuréthane, PVC).

Les deux faces de l'isolant sont intimement collées entre deux feuilles de tôle en acier galvanisé, en alliage d'aluminium, en stratifié verre-polyester ou en contre-plaqué qualité marine représentant l'écran pare-vapeur.

La mise en oeuvre de l'isolant sur le plafond se fait de manière à éviter les ponts thermiques. [2]

- Maçonnerie traditionnelle :

* Avantages :

- coût moins élevé.
- utilisation des matériaux locaux.
- possibilité de faire des chambres froides de grande hauteur.

* Inconvénients :

- difficulté d'exécution.
- la construction nécessite un spécialiste confirmé.
- la réalisation de l'écran pare-vapeur demande beaucoup de soin.
- précision de la pose des tortillons en fil de fer.
- demande une surveillance attentive et fréquente du chantier.

– **Panneaux préfabriqués :**

* Avantages :

- n'exige pas de main-d'oeuvre spécialisée
- risque de pont thermique limité à la réalisation de l'isolation du plafond.
- exécution moins difficile.
- délai d'exécution nettement moins long.
- demande moins de surveillance de chantier.

* Inconvénients :

- coût élevé.
- longueur et épaisseur des panneaux limitées.
- risque de pénétration de vapeur par les joints si l'étanchéité est mal faite.

II.2.2 Isolation des portes

Le polyuréthane ($\lambda^* = 0.028 \text{ w/mk}$) est généralement l'isolant le plus utilisé pour les portes des entrepôts frigorifiques. L'épaisseur utilisée varie de 50 à 200 mm. Les huisseries, le pourtour et le cadre des portes sont réchauffés pour éviter leur givrage. Les baies des portes isothermiques sont munies de dispositif pare-choc afin de protéger les huisseries et les panneaux de porte contre les chocs.

Une bonne porte isolante doit être étanche à la vapeur d'eau et à l'air, robuste, légère, indéformable et à manoeuvre rapide.

II.2.3 Isolation des tuyauteries

Les tuyauteries véhiculant le fluide frigorigène à basse température sont isolées. Les isolants les plus utilisés sont les polystyrènes expansés ($\lambda = 0.031 \text{ w/mk}$) ou extrudés, le polyuréthane ($\lambda = 0.028 \text{ w/mk}$), le PVC : ($\lambda = 0.040 \text{ w/mk}$) ou le liège ($\lambda = 0.036 \text{ w/mk}$).

L'épaisseur d'une isolation de tuyauterie dépend de la température du fluide en circulation, de la conductivité thermique de l'isolant et du point de rosée de

* λ est la conduction thermique du matériau

l'air ambiant. Un écran anti-vapeur est appliqué en général sur la face chaude pour protéger l'isolant contre l'humidité atmosphérique ambiante.

II.3 Equipements frigorifiques et électriques

II.3.1 Installations frigorifiques

On distingue généralement :

- des installations centralisées utilisant le plus souvent le NH₃ comme fluide frigorigène. C'est un système permettant d'avoir des puissances installées totales plus faibles, des frais d'installations et d'exploitation réduits.
- les installations décentralisées où chaque chambre froide est desservie par un groupe individuel avec des compresseurs le plus souvent à pistons et utilisant le R12, le R22, ou le R502 comme fluide frigorigène.

Le système décentralisé présente les avantages suivants:

- faibles coûts du réseau de tuyauteries et des isolants
- opérations de montage simples
- réduction des risques de perte de fluide frigorigène

Dans les installations décentralisées, les compresseurs doivent être disposés le plus près possible des évaporateurs.

II.3.2 Equipements électriques

L'électricité est généralement fournie en haute tension. La desserte en basse tension est faite par l'intermédiaire d'un transformateur à partir d'un tableau général.

Les locaux frigorifiques sont en général de bons conducteurs à cause des risques de condensation d'humidité, ce qui nécessite la prise en compte des précautions suivantes :

- mise à la terre des moteurs et de tous les appareils au moyen d'un circuit spécial relié à une prise de terre indépendante de la prise de terre haute tension.
- emploi des câbles hydrofuges et d'appareils étanches, y compris pour les circuits d'éclairage.
- alimentation en très basse tension pour les appareils mobiles.

Le circuit force à l'intérieur de l'entrepôt comportera un conducteur de terre pour la mise à la masse du bâti des ventilateurs, des refroidisseurs, des petites machines-outils et autres engins.[8]

Un disjoncteur général doit être prévu pour couper toute l'installation. La consommation d'énergie étant l'un des facteurs ayant une incidence importante sur la rentabilité de l'exploitation des entrepôts, l'installation des batteries condensateurs pour la correction du facteur de puissance s'avère nécessaire.

III COÛTS D'ACQUISITION ET D'EXPLOITATION DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES

III.1 Coûts de construction

Le coût d'une installation frigorifique varie considérablement d'un pays à un autre.

Le tableau 4 présente la répartition des coûts de construction en Europe et au Sahel, d'un entrepôt en maçonnerie traditionnelle.

Rubrique	En Europe	Au Sahel
Construction du bâtiment	30%	13%
Charpente et revêtements	18%	10%
Équipement frigorifique	21%	42%
Isolation	31%	35%
Total investissement	100%	100%

Tableau 4 : répartition des coûts de construction d'un entrepôt en maçonnerie traditionnelle (1979)

On remarque que dans les pays chauds, l'isolation et l'équipement frigorifique coûtent plus chers (épaisseur d'isolation plus grande, disponibilité, ...), tandis que la construction du bâtiment coûte plus cher en Europe. En 1979 en Europe, le prix moyen d'une isolation en panneau préfabriqué, frais de transport et pose compris variait de 200 FF (FF = franc français) à 300 FF/m² taxe non comprise, tandis qu'en Afrique il fallait compter 40 000 FCFA à 60 000 FCFA/m². Actuellement, ce coût en Europe est d'environ 50 000 FCFA/m² et en Afrique environ 95 000 FCFA/m². Le tableau 5 présente les coûts de construction (1988) en France d'une station fruitière de 9000 m³ en panneau préfabriqué. Actuellement, la construction à Ouagadougou d'une chambre froide positive en maçonnerie traditionnelle coûte environ 100 000 FCFA/m³ brut.

Dalle fondation	40 FF
Charpente métallique	130 FF
Isolation	160 FF
Équipement frigorifique	160 FF
Équipement électrique BT/HT	30 FF
Matériel atmosphérique contrôlée	80 FF
Total	600 FF/m ³ brut

Tableau 5 : coût de construction d'une station fruitière en panneau préfabriqué. [23]

Par ailleurs le coût de l'équipement frigorifique diffère selon que l'installation est à température positive ou négative. Le tableau 6 illustre cette différence.

	chambres froide à 0°C (T>0)	chambres froides à -20°C (T<0)
compresseurs	15-20%	30-35%
condenseurs	5-10%	5-10%
distribution (évaporateur, tuyauterie)	45-55%	35-40%
régulation, électricité, montage	20-30%	20-30%

Tableau 6 : répartition des coûts des équipements frigorifiques selon les températures.

D'une manière générale, l'équipement frigorifique d'un entrepôt à température négative est deux fois plus cher que celui d'un entrepôt à température positive.

III.2. Coûts d'exploitation

En 1979 en France, le coût de l'entreposage était calculé sous forme d'une redevance journalière qui variait de 100 Fcfa la tonne à 200-210 Fcfa. A cette somme il fallait rajouter les coûts des opérations de chargement/déchargement, d'entrées/sorties des chambres froides et de formalités administratives qui s'élevaient à une somme de 4 600 à 9 000 Fcfa par tonne. Actuellement, au Sahel, la location d'espace dans une chambre froide positive en zone de production coûtera 15 FCFA par kg et par jour tandis qu'en zone urbaine les frais de location mensuelle se situent autour de 6 000 Fcfa par m³.

Pour un entrepôt polyvalent neuf, la répartition suivante est à adopter :

	En Europe	Au Sahel
amortissement financier	30-35%	30%
consommation	10-15%	25%
entretien	2-7%	10%
personnel	35-40%	20%
frais généraux	15-20%	15%

Tableau 7 : répartition des charges d'un entrepôt polyvalent neuf (1988) [23].

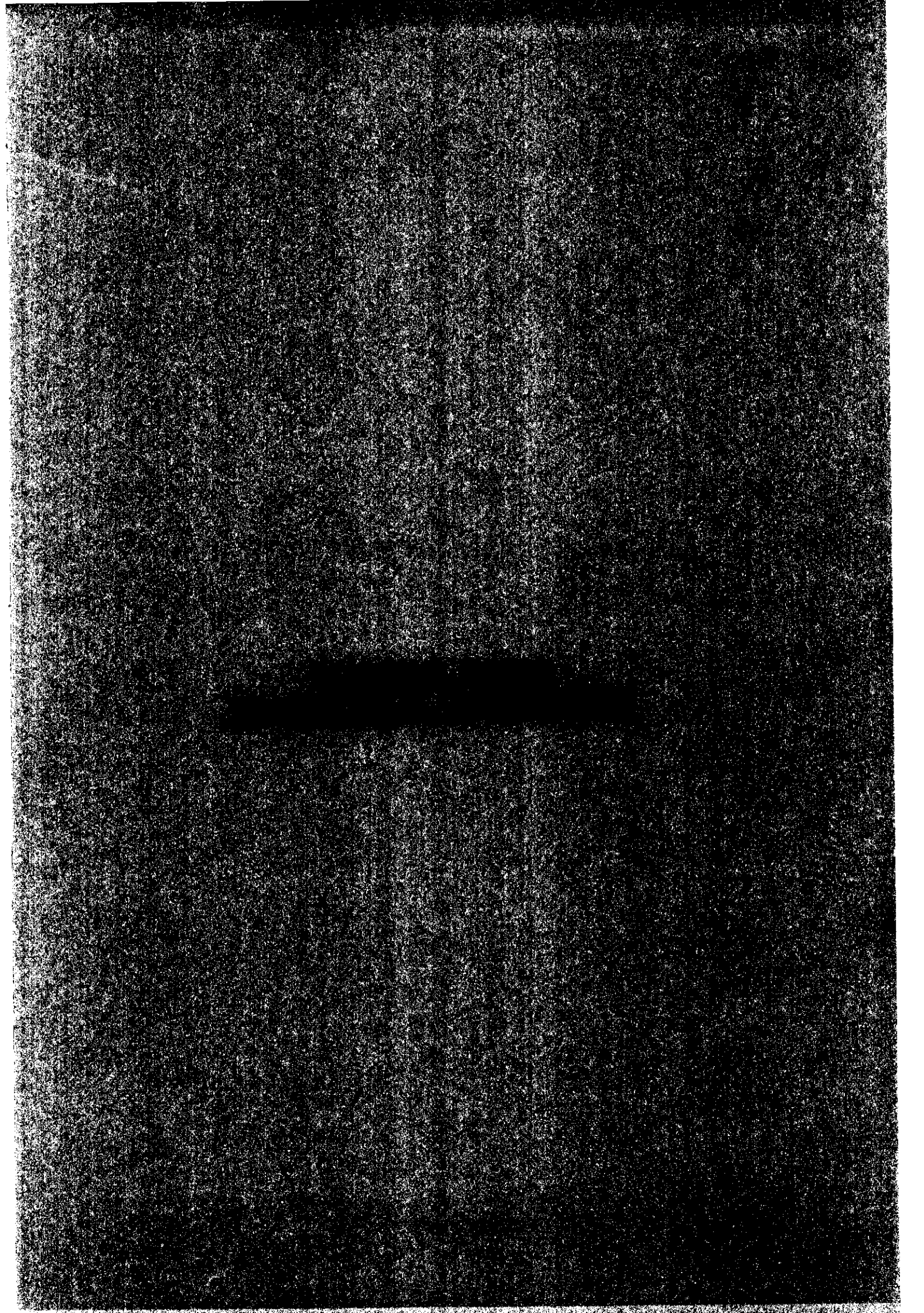
Du tableau 7, il ressort que la consommation et l'entretien sont plus élevés au Sahel (conditions climatiques, prix du kWh élevé) tandis que le personnel est plus cher en Europe.

D'une manière générale on remarque que pour la maçonnerie traditionnelle, le génie civil est plus cher en Europe tandis que l'isolation et l'équipement frigorifique sont plus chers en Afrique. Pour les panneaux préfabriqués le coût de l'isolation en Afrique est environ le double du coût en Europe. Presque tous les entrepôts neufs construits aujourd'hui en Europe sont en panneaux préfabriqués.

On notera aussi que, comparativement à l'Europe, le coût du kWh est deux fois plus cher en Afrique.

CONCLUSION

L'analyse bibliographique a permis une présentation générale des entrepôts frigorifiques en Europe et en Afrique tant sur leurs aspects techniques qu'économiques. Les reformations présentées dans cette partie nous permettent d'enrichir la seconde partie consacrée au diagnostic technique, et la dernière partie réservée au diagnostic économique.



INTRODUCTION

Le diagnostic technique a pour objectif la vérification du dimensionnement des chambres froides et de l'équipement frigorifique, l'évaluation des performances de machines frigorifiques installées et enfin le contrôle des techniques d'exploitation de cet entrepôt (densités d'entreposage,...).

Dans le cadre de cette partie consacrée au diagnostic technique, une enquête sommaire de terrain a été effectuée. Les principaux problèmes identifiés lors de cette enquête sont présentés ci-dessous.

I COLLECTE DE DONNEES TECHNIQUES

I.1 Problèmes techniques identifiés

- normes de qualité non respectées à l'achat chez le producteur.
- transports vétustes.
- coût élevé des emballages.
- irrégularité des avions.
- tarif de fret élevé.
- mauvaises prestations des compagnies aériennes.
- frais de douane élevés.
- chantage des clients (en position de force car produits périssables).
- perte par dessiccation des produits.
- fréquentes coupures d'électricité.
- courte période d'exploitation des chambres froides.
- tous les entrepôts visités sont au R12 ou au R22.

I.2 Recommandations

Suite aux problèmes identifiés, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

- nécessité des camions frigorifiques.
- créer d'autres débouchés pour les produits.
- diversifier les produits à entreposer pour pouvoir augmenter la période d'exploitation dans l'année.
- reviser le tarif du fret à la baisse.
- restructuration de la filière fruits et légumes.
- prévoir des groupes électrogènes secours.
- installer des batteries condensateurs.
- faire fonctionner les batteries aux heures où le kWh coûte moins cher
- renforcer l'étanchéité des circuits frigorifiques.

Pour être concret et bien précis dans les analyses et les recommandations faisant suite au diagnostic technique, nous avons centré l'étude

technique sur le cas des établissements PACO. Cette entreprise a été retenue parce que son Directeur a bien voulu nous fournir de manière très claire, bien détaillée et très complète toutes les informations techniques et financières nous permettant d'entreprendre une étude complète et rigoureuse de son unité frigorifique.

II ETUDE TECHNIQUE DES ETABLISSEMENTS PACO

II.1. Présentation de PACO

L'Etablissement PACO (Etablissement de production agricole et de commercialisation des fruits et légumes) est une entreprise individuelle.

Elle est située dans la zone de bois à Ouagadougou. Créée en 1994, cette entreprise effectue le conditionnement, la conservation et la vente des légumes.

PACO dispose d'un entrepôt comportant deux chambres froides, une salle de conditionnement et un hangar en tôle servant d'abri pour les machines. La figure 2 présente le schéma de l'entrepôt.

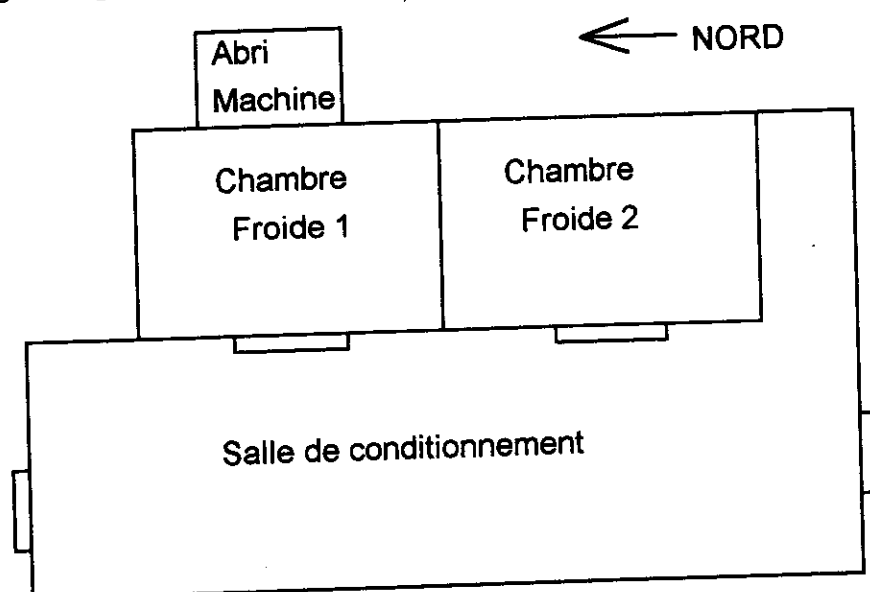


Fig.2 : Schéma de l'entrepôt PACO

Les dimensions des locaux sont indiquées dans le tableau 8.

	Chambre froide 1 et 2	Salle de conditionnement
Longueur intérieure (m)	7.30	11
Largeur intérieure (m)	3.50	10
Hauteur intérieure (m)	2.80	7

Tableau 8 : Dimensionnement des locaux

Chaque chambre froide est munie d'un équipement frigorifique individuel. L'installation frigorifique de la chambre 1 fonctionne au R12 et celle de la chambre 2, au R22. La salle de conditionnement n'est pas climatisée mais l'aération est convenable. Le tonnage maximum que peut contenir chaque chambre froide est de 10 tonnes pour le haricot vert, et 25 tonnes pour la pomme de terre. Les deux chambres froides se différencient juste par leurs compresseurs qui sont de types différents. Le réglage de l'humidité relative dans les chambres froides se fait en versant de l'eau au sol. L'Entreprise dispose d'une batterie de condensateur pour la correction du facteur de puissance.

Le Tableau 9 donne les caractéristiques des équipements frigorifiques.

Libellés	Caractéristiques	Chambre 1	Chambre 2
Compresseur	Marque	Maneurop	Copeland
	Type	MT80HP4	D11
	Puissance (KW)	7	4
	Vitesse de rotation (t/mn)	2900	1450
	Nombre de cylindre	2	2
	Tension alimentation. (volt)	380/220	380/220
	Courant nominal (A)	15	14
	Courant de court circuit	65	65
	Volume balayé (m ³)	23.7	22.14
	Pression max de service (bar)	25	24.5
Condenseur	Diam.tube (in)	3/8	3/8
	Nombre de tubes	125	64
	Nombre de circuit	17	8
Détendeur	Type	MOP12	MOP12
Evaporateur	Type	Frigerst PCE 1210	Frigerst PCE 1210

Tableau 9 : caractéristiques des équipements frigorifiques.[20]

Le schéma frigorifique des chambres froides est présenté à la figure 3.

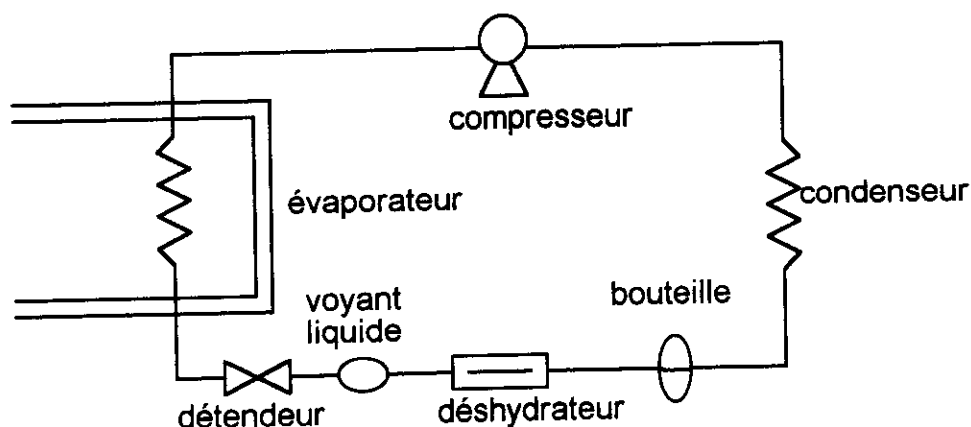


Fig. 3 : Schéma du circuit frigorifique

II-2 Génie civil, isolation et portes

– Génie civil

L'entrepôt est construit dans un lieu servant d'habitation. L'orientation du bâtiment est bonne. Les murs sont en maçonnerie traditionnelle. Le toit est couvert de tôle d'acier, ce qui favorise l'accès de la chaleur dans le local. Aucun aménagement n'a été prévu pour lutter contre le rayonnement solaire. Le génie civil et l'isolation représente 61% du coût de construction du bâtiment. Les machines frigorifiques placées dans un hangar en tôle sont exposées aux intempéries.

– Isolation et portes

Les parois des chambres froides de PACO sont en panneaux préfabriqués (épaisseur 12 cm de polyuréthane, $\lambda = 0.028 \text{ W/mk}$). Une plaque d'acier de 1 mm d'épaisseur ($\lambda = 52 \text{ W/mk}$) est disposée sur les deux faces externes de l'isolant pour servir de pare - vapeur. Toutes les faces des parois sont peintes de couleur blanche.

Le sol est constitué de 7 cm de béton ($\lambda = 2.04 \text{ W/mk}$) et 12 cm de polyuréthane. L'isolation des tuyauteries d'aspiration des deux circuits frigorifiques est faite de 20 cm d'armaflex. Le plafond est isolé par 12 cm de polyuréthane et 12cm de contre-plaqué disposé sur les deux faces. Les chambres froides sont munies de deux portes coulissantes bien isolées de dimensions hauteur x largeur = 2*1.3 m. L'étanchéité des portes est bien assurée.

Pour l'isolation des parois, les matériaux utilisés étant convenables, nous vérifierons leurs performances thermiques. Cette vérification se fera par comparaison au seuil de 8W/m^2 couramment adopté en réfrigération.

Calcul de flux thermique :

Le flux thermique est calculé à partir de la formule :

$$\varphi = \frac{T_{ex} - T_i}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_{ex}}}$$

T_{ex} et T_i sont respectivement les températures extérieure et intérieure .

h_{ex} et h_i sont les coefficients de convection externe et interne.

e est l'épaisseur des matériaux.

λ est la conductivité thermique.

La température extérieure (mesurée) est de 36°C . Pour les parois Est, nous prendrons comme température extérieure $36 + 5 = 41^\circ\text{C}$. La température de la chambre froide est de 8°C au moment de nos mesures.

* Parois Ouest - Nord - sud :

Les coefficients de convection interne et externe sont déterminés à partir de la formule $h = 8 + 4.5V$. V étant la vitesse de l'air en m/s. Pour l'air extérieur on prendra $V = 2\text{ m/s}$ et $V = 1.9\text{ m/s}$ pour l'air à l'intérieur des chambres froides.

$$h_{ex} = 8 + 4.5 \cdot 2 = 17\text{ w/m}^2\text{k}$$

$$h_i = 8 + 4.5 \cdot 1.9 = 16.6\text{ w/ m}^2\text{k}$$

La résistance thermique de la tôle d'acier est négligée.

$$\varphi = \frac{36 - 8}{\frac{1}{16} + \frac{0.12}{0.028} + \frac{1}{17}} = 6.36\text{W / m}^2$$

*Parois Est :

$$\varphi = \frac{41 - 8}{\frac{1}{16} + \frac{0.12}{0.028} + \frac{1}{17}} = 7.49\text{ W / m}^2$$

* Plafond :

$$\varphi = \frac{36 - 8}{\frac{1}{16} + \frac{0.12}{0.142} + \frac{0.12}{0.028} + \frac{0.12}{0.142} + \frac{1}{17}} = 4.59 \text{ W/m}^2$$

* Sol :

Pour le sol on prendra une température de 30°C.

$$\varphi = \frac{30 - 8}{\frac{1}{16} + \frac{0.07}{2.04} + \frac{0.12}{0.028} + \frac{1}{17}} = 4.63 \text{ W/m}^2$$

On remarque que toutes les valeurs de flux thermiques sont inférieures à la valeur économique recommandée (8 W/m²).

II-3 Equipements frigorifiques

II-3-1 Fonctionnement théorique

Bilan thermique des chambres froides :

Le bilan thermique permet de déterminer la puissance frigorifique des machines installées, ceci en se plaçant dans les conditions les plus défavorables.

1 Chaleur de refroidissement des denrées :

La quantité de pommes de terre introduite par jour dans la chambre froide est de 3 tonnes.

Température d'entrée des pommes de terre est de 40°C.

Température de la chambre froide est de 8°C.

$$Q1 = m * c * \Delta\theta$$

$c = 0.80 \text{ kcal / kg K}$ pour la pomme de terre.

$$Q1 = 3000 * 0.80 * (40 - 8) = 76800 \text{ kcal / j.}$$

2 Emballage :

Les denrées sont contenues dans des bacs en polyéthylène de 25 kg de chaleur massique $c_e = 0.60 \text{ kcal/kg K}$.

$$Q2 = m_e * c_e * \Delta\theta.$$

Pour les bacs en polyéthylène : $m_e = 10\% m = 0.10 * 3000 = 300 \text{ kg}$

$$Q2 = 300 * 0.60 * (40 - 8) = 5760 \text{ kcal.}$$

3 Chaleur de respiration :

En prenant une chaleur de respiration moyenne entre 40 et 8°C

$$L_r = 1500 \text{ kcal/t/24h.}$$

Au moment de nos mesures la chambre froide contenait 15 tonnes de pommes de terre.

$$Q3 = 15 * 1500 = 22500 \text{ kcal/j.}$$

4 Parois :

- Parois Est :

$$Q = \varphi * s = 7.49 * 3.50 * 2.80 = 73.40 \text{ W}$$

- Parois Ouest - Nord - Sud :

$$Q = \varphi * s = 3 * 6.36 * 3.50 * 2.80 = 186.99 \text{ W}$$

- Plafond :

$$Q = \varphi * s = 4.59 * 7.30 * 3.50 = 117.28 \text{ W}$$

- Sol

$$Q = \varphi * s = 4.63 * 7.30 * 3.50 = 118.30 \text{ W}$$

$$Q4 = \sum Q = 495.97 \text{ W} = 10251.63 \text{ kcal/j.}$$

5 Renouvellement d'air :

Pour les pommes de terre, il est recommandé un taux de renouvellement de l'air de 10 m³/tonne/24h, ce qui correspond dans notre cas à un nombre de renouvellement d'air égal à 3.

$$Q5 = N_{ra} * v / v_a * \Delta h$$

$$N_{ra} = 3$$

$v = \text{volume de la chambre froide} = 7.30 \times 3.50 \times 2.80 = 72 \text{ m}^3.$

La température de l'air entrant est : $T = 36^\circ\text{C}$

L'humidité relative de l'air entrant : $HR = 40\%$ alors $h_e = 17.9 \text{ kcal/kg}$

La température de l'air sortant est : $T = 8^\circ\text{C}$

L'humidité relative de l'air sortant : $HR = 85\%$ alors $h_i = 5.4 \text{ kcal/kg}$

$$Q_5 = 3 \times 72 / 0.895 \times (17.9 - 5.4) = 3017 \text{ kcal / j.}$$

6 Personnel :

Nous prendrons un temps de chargement de la chambre froide égale à 1 heure.
La manutention est assurée par deux personnes.

$$Q = N \times P_p \times t$$

$$N = 2; \quad P_p = 600 \text{ kcal/h}$$

$$Q = 2 \times 600 \times 1 = 1200 \text{ kcal/j}$$

7. Brassage d'air :

Nous prenons un taux de brassage de 20 volumes/heure

$$Q = 20 \times 72 \times 0.5 \times 0.736 / 4.18 \times 24 = 3043 \text{ kcal/j}$$

8. Eclairage :

La chambre froide est munie de deux ampoules de 60W chacune. la durée moyenne de l'éclairage est égale à 1H/jour.

$$Q = 2 \times 0,060 \times 1 \times 3600 = 432 \text{ kj} = 103 \text{ Kcal / j}$$

Pour tenir compte des divers inchiiffrables le bilan thermique de la chambre sera majoré de 20 %

$$\Sigma Q = 122\,675 \times 1,20 = 147\,210 \text{ Kcal / j.}$$

$$\phi_o = 6140 \text{ Kcal / h}$$

Détermination des températures d'évaporation et de condensation

– Température d'évaporation :

La température de la chambre froide T_a est de 8°C . L'écart entre la température d'évaporation T_o et la température du local est fonction de l'humidité relative du local qui est de 85 %. Pour $HR = 85 \%$, on a $\Delta T = 6^{\circ}\text{C}$. La température d'évaporation T_o sera alors de 2°C . ($T_o = T_a - \Delta T$).

– Température de condensation :

L'écart entre la température ambiante extérieure et la température de condensation est compris entre 12 et 15°C ; la température ambiante est égale à 36°C . En prenant un écart de température $\Delta T = 14^{\circ}\text{C}$, la température de condensation sera de 50°C .

Connaissant les températures d'évaporation et de condensation, le cycle du fluide frigorigène peut être tracé sur le diagramme du R12 (voir annexe 2).

Pour le tracé du cycle nous prenons une surchauffe et un refroidissement de 5°C .

Détermination des points caractéristiques du cycle frigorigène

Points	Pression (bar) P	Température T ($^{\circ}\text{C}$)	Enthal. kJ/kg h	Volume massique v (m^3/kg)
1	3,3	7	356	0,065
2	12	62	382	0,016
3	12	50	370	0,014
4	12	50	250	
5	12	45	244	
6	3,3	2	244	0,015
7	3,3	2	352	0,067

Tableau 10 : Les points caractéristiques du cycle théorique

Puissance théorique du compresseur et du condenseur

$$\phi_o = 6140 \text{ Kcal/h}$$

– Débit - masse :

$$\dot{m} = \frac{\phi_o}{h_7 - h_6} = \frac{6140}{352 - 244} \times 4,18 = 238 \text{ kg/h}$$

– Puissance du compresseur :

$$P_m = 1,25 \frac{\dot{m} * (h_2 - h_1)}{\eta_i - \eta_m} ; \eta_i = \eta_v = 1 - 0,05 \frac{12}{3,3} = 0,82$$

Prenons $\eta_m = 0,85$

$$P_m = 1,25 * 238 * \frac{(382 - 356)}{0,82 * 0,85} = 11\,098 \text{ kJ/h} = 3,08 \text{ kW}$$

– Puissance calorifique au condenseur :

• par bilan enthalpique :

$$\phi_K = \dot{m} (h_2 - h_5) = 278 * (382 - 244) = 32\,844 \text{ kJ/h}$$

$$\phi_K = 9,12 \text{ kW}$$

• par premier principe :

$$\phi_K = \phi_o + P_{abs} \Rightarrow \phi_K = 6140 + 2124 = 8264 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{abs} = \frac{P_m}{1,25}$$

$$\phi_K = 8264 \text{ Kcal/h}$$

– Coefficient de Performance (COP)

$$\bullet \text{ COP}_{\text{théorique}} = \frac{T_0}{T_K - T_0} = \frac{275}{323 - 275} = 5,75$$

$$\bullet \text{ COP}_{\text{réel}} = \frac{\phi_0}{P_{\text{abs}}} = \frac{6140}{2124} = 2,89$$

II.3.2. Fonctionnement réel

Détermination des points caractéristiques du cycle réel

Points	Pression (bar) P	Température T (°C)	Enthal. kj/kg h	Volume massique v (m³/kg)
1'	3	14	360	0,06
2'	12	72	388	0,017
3'	12	50	370	0,019
4'	12	50	250	
5'	12	36	235	0,025
6'	3	-1	235	0,085
7'	3	-1	350	

Tableau 11 : Les points caractéristiques du cycle réel

II.3.2.2. Puissance réelle du compresseur et du condenseur

La production frigorifique réelle est celle calculée plus haut dans le bilan thermique de la chambre froide.

$$\phi_0 = 6140 \text{ Kcal/h}$$

– Débit masse

$$\dot{m} = \frac{\phi_0}{h_7 - h_6} = \frac{6140}{350 - 235} * 4,18 = 223,18 \text{ kg/h}$$

– Puissance du compresseur

$$p_m = 1,25 \frac{\dot{m} * (h_2 - h_1)}{\eta_i * \eta_m} ; \eta_i = \eta_v = 1 - 0,05 \frac{12}{3} = 0,80$$

Prenons $\eta_m = 0,85$

$$p_m = 1,25 * 223,18 * \frac{388 - 360}{0,80 * 0,85} = 11.488 \text{ kJ/h}$$

$$= 3,19 \text{ kW}$$

– Puissance du condenseur = ϕ_K

• par bilan enthalpique

$$\phi_K = \dot{m} (h_2 - h_4) = 322,41 * (382 - 244) = 30799 \text{ kJ/h}$$

$$= 8,56 \text{ kW}$$

– Premier principe :

$$\phi_K = \phi_o + P_{abs} = 6140 + 2199 = 8339 \text{ Kcal/h}$$

– Coefficient de Performance ;

$$\bullet \text{ COP}_{\text{théorique}} = \frac{T_o}{T_K - T_o} = \frac{272}{323 - 272} = 5,33$$

$$\bullet \text{ COP}_{\text{réel}} = \frac{\phi_o}{P_{abs}} = \frac{6140}{2199} = 2,79$$

II.3.3. Analyse comparative des fonctionnements théorique et réel

Le tableau 12 récapitule les caractéristiques du fonctionnement théorique et réel des installation

Caractéristiques	Fonctionnement théorique	Fonctionnement réel
T_o (°C)	2	-1
T_K (°C)	50	50
Puissance frigorifique (Kcal/h)	6140	6140
Puissance compresseur (KW)	3,08	3,19
Puissance condenseur (KW)	9,12	8,56
COP théorique	5,73	5,33
COPréel	2,89	2,79

Tableau 12: Récapitulatif des caractéristiques des fonctionnements théorique et réel

Pour le fonctionnement théorique le COP réel est égal à 2,89 et le COP théorique est égal à 5,73. Ces deux valeurs sont correctes. Pour le fonctionnement réel, le COP réel est de 2,79 et le COP théorique est égal à 5,33. On peut dire en conclusion que le dimensionnement de ces machines est acceptable.

II.4. Equipements électriques

Le tableau 13 présente une synthèse des données de consommations électriques de l'entrepôt PACO. Les figures 4 et 5 présentent les courbes correspondant aux données brutes.

Une étude d'optimisation de la facturation effectuée grâce à un programme sur excel élaboré par FALL Khadim [25] nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau 14 et les figures 6 à 10.

Cette analyse nous permet de conclure que les équipements électriques sont correctement dimensionnés et bien exploités.

Tableau 13

ETUDE DE LA FACTURATION MOYENNE TENSION ET BASSE TENSION TRIPHASEE

Nom de l'abonné : PACO
Type de dégroupement : Basse tension triphase
Puissance souscrite (Kw) : 10
Assurance condensateur (EVA) : 10

SITUATION NON OPTIMISEE

10

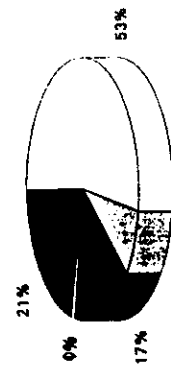
Assurance, Condensation (E.Vari)

Période	Tarif Plaine (F. CFA)	Tarif Pointe (F. CFA)	Prime Fixe (F. CFA)	Consommations					Facturation									
				Nbre d'heures (H)	Energie active H. Plaines (Kwh)	Energie active H. Pointes (Kwh)	Energie active totale (Kwh)	Energie réactive totale (KVarh)	Puissan. atteinte (Kw)	Tg phi	H. Plaines	H. Pointes	Prime Fixe	Pén. tg phi	Pén. Dépassement	Taxes	Montant calculé	Montant SONABEL
Fév.95	70 F	130 F	24 015 F	0	462	82	544	778	10	1.43	32 340 F	10 660 F	20 013 F	14 286 F	0	21 565 F	96 983 F	96 982 F
Mar.95	70 F	130 F	24 015 F	0	471	2	473	639	8	1.35	32 970 F	280 F	20 013 F	10 665 F	0	19 082 F	81 381 F	81 380 F
Avr.95	70 F	130 F	24 015 F	0	2061	19	2080	2387	9	1.14	144 270 F	2 470 F	20 013 F	21 566 F	0	44 305 F	228 105 F	228 298 F
Mai.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1040	9	1049	237	9	0.23	72 800 F	1 170 F	20 013 F	-3 980 F	0	24 943 F	112 772 F	112 771 F
Juin.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1483	24	1507	0	4	0.00	103 810 F	3 120 F	20 013 F	-10 155 F	0	30 631 F	144 589 F	144 589 F
Juil.95	70 F	130 F	24 015 F	0	966	36	1002	0	5	0.00	67 620 F	4 680 F	20 013 F	-7 385 F	0	23 951 F	106 790 F	106 790 F
Aug.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1370	41	1370	3	9	0.00	93 030 F	5 330 F	20 013 F	-9 427 F	0	26 950 F	135 207 F	135 208 F
Sept.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1185	11	1198	0	5	0.00	82 950 F	1 430 F	20 013 F	-8 351 F	0	26 323 F	120 016 F	120 017 F
Oct.95	70 F	130 F	24 015 F	0	122	0	122	0	5	0.00	8 540 F	0 F	20 013 F	-2 284 F	0	11 769 F	37 307 F	37 308 F
Nov.95	70 F	130 F	24 015 F	0	298	69	367	0	6	0.00	20 860 F	8 970 F	20 013 F	-3 987 F	0	15 722 F	60 396 F	60 395 F
Déc.95	70 F	130 F	24 015 F	0	806	329	1135	0	8	0.00	56 420 F	42 770 F	20 013 F	-9 536 F	0	28 531 F	135 545 F	135 544 F
Janv.96	70 F	130 F	24 015 F	0	666	318	984	0	8	0.00	48 620 F	41 340 F	20 013 F	-8 638 F	0	26 394 F	123 316 F	123 316 F
Totaux				0	10889	940	11829	4024			762 230 F	122 200 F	240 150 F	-17 227 F	0 F	302 167 F	1 382 409 F	1 382 598 F

Pénalités de sous-consommation : 0 F
Montant consommation annuelle : 1 382 409 F
Coût moyen du Kwh consommé : 117 F

% cons. H. Plaines sur cons. active totale : 92%
% cons. H. Pointes sur cons. active totale : 8%

Répartition de la facturation



Evolution de la facturation mensuelle (F. CFA)

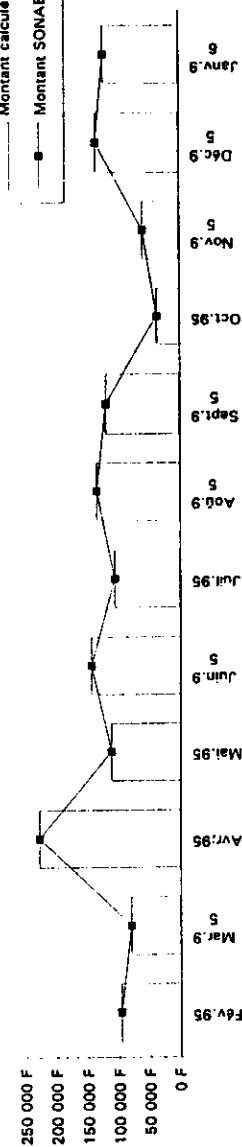


Figure 4

Figure 5

Tableau 14

ETUDE DE LA FACTURATION MOYENNE TENSION ET BASSE TENSION TRIPHASEE

Nom de l'usager : PACO
 Niveau puissance souscrite (Kw) : 10
 Puissance condensateurs à testée (KVA) : 0
 Type d'équipement : Basse tension triphasé

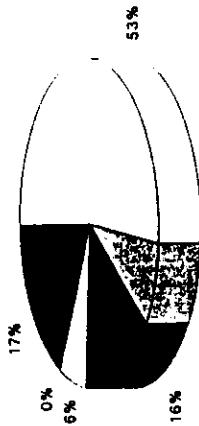
SITUATION OPTIMISEE

Facturation																		
Consommations																		
Période	Tarif Plaine (F. CFA)	Tarif Pointe (F. CFA)	Prime Fixe (F. CFA)	Nbre d'heures (H)	Energie active H. Pointes (Kwh)	Energie active H. Plaines (Kwh)	Energie réactive totale (KVarh)	Puissan. atteinte (Kw)	Tg phi	H. Plaines	H. Pointes	Prime Fixe	Pénalités tg phi	Pénalités Dépas-sement	Taxes	Montant recalculé	Montant SONABEL	
Fév.95	70 F	130 F	24 015 F	0	482	82	544	0,00	10	0,00	32 340 F	10 680 F	20 013 F	-5 041 F	0	16 765 F	74 737 F	96 982 F
Mar.95	70 F	130 F	24 015 F	0	471	2	473	0,00	8	0,00	32 970 F	280 F	20 013 F	-4 259 F	0	15 417 F	64 400 F	81 380 F
Avr.95	70 F	130 F	24 015 F	0	2061	19	2080	0,00	9	0,00	144 270 F	2 470 F	20 013 F	-13 340 F	0	31 081 F	184 494 F	228 296 F
Mai.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1040	9	1049	0,00	9	0,00	72 800 F	1 170 F	20 013 F	-7 519 F	0	21 039 F	107 503 F	112 771 F
Jun.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1483	24	1507	0,00	4	0,00	103 810 F	3 120 F	20 013 F	-10 155 F	0	25 588 F	142 375 F	144 589 F
Juil.95	70 F	130 F	24 015 F	0	966	36	1002	0,00	5	0,00	67 620 F	4 680 F	20 013 F	-7 385 F	0	20 809 F	105 736 F	108 790 F
Aug.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1329	41	1370	0,00	9	0,00	93 030 F	5 330 F	20 013 F	-9 470 F	0	24 405 F	133 308 F	135 208 F
Sept.95	70 F	130 F	24 015 F	0	1185	11	1196	0,00	5	0,00	82 950 F	1 430 F	20 013 F	-8 351 F	0	22 476 F	118 517 F	120 017 F
Oct.95	70 F	130 F	24 015 F	0	122	0	122	0,00	5	0,00	8 540 F	0 F	20 013 F	-2 284 F	0	12 010 F	38 278 F	37 308 F
Nov.95	70 F	130 F	24 015 F	0	298	69	367	0,00	6	0,00	20 860 F	8 970 F	20 013 F	-3 987 F	0	14 948 F	60 803 F	60 395 F
Déc.95	70 F	130 F	24 015 F	0	806	329	1135	0,00	8	0,00	56 420 F	42 770 F	20 013 F	-9 536 F	0	24 519 F	134 186 F	135 544 F
Janv.96	70 F	130 F	24 015 F	0	666	318	984	0,00	8	0,00	46 620 F	41 340 F	20 013 F	-8 638 F	0	22 970 F	122 304 F	123 316 F
				0	10889	940	11829	0			762 230 F	122 200 F	240 150 F	-89 986 F	0 F	252 027 F	1 288 640 F	1 382 596 F
TOTAL																		

Montant SONABEL : 1 382 596 F
 Montant consommation annuelle : 1 288 640 F
 Economie réalisée : 99 956 F
 Coût moyen du Kw optimisé : 109 F

Coût des batteries de condensateurs : 0 F
 Economie sur les pénalités de tension phi : 72 740 F
 Temps de retour de l'investissement : 0 mois

Nouvelle répartition de la consommation



Evolution de la facturation après optimisation

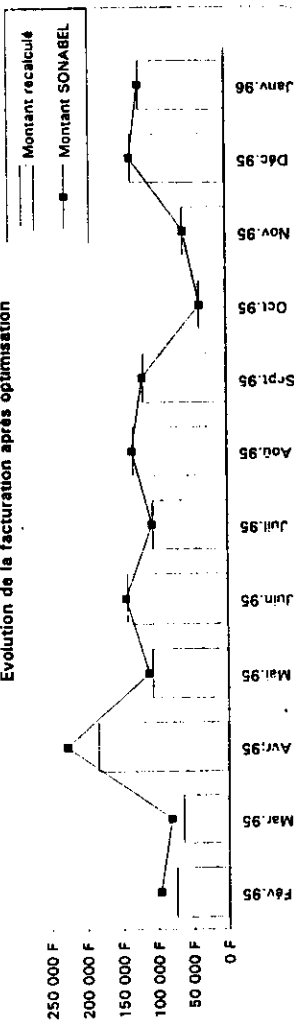


Figure 6

Figure 7

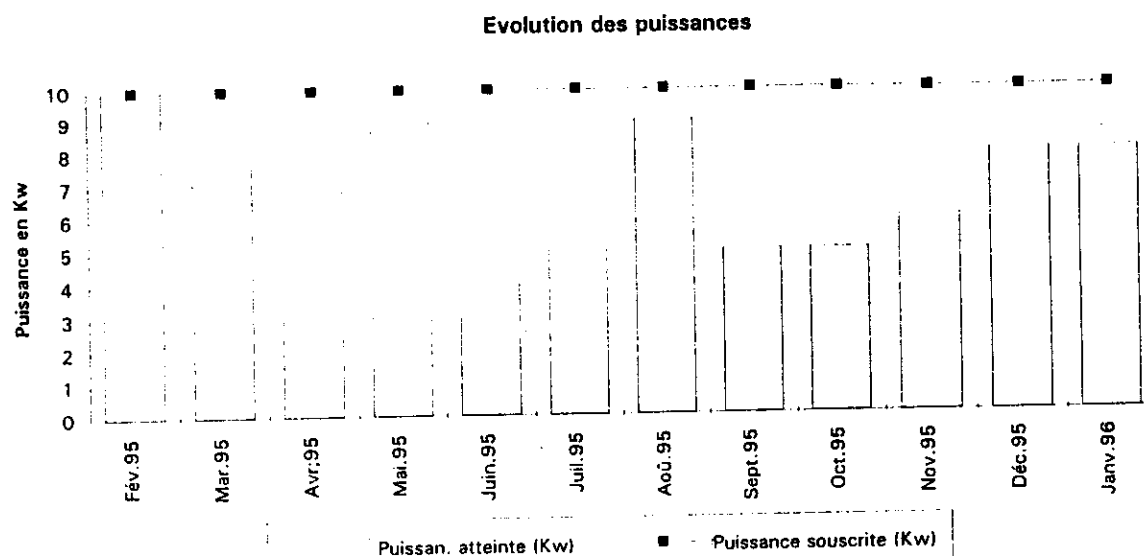


Figure 8

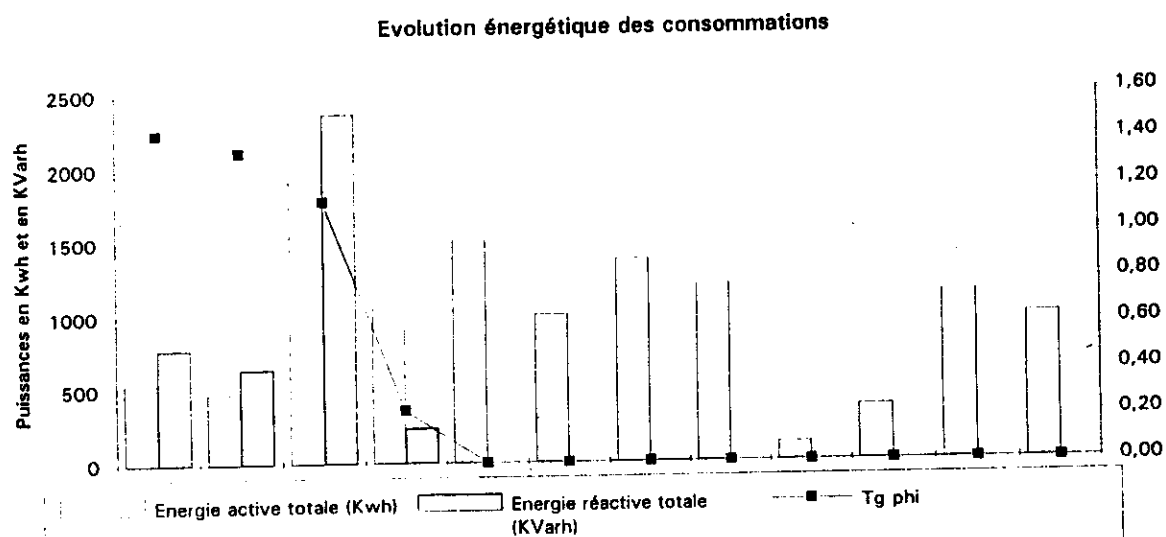


Figure 9

OPTIMISATION DE LA PUISSANCE SOUSCRITE

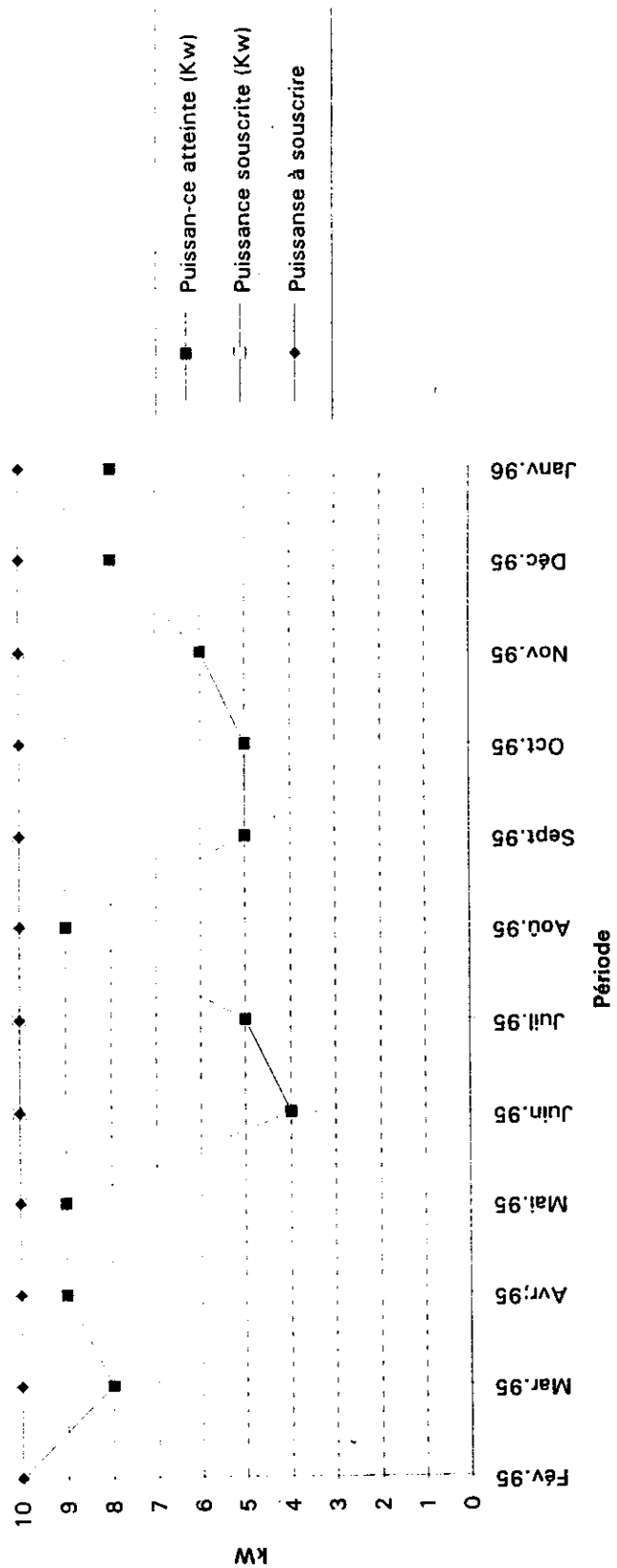


Figure 10

CONCLUSION

On peut conclure que le dimensionnement de ces machines est acceptable et correct du point de vue énergétique. Un bilan exergetique aurait pu permettre d'affiner ce résultat.

RECOMMANDATIONS

Suite au diagnostic technique, les recommandations suivantes doivent être prises en compte pour améliorer l'exploitation de l'unité frigorifique de l'établissement PACO :

- prévoir des auvents aux façades Est et Ouest de l'entrepôt pour permettre de réduire l'influence des rayonnements solaires.
- peindre les surfaces extérieures des murs avec une peinture de couleur blanche.
- prévoir un écran anti-vapeur sur la face extérieure de l'isolation des tuyauteries pour la protéger du givrage
- nécessité des camions frigorifiques
- prévoir un groupe électrogène
- prévoir le remplacement du R12 et R22 par les fluides de substitution
- limiter la fréquence d'ouverture des portes
- assurer un gerbage convenable pour permettre une bonne circulation d'air entre les produits entreposés
- éviter le contact des produits entreposés avec les parois de la chambre froide
- respecter la densité d'entreposage recommandée
- installer un humidificateur.

TROISIEME PARTIE
DIAGNOSTIC ECONOMIQUE

INTRODUCTION

Le diagnostic économique nous permet d'apprécier la rentabilité de l'exploitation des entrepôts frigorifiques. Cette étude économique porte sur l'établissement PACO (Etablissement de Production Agricole et de Commercialisation des Fruits et Légumes). Il s'agira dans un premier temps de déterminer le coût des investissements et leur mode de financement. Dans un second temps on déterminera les charges et on terminera par une étude de rentabilité. L'établissement PACO, créé en 1994, s'occupe de l'achat, du conditionnement, de la conservation et de la vente de légumes (haricot vert, pomme de terre). Le flux réel de ses activités est le suivant :

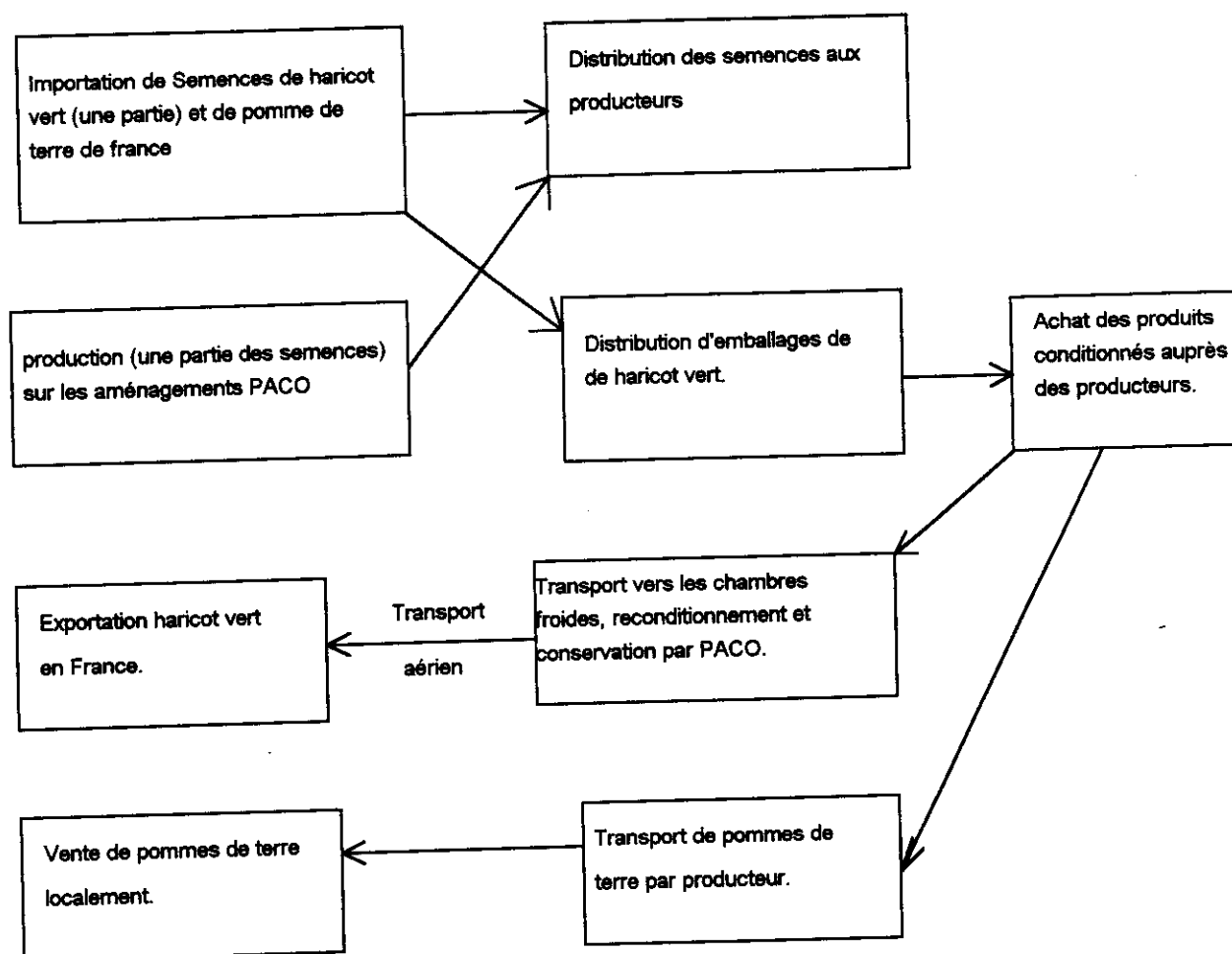


Fig. 11 : Flux d'activité de l'établissement PACO

Les semences de haricot vert et de pomme de terre sont achetées auprès de clients basés en France. Les semences de haricot vert sont revendues aux producteurs locaux au même prix d'achat. C'est en quelque sorte comme un appui aux producteurs locaux. Les semences de pomme de terre sont revendues à tous ceux qui le désirent avec une marge de 19 % du prix d'achat. Les cartons

d'emballages sont ensuite distribués aux fournisseurs (producteurs) qui se chargent du conditionnement du haricot vert ; le produit est transporté à l'entrepôt par PACO qui se charge du reconditionnement et du traitement dans les chambres froides. Toute boîte non conforme au poids conventionnel de 2,50 kg est retournée au producteur.

A la sortie des chambres froides, le haricot vert est expédié par avion en France où il est commercialisé.

Quant aux pommes de terre, leur vente se fait localement. Elles sont transportées à l'entrepôt dans des sacs jutes ajourés. Le transport reste à la charge des producteurs et les sacs leur sont restitués après vente.

I. EVALUATION ECONOMIQUE

I.1. Investissements

L'Etablissement PACO a effectué un investissement d'un coût global de 112 millions de FCFA tout réalisé en 1994. Ces dépenses d'investissement concernent le génie civil, les équipements frigorifiques, les véhicules, et à l'installation du matériel d'irrigation, les motopompes et les containers frigorifiques.

Génie civil

L'établissement dispose d'un entrepôt comprenant deux chambres froides, une salle de conditionnement et d'un hangar en tôle aménagé comme abri pour les machines frigorifiques. (Pour le plan des locaux se référer à la figure 2 du diagnostic technique). Les chambres froides sont en panneaux préfabriqués et ont toutes les mêmes caractéristiques sauf que les groupes moto-compresseurs qui les desservent en froid sont de types différents. La capacité maximale des chambres froides est de 10 tonnes chacune pour le haricot vert et 25 tonnes pour les pommes de terre. La durée de conservation maximale est de 3 jours pour le haricot vert et sept (7) mois pour les pommes de terre.

Le coût des réalisations du génie civil est estimé à 38 000 000 FCFA soit 34 % du coût global des investissements. Il est considéré comme un matériel neuf sauf que l'isolation des chambres froides est faite à partir du polyuréthane de récupération. C'est pour cette raison que nous adopterons une durée de vie de 10 ans pour le génie civil.

Equipements frigorifiques

Le froid est produit par deux groupes moto-compresseurs de type différent. C'est une installation décentralisée. Le groupe moto-compresseur alimentant la chambre 1 fonctionne au R12 et celui alimentant la chambre 2

fonctionne au R22. Il faut noter qu'un équipement frigorifique est constitué d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur. Le coût global de ces équipements frigorifiques est de 24 000 000 FCFA soit 22 % du coût total des investissements. Les équipements frigorifiques sont payés d'occasion. (La durée de vie à affecter est de 5 ans).

Véhicules

Trois (3) véhicules d'occasion sont acquis pour un coût global de 7 000 000 FCFA, soit 6 % du coût des investissements. Leur durée de vie peut être estimée à 5 ans. Ces véhicules sont affectés au transport du haricot vert.

Aménagements (matériel d'irrigation)

L'établissement dispose d'un aménagement sur lequel il produit les semences de haricot vert. Cet aménagement est réalisé à 23 000 000 FCFA soit 21 % du coût global des investissements. C'est un investissement considéré comme neuf, donc pouvant avoir une durée de vie de 15 ans.

Motopompes

Des motopompes neuves ont été achetées au coût de 13 000 000 pour assurer l'irrigation des haricots verts. Leur durée de vie peut être estimée à 15 ans.

Containers

Trois (3) containers d'occasion ont été acquis pour un montant global de 7 000 000 FCFA soit 6,25 % du coût des investissements. Leur durée de vie est de 5 ans. Ces containers sont actuellement en panne et se trouvent dans la zone fret de l'Aéroport.

I-2 Financement des investissements

Tous les investissements sont financés sur fonds propres. Il n'y a aucun accord de partenariat avec les clients Français ; chacun est libre de ses engagements et d'ailleurs PACO n'est pas le seul fournisseur de ses clients. Bien que les investissements de 112 000 000 FCFA soient élevés pour un particulier, c'est une activité que le promoteur préparait depuis près de 20 ans.

Monsieur SAOURA Janvier, Directeur de l'Etablissement PACO, est Ingénieur Agronome de formation. Il a travaillé pendant 25 ans dont 10 ans comme Directeur de l'UCOBAM, une entreprise de commercialisation des fruits et légumes. Il a commencé la préparation de son projet dès 1976 en assistant les producteurs sur le plan technique et économique; il prenait des légumes auprès de

ses fournisseurs, les entreposait dans des containers de location, puis les revendait à des clients Français. Les producteurs n'étaient payés qu'après la vente des produits et le retrait de ses bénéfices. C'est ainsi que les activités de PACO ont évolué pour en arriver à la création de la structure que nous connaissons aujourd'hui sur fonds propres.

I-3 Les charges

L'établissement PACO se charge de l'achat de haricot vert et de pommes de terre auprès des producteurs Burkinabè qu'il entrepose dans ses chambres froides et les revend aux clients Français. De ces clients, il paye les semences de pommes de terre et de haricot vert qu'il fournit aux producteurs. Le haricot vert est revendu au prix d'achat. Cette spéculation sert d'appui à ses producteurs mais n'a pas un grand effet sur le plan économique contrairement aux semences de pommes de terre. Pour cela la structure importe (2000 kg) tout juste le complément de ce qu'il produit (3000 kg) pour satisfaire les besoins de ses producteurs. 25 tonnes de semences de pomme de terre sont achetées à 775 FCFA le kg et revendues à 925 FCFA. Cette quantité étant supérieure aux besoins de ses producteurs (7 tonnes) le reste est vendu à d'autres particuliers. L'établissement PACO fournit aussi des engrais à ses producteurs. C'est aussi sous forme d'appui c'est-à-dire sans faire de bénéfice sur la vente de ce produit. La diversification des produits à commercialiser fait partie des objectifs de PACO sauf que des problèmes financiers se posent. L'établissement PACO travaille surtout dans les pommes de terre et le haricot vert, parcequ'il intervient déjà en amont de cette filière (semences, engrais).

PACO a acheté 250 tonnes de haricot vert auprès de ses producteurs Burkinabès au prix de 325 FCFA le kg. La commercialisation de ce produit est faite sur une période de 5 mois (de Novembre à Mars). A la sortie des chambres froides, le haricot vert est revendu aux grossistes Français pour un prix de 1500 FCFA le kg. Un problème de débouché dû au manque de liaison en direction des autres pays se pose. La variété de haricot vert commercialisée par PACO est beaucoup plus sollicitée en France. Quant aux pommes de terre, elles sont revendues localement. Ceci est dû au fait que la pomme de terre reste présente dans les habitudes alimentaires et que le marché local n'est pas saturé. PACO a commercialisé 45 tonnes de pommes de terre qu'il a conservées dans ses chambres froides et 6 autres tonnes qu'il a payées localement à la fin de son stock. La conservation et la commercialisation des pommes de terre ont duré 7 mois, (de Février à Août). Les pommes de terre et les semences sont payées transport compris jusqu'à l'entrepôt. Elles sont transportées dans des sacs jûtes qui sont restituées aux producteurs.

Le haricot vert est payé au bord des champs et PACO se charge du transport jusqu'à l'entrepôt. Les frais de transport sont évalués en carburant. Les

250 tonnes de haricot vert sont conditionnés dans des boîtes de 2,5 kg soit 100 000 boîtes achetées à 350 FCFA l'unité. Le kg de haricot vert est revendu au client en France à 1500 FCFA, mais de ce prix il faut déduire 616 000 FCFA par tonne servant de frais de transport aérien, 100 FCFA par kg de transitaire et 150 FCFA par kg comme charge de commission du vendeur.

Les assurances concernent les produits affectés à l'exportation. Les pommes de terre étant vendues sur place ne sont pas concernées par cette rubrique.

Electricité

Les dépenses d'électricité sont de l'ordre de 1 330 000 FCFA dont 445 000 FCFA pour le haricot vert et 885 000 FCFA pour ses pommes de terre. Cette faible charge d'électricité est due au fait que PACO a installé des batteries de condensateurs pour la correction de son facteur de puissance et maîtrise bien sa consommation en électricité. Les machines sont mises en marche entre 19 heures et 10 heures période où le prix du kWh est faible.

L'entretien concerne la maintenance préventive et la recharge en fluides frigorigènes. Il est reparti à part égale sur la pomme de terre et le haricot vert.

Le téléphone est affecté à 87,5 % pour le haricot vert et 12,5 % pour les semences de pommes de terre.

Impôts et taxes

PACO paye 5 760 000 FCFA d'impôts et taxes dont 5 505 000 FCFA affectés au haricot vert et 255 000 FCFA la pomme de terre. Cette disproportion est due au fait que PACO paye 525 000 FCFA de TVA et frais de douane pour les emballages de haricot vert et les 510 000 FCFA restant de taxe sont répartis à part égale au haricot vert et aux pommes de terre.

Les salaires sont payés pour un montant de 2 150 000 FCFA dont 1 400 000 FCFA affectés au haricot vert et 750 000 FCFA aux pommes de terre. Notons que pendant la commercialisation du haricot vert, les activités étant importantes, il y a recrutement de 7 personnels temporaires, la présence en permanence du chauffeur et des manutentionnaires. En période de commercialisation des pommes de terre le personnel temporaire est libéré, le chauffeur est payé qu'au quart de son salaire puisqu'il n'est pas sollicité et seul le manutentionnaire et le technicien sont pris en charge durant cette période.

Amortissements

Les amortissements sont linéaires

Le génie civil et les équipements frigorifiques sont répartis au haricot vert et à la pomme de terre selon leurs périodes d'exploitation. Les containers en panne sont répartis en parts égales et l'amortissement du matériel d'irrigation et des motopompes est affecté au haricot vert puisqu'ils n'ont servi qu'à la production des semences de haricot vert.

L'amortissement des véhicules qui n'ont servi qu'au transport du haricot vert est affecté au haricot vert.

Le tableau 15 présente la répartition des amortissements

Rubriques	Valeur initiale	Durée de vie	Montant global des amortissements	Montant affecté au haricot vert	Montant affecté aux pommes de terre
Génie Civil	38 000 000	10 ans	3 800 000	1 583 333	2 216 667
Equipements frigorifiques	24 000 000	5 ans	4 800 000	2 000 000	2 800 000
Containers	7 000 000	5 ans	1 400 000	700 000	700 000
Véhicules	7 000 000	3 ans	2 330 000	2 330 000	-
Matériel d'irrigation	23 000 000	15 ans	1 530 000	1 530 000	-
Motopompes	13 000 000	15 ans	867 000	867 000	-
TOTAL	112 000 000	-	15 011 000	9 011 000	6 000 000

Tableau 15 : Répartition des amortissements

Etablissement du compte de résultat :

Le compte de résultat est fonction des charges et des ventes. Des résultats issus de nos enquêtes, il ressort que la campagne commerciale de PACO commence en Novembre 1994 pour se terminer en Août 1995. De ce fait nous établirons un compte de résultat annuel du 1er Novembre 1994 au 31 Octobre 1995.

Calcul des ventes

L'établissement PACO a vendu aux clients Français 250 tonnes de haricot vert transportés jusqu'au lieu de vente en France. Une perte de 3% est prévue éventuellement pour les problèmes de transport aérien. Le haricot est vendu à 1500 FCFA le kg.

- Vente de haricot vert : $250\,000\text{ kg} * 1500 * 0,97 = 363\,750\,000\text{ FCFA}$
- Vente de pommes de terre : $51\,000\text{ kg} * 350 = 17\,850\,000\text{ FCFA}$
- Vente de semences de pommes de terres
: $23\,000\text{ kg} * 925 = 21\,275\,000\text{ FCFA}$

Calcul des achats

- Achat de haricot vert : 250 000 kg * 325 = 81 250 000 FCFA
- Achat de pommes de terre : 51 000 kg * 200 = 10 200 000 FCFA
- Semences de pommes de terres : 23 000 kg * 775 = 17 825 000 FCFA
- Emballages : 100 000 boites * 350 = 35 000 000 FCFA

Les semences de haricot vert et les engrais étant vendus au prix d'achat sont sans incidence économique, nous avons jugé mieux de ne pas en tenir compte dans le compte de résultat.

Compte de résultat du 1er Novembre 1994 au 31 Octobre 1995

	Global	Haricot vert	Pomme de terre
<u>Ventes :</u>			
* haricot vert	363 750 000	363 750 000	-
* Pommes de terre	17 850 000	-	17 850 000
* semences de pommes de terre	21 275 000	-	21 275 000
Total vente	402 875 000	363 750 000	39 125 000
<u>Charges :</u>			
* achat haricot vert	81 250 000	81 250 000	-
* achat pommes de terre	10 200 000	-	10 200 000
* achat semences pommes de terre	17 850 000	-	17 850 000
* emballage	35 000 000	35 000 000	-
* électricité	1 330 000	445 000	885 000
* transport aérien	154 000 000	154 000 000	-
* transitaire	24 250 000	24 250 000	-
* carburant	3 504 000	3 504 000	-
* entretien	1 500 000	750 000	750 000
* téléphone	1 800 000	1 575 000	225 000
* assurance	5 004 000	5 004 000	-
* commission vendeurs	36 375 000	36 375 000	-
* salaires	2 150 000	1 400 000	750 000
* impôts et taxes	5 760 000	5 505 000	255 000
* frais financiers	-	-	-
* amortissements	15 011 000	9 011 000	6 000 000
Total charge	394 959 000	358 069 000	36 890 000
Bénéfice	8 200 000	5 681 000	2 235 000

Tableau 16 : Compte de résultat du 1er Novembre 1994 au 31 Octobre 1995

II. ETUDE DE RENTABILITE

II.1. Calcul du délai de récupération

Le délai de récupération est le temps nécessaire pour que les ventes équilibrent les coûts des investissements après déduction des charges.

L'établissement a investi 112 000 000 FCFA et a réalisé un bénéfice de 8 200 000 FCFA en une année d'exploitation de l'entrepôt. Le délai de récupération s'obtient par une simple règle de trois.

$$\text{Le délai de récupération} = \frac{12 \text{ mois} * 112\,000\,000}{8\,200\,000} = 163,90 \text{ mois}$$

$$= 13 \text{ ans } 7 \text{ mois } 26 \text{ jours.}$$

Le délai de récupération est de 13 ans 7 mois 26 jours. Ce délai est élevé.

II.2. Calcul du seuil de rentabilité

Le seuil de rentabilité est déterminé en fonction des charges fixes et des charges variables.

Les charges variables sont les charges liées à l'activité de l'entreprise. Elles évoluent proportionnellement au chiffre d'affaire. Pour l'établissement PACO, les charges variables sont :

– achat de haricot vert	81 250 000 FCFA
– achat des semences de pommes de terre	17 825 000 FCFA
– achat de pommes de terre	10 200 000 FCFA
– emballages du haricot vert	35 000 000 FCFA
– transport aérien	154 000 000 FCFA
– transitaire	42 250 000 FCFA
– commission vendeurs	36 375 000 FCFA
Soit un total de	358 900 000 FCFA

Les charges fixes sont liées à la structure de l'entreprise. Ce sont des charges qui n'évoluent pas quelque soit le chiffre d'affaire de l'entreprise.

Pour l'établissement PACO, ce sont :

– l'électricité	1 330 000 FCFA
– le carburant	3 504 000 FCFA
– l'entretien	1 500 000 FCFA
– le téléphone	1 800 000 FCFA
– les assurances	5 004 000 FCFA
– les salaires	2 150 000 FCFA
– les impôts et taxes	5 760 000 FCFA
– les amortissements	15 011 000 FCFA
Soit un total de	35 775 000 FCFA

– les charges fixes	35 775 000 FCFA
---------------------	-----------------

– les charges variables	358 900 000 FCFA
– les chiffres d'affaires	402 875 000 FCFA

Le pourcentage des charges variables qui rentre dans le chiffre d'affaires est égal à $\frac{358\,900\,000}{402\,875\,000} = 0,89 = 89\%$

Le taux de marge sur coût variable est égal à $1 - 0,89 = 0,11$
 Le seuil de rentabilité est égal à $= 11\%$.

$$\frac{\text{Charges fixes}}{\text{Taux de marge sur coût variable}} = \frac{35\,775\,000}{0,11} = 325\,227\,273 \text{ FCFA}$$

Le seuil de rentabilité est de 325 227 273 FCFA et le chiffre d'affaire est de 402 875 000 FCFA. On remarque que le chiffre d'affaires couvre 1,24 fois le seuil de rentabilité. Alors le projet est rentable.

II-3 Analyse de la trésorerie

– Flux financier

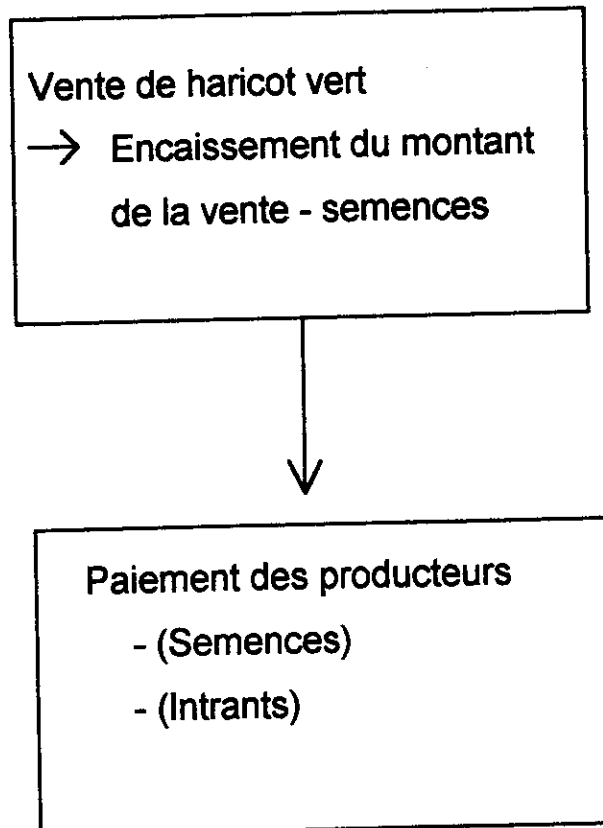


Fig. 12 : Flux financier

– Trésorerie

La trésorerie nécessaire pour le fonctionnement de cette entreprise (frais généraux, salaires, impôts et taxes, carburant, etc.) est financée par la campagne précédente.

PACO encaisse la vente des haricots à l'exportation et ne paye les producteurs, les semences qu'après. Donc il n'y a pas de problème de trésorerie. Les besoins en fond de roulement sont faibles.

– Calcul des ratios

* Haricot vert

$$\begin{aligned} & \text{– prix de revient du kg de haricot vert à la sortie des chambres froides} \\ & = \frac{143\,443\,333}{250\,000} = 574 \text{ FCFA / kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– prix de revient du kg de haricot pour les clients Français} = \\ & \frac{358\,068\,333}{250\,000} = 1432 \text{ FCFA / kg} \end{aligned}$$

* Pommes de terre

$$\text{– prix de revient du kg de pommes de terre à la sortie des chambres froides :}$$

Charges de pommes de terre = 4 178 334 soit 50 % des charges totales des semences et pommes de terre.

$$\begin{aligned} \text{Prix de revient} &= \frac{4\,178\,334 + 10\,200\,000}{51\,000} \\ &= \frac{14\,378\,334}{51\,000} = 282 \text{ FCFA / kg} \end{aligned}$$

* Semences de pommes de terre :

$$\begin{aligned} & \text{– charges de semences de pommes de terre} \\ & = 4.178.334 + 225.000 = 4.403.334 \end{aligned}$$

– prix de revient du kg de semences de pommes de terre

$$\frac{17\,825\,000 + 4\,403\,334}{23\,000} = 966 \text{ FCFA/kg}$$

	Prix d'achat FCFA/kg	Prix de revient sortie chambres froides FCFA/kg	Prix de revient en France FCFA/kg	prix de vente FCFA/kg
Haricot vert	325	574	1432	1500
Pommes de terre	200	282	-	350
Semence de pommes de terre	775	966	-	925

Tableau 17 : Comparatif des prix du kg de haricot vert, des pommes de terre et des semences de pommes de terre

Nous remarquons que le prix de revient du haricot sur le marché Français atteint plus du double du prix de revient du kg de haricot vert sorti des chambres froides. ceci s'explique par le coût très élevé du transport aérien. néanmoins, on arrive à réaliser un bénéfice de 68 FCFA/kg. La pomme de terre est également rentable, hormis le coût élevé des semences dû à la taxe douanière relativement forte.

Calcul du prix de revient du m³ d'entreposage :

Les charges dues à l'entreposage sont l'électricité, l'entretien et les salaires soit un montant global de 4 980 000 FCFA. Le volume de la chambre froide est de 72 m³. Le prix de revient du m³ d'entreposage est égal à :

$$\frac{4\,980\,000}{72} = 69\,167 = 70\,000 \text{ FCFA/m}^3 \text{ pour une durée de 10 mois}$$

Le coût mensuel du m³ d'entreposage est de 7000 FCFA/m³.

CONCLUSION

Cette étude montre que l'exploitation des entrepôts frigorifiques est une activité économiquement rentable.

L'établissement a réalisé un bénéfice de 5 681 000 FCFA en 5 mois d'activité pour le haricot vert et 2 235 000 FCFA en 7 mois pour les pommes de terre. Ces bénéfices pourraient croître si les frais de transport aérien et les taxes douanières enregistreraient des diminutions. Par ailleurs, le délai de récupération des investissements doit être réduit. Le seuil de rentabilité de 325 227 273 FCFA confirme la rentabilité de cette activité.

En conclusion, on peut dire que la commercialisation des légumes est une activité rentable mais des dispositions doivent être prises pour la survie de cette activité.

RECOMMANDATIONS

Pour améliorer la rentabilité de la commercialisation des légumes, les recommandations suivantes sont à considérer :

- créer d'autres débouchés pour la vente des produits
- diversifier les produits à entreposer pour étendre d'exploitation des chambres froides sur toute l'année
- restructurer la filière des fruits et légumes
- améliorer la qualité des produits pour être à l'abri de la concurrence
- organiser les paysans pour une production échelonnée sur toute l'année et limiter les fluctuations saisonnières
- mettre les chambres froides en location pendant les périodes mortes.

CONCLUSION GENERALE

A travers cette étude nous espérons avoir apporté quelques éclaircissements sur les problèmes technico-économiques liés à la construction et à l'exploitation des entrepôts frigorifiques en Afrique sahélienne.

Il ressort de ce travail que le kg de haricot vert acheté à 325 FCFA, sort des chambres froides à un coût de 574 FCFA, pour être exporté à un prix de 1432 FCFA. Quant à la pomme de terre destinée à la consommation locale, elle est achetée à 200 FCFA/kg, et sort des chambres froides à 282 FCFA/kg, pour être revendue localement à 350 FCFA/kg. D'une manière générale, le coût mensuel d'entreposage en chambre froide est d'environ 7000 FCFA/m³.

Les résultats obtenus à partir de l'étude de l'établissement PACO peuvent contribuer positivement à l'élaboration ou à l'évaluation de projets d'entrepôts frigorifiques en Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Production de Froid, Thomas DJIAKO, Professeur EIER
2. Manuel de l'entreposage frigorifique dans les pays chauds en développement 1990. Institut International du Froid (IIF) 177 boulevard - Malesherbes, 75017 - Paris (France).
3. Les techniques du froid dans les pays chauds en développement (IIF) 1976
4. Guide pratique de l'entreposage frigorifique (IIF) 1965
5. Manuel technique du froid. Le Nouveau Pohlman. MAAKE-Eckert. 1983
PYC Edition 254, rue de Vaugirad - 75740 Paris Cedex 15.
6. Les techniques frigorifiques dans les pays chauds en voie de développement (IIF. 1964)
7. Installations frigorifiques. P.J. Rapin/P. Jacquard - 1992. PYC Edition, 5, Avenue de Verdum, BP 105, 94208 IVRY-Sur-Seine Cedex.
8. Guide de l'entreposage frigorifique (IIF) 1976
9. Application du froid au produits périssables en Afrique. Séminaire International Ouagadougou, Haute Volta 4 - 14 Juillet 1979.
- 10 Entrepôts frigorifiques Transports frigorifiques, IIF Savit Jacques de compestelle (Espagne) 25-29- Septembre 1962
- 11 Entrepôts frigorifiques, IIF Dublin (Irland 1-4 Septembre 1964)

12. Etude d'une chambre froide de stockage de légumes sur un périmètre isolé
EDR. Mémoire fin d'Etude NGameni Emmanuel EIER 1983.
13. Conception d'une chambre froide - Bilan frigorifique
Détermination des composantes optimisation
Mémoire de fin d'étude ILLARY Appolinaire - EIER - 1989.
14. Etude énergétique d'un entrepôt frigorifique de la place.
Mémoire de fin d'Etudes - TROP Tenissous - EIER - 1990.
15. Calcul de rentabilité économique d'une opération de transformation d'un
groupe frigo
Mémoire de fin d'études - SORRY Alassoum - EIER - 1992
16. Factibilités d'équipements frigorifiques. Investissement rentabilité (entrepôts
frigorifiques, fabrique de glace) - Mémoire de fin d'études
BANTOUNGOU Stanislas - EIER 1993
17. Fabrique de glace du SOBBRA
Diagnostic de l'installation frigorifique et analyse critique des conditions
d'exploitation - Mémoire de fin d'études - COULIBALY Adama - EIER 1993.
18. Les enjeux du Protocole de Montréal dans les pays en développement
Mémoire de fin d'études - SARR Ibrahima - EIER 1995
19. Etude d'une mûrisserie de bananes à Ouagadougou
Mémoire de fin d'études - OUMAROU Saley - EIER 1995
20. Audit Energétique d'un entrepôt frigorifique
Mémoire de fin d'études - DIALLO Mamadou Moustapha - EIER 1995
21. Cours de Gestion des entreprises - Fabrice COUPEL, Professeur EIER

22. Cours de Micro-économie - Fabrice COUPEL , Professeur EIER
23. Synthèse et actualisation des communications présentées lors du Séminaire International de Ouagadougou en Juillet 1979 - THOMAS Djiako.
24. Frigorigènes et réglementation
AT Consultant R & D 11 Passage du Poerche. F-77400 Saint Thibault des Vignes.
25. Analyse et optimisation de la facturation d'électricité, et de combustible dans l'industrie et le bâtiment - Mémoire de fin d'études - FALL Khadim -EIER. 1996

ANNEXES

ANNEXE I

RÉGLEMENTATION DES FRIGORIGÈNES

1 LE PROTOCOLE DE MONTRÉAL

Le protocole de Montréal, signé le 16 Septembre 1987 par 57 pays (comprenant les principaux producteurs de CFC, à l'exception de la Chine et de l'Inde), définit une limitation de la production des composés ayant un effet négatif sur la couche d'ozone. Ce sont principalement les chlorofluorocarbures qui sont visés bien qu'ils ne représentent qu'une part relative du problème. Il est à noter que cette réglementation ne concerne que la production par une limitation progressive sur la base des valeurs de 1986.

Les fluides concernés sont repris dans deux annexes:

- Annexe A Groupe 1: CFC 11, 12, 113, 114, 115
- Annexe A Groupe 2: Halon 1211, 1301, 2402
la désignation Halon correspond aux agents extincteurs mais certains sont également utilisés comme fluides frigorigènes; par exemple le R 13B1 n'est autre que le Halon 1301.

Le protocole de Montréal prévoyait un calendrier de réduction simple à savoir:

- 1989 gel de la production des CFC au niveau de 1986
- 1992 gel de la production des Halons au niveau de 1986
- 1993 réduction de la production des CFC de 20%
- 1998 réduction de la production des CFC de 50%

Une des particularités de ce protocole est qu'il n'est pas figé et est défini comme devant être amendé en fonction des informations scientifiques et des possibilités de l'industrie de fabriquer des produits de substitution.

2 LA RÉVISION DE LONDRES

Le protocole de Montréal a été amendé lors d'une réunion des Nations Unies à Londres le 29 Juin 1990. Cet amendement porte tant sur l'éventail des produits visés que sur le calendrier d'application.

Les fluides concernés sont repris dans trois annexes supplémentaires:

- Annexe B Groupe 1: Tous les Chlorofluorocarbures complètement halogénés comportant 1, 2 ou 3 atomes de carbone.
- Annexe B Groupe 2: Tétrachlorure de carbone.(C Cl₄ ; R 10)
- Annexe B Groupe 3: Méthyle-chloroforme (1,1,1-Trichloroéthane ; C H₃ - C Cl₃ ; R 140a)

Les mélanges seront considérés en fonction du titre massique du composant réglementé. Tous les isomères sont considérés à l'exception du R 140 en raison de sa vie dans l'atmosphère très courte.

Le calendrier d'application devient plus compliqué et le tableau suivant permet une vue d'ensemble plus claire:

Limitation de la production (base 1986)	Annexe A Groupe 1 CFC	Annexe B Groupe 1 autres CFC	Annexe A Groupe 2 Halon	Annexe B Groupe 2 R 10	Annexe B Groupe 3 R 140a
Gel	1989		1992		1993
-20%		1993			
-30%					1995
-50%	1995		1995		
-70%					2000
-85%	1997	1997		1995	
-100%	2000	2000	2000	2000	2005

D'autre part a été défini un groupe des "fluides de transition" comprenant les HCFC comprenant 1, 2 ou 3 atomes de carbone à faible coefficient ODP pouvant être utilisés en attendant que des fluides à ODP nul soient disponibles sur le marché. Des recommandations sont établies pour ces fluides afin de minimiser leurs rejets à l'atmosphère. En tout état de cause ces fluides devront disparaître au plus tard en 2040.

Les signataires du protocole ont convenu de se rencontrer de nouveau en octobre 1992 à Copenhague pour un nouvel amendement.

3 LA RÉVISION DE COPENHAGUE

Le protocole de Montréal a été amendé lors d'une réunion des Nations Unies à Copenhague le 25 Novembre 1992. Cet amendement porte tant sur l'éventail des produits visés que sur le calendrier d'application.

Fluides CFC:

- Arrêt de la production au 31 Décembre 1995

Fluides Halons:

- Arrêt de la production au 31 Décembre 1993

Fluides HCFC:

- A partir du 01/01/96 la consommation sera plafonnée à 3,1% (T x ODP) de la quantité de CFC de 1989 plus la quantité de HCFC 1989.
- L'emploi des HCFC sera limité là où il n'y a pas d'alternative.
- Pas d'application usuelle sauf raisons vitales.
- Veiller à une mise en oeuvre de qualité.

4 LA RÉGLEMENTATION DE LA CEE

Le Conseil Européen a décidé d'avancer d'un an la date d'arrêt de production des CFC.

Fluides CFC (R-11, R-12, R-13, R-502, etc.):

- Production arrêtée le 31 Décembre 1994

Fluides Halons (R-13B1):

- Production arrêtée le 31 Décembre 1993

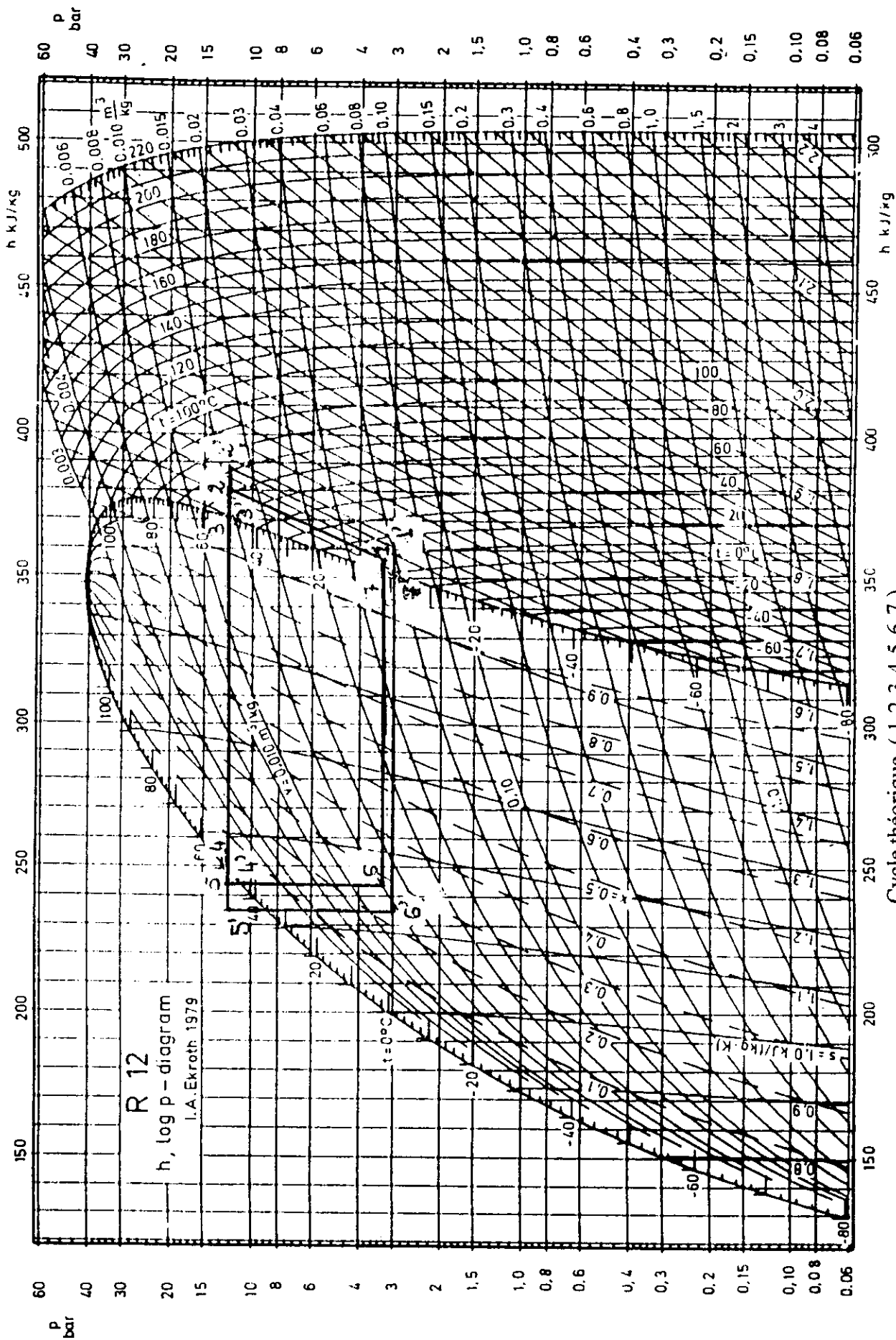
Fluides HCFC (R-22, etc.):

- Arrêt de la production au 31 Décembre 2014
- A partir du 01/01/96 la consommation sera plafonnée à 2,6% (T x ODP) de la quantité de CFC de 1989 plus la quantité de HCFC 1989.
- Réduction de 35% à compter du 01/01/2004
- Réduction de 60% à compter du 01/01/2007
- Réduction de 80% à compter du 01/01/2010
- Réduction de 95% à compter du 01/01/2013
- Interdiction d'emploi pour applications "à fluide perdu" et climatisation automobile dès le 01/01/96
- Interdiction d'emploi pour climatisation ferroviaire dès le 01/01/98
- Interdiction d'emploi pour installations neuves d'une puissance supérieure à 150 kW dès le 01/01/2000



AT consultant R&D

ANNEXE II



Cycle théorique (1-2-3-4-5-6-7)

Cycle réel (1'-2'-3'-4'-5'-6'-7')

ANNEXE III

Vue d'ensemble d'une chambre froide en maçonnerie traditionnelle

Comble ventilé

