

وزارة الجامعات

Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

BIBLIOTHEQUE — المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

2ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

RESEAU DE PRODUCTION ET DE DISTRIBUTION
DE LA VAPEUR POUR ALIMENTER DES AUTOCLAVES
SERVANT AU SECHAGE DE LA B.S.C.

5 PLANCHES

Proposé par :

M. Y. HANECHÉ
(E. N. C. C.)

Etudié par :

M. B. ABBES

Dirigé par :

M. N. YOUNSI
M. Y. HANECHÉ

PROMOTION
1991

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَخَلِّ لَنَا صِلَانًا وَنَسَكًا وَمِجَابًا

وَمَانًا

لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

صَلِّ عَلَى النَّبِيِّ الْعَظِيمِ

RÉSUMÉ :

Le but du présent travail consiste en l'étude de la production et de la distribution de la vapeur pour le séchage des briques silico-calcaires (B.S.C.) .

Cette étude comprend le choix du mode de production de la vapeur, sa distribution pour l'alimentation des autoclaves servant au séchage de la B.S.C. ainsi que les calculs énergétiques, la conception et le calcul du réseau de distribution de la vapeur .

ABSTRACT :

The purpose of this work is the study of the production and distribution of the steam for the drying of the silico-calcareous brick (B.S.C.) .

This study encloses the choice of the production mood of the steam, its distribution to supply autoclaves used to the drying of the brick (B.S.C.), and the calculation of the steam distribution tracery .

ملخص :

الهدف من هذه الأطروحة، دراسة إنتاج وتوزيع بخار الماء لتجفيف الآجر المكون من رمل الصوان والكلس (B.S.C). تشمل هذه الدراسة اختيار طريقة إنتاج البخار وتوزيعه لتغذية الأفران المستخدمة في عملية التجفيف. كما أنها تشمل على الحسابات الحرارية، الرسم التصميمي بالإضافة إلى تقدير أبعاد شبكة توزيع البخار .

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mes deux grands-mères
SAADIA et RAHMA ;

A mes parents qui n'ont ménagé aucun
effort pour me permettre de mener à
bien ma formation d'INGENIEUR ;

A mes frères et soeur : HOCINE , YACINE
et RADIA ;

A tous mes petits cousins : DJAWAD ,
FERIAL , ANIA , MELLISSA , RAHMA ,
KATIA , LILYA , MOHAND ...

A mes amis : FAZILAY , NOUREDDINE ,
ABDELOUAHAB , HAKIM , WAHID , SMAYN ,
RABAH , YASSINE , SAMIR ...

A. BOUSSAD

REMERCIEMENTS

Ce sujet m'a été proposé par Monsieur Youcef HANECHÉ Ingénieur à l' E.N.C.C. (Caroubier) .

Monsieur Nourdine YOUNSI a bien voulu diriger mon travail .

Je tiens à les remercier pour l'intérêt qu'ils ont porté pour ce sujet, ainsi que pour les conseils qu'ils m'ont prodigués tout au long de mon travail .

Je les remercie également pour leur disponibilité et pour leur aide constante et sur tous les plans .

Je remercie également le Professeur AIT-ALI de m'avoir fait l'honneur de présider le jury .

Messieurs Youssef HALLI et Hocine BENNOUR ont bien voulu faire partie du jury . Je les remercie pour l'intérêt qu'ils témoignent à mon travail .

Mes remerciements vont aussi à ceux qui ont participé de près ou de loin à ma formation .

Je ne terminerai pas sans remercier tous mes amis qui ont su créer une ambiance de travail et de plaisir .

A. BOUSSAD

TABLE DES MATIÈRES :

	Pages
* INTRODUCTION .	
1)- Présentation du sujet	2
2)- Données techniques de base	2
* Situation géographique de l'usine	2
* Capacité de production de l'usine	2
* Type de production	3
* CHAPITRE I : DÉROULEMENT TECHNOLOGIQUE DE LA PRODUCTION DE LA BRIQUE SILICO - CALCAIRE (B.S.C.).	
Introduction	6
I-1)- Production	6
I-2)- Extraction et Transport du sable	7
I-3)- Stockage intermédiaire du sable	8
I-4)- Préparation du sable	8
* Composition granulométrique du sable	8
* Composition chimique du sable	10
I-5)- Alimentation en chaux et son stockage	11
* Caractéristiques de la chaux	11
I-6)- Dosage et Mélange	12
I-7)- Transport vertical du mélangeur vers le réacteur ..	13
I-8)- Réacteurs et Extinction du mélange	14
I-9)- Le mélange final	14
I-10)- Le pressage	15
I-11)- Processus de durcissement des briques	15
I-12)- Transport interne et Chargement des briques	17
I-13)- Exploitation de l'eau et Résevoirs	17

I-14)- Production de la vapeur	18
I-15)- Production d'air comprimé	18
* CHAPITRE II : ALIMENTATION DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR .	
II-1)- Alimentation en eau du générateur de vapeur	20
II-1-1)- La décantation simple	21
II-1-2)- Filtration et Chloration de protection	24
II-1-3)- Osmose inverse pour le déssalement de l'eau	24
II-1-4)- Dégazage thermique	28
II-2)- Alimentation en combustible	28
II-2-1)- Stockage du G.P.L.	30
II-2-2)- Alimentation de l'usine en G.P.L.	31
II-2-3)- Vaporisation du G.P.L.	32
* Description du vaporisateur	32
* CHAPITRE III : ÉTUDE DU CIRCUIT DE VAPEUR .	
III-1)- Le générateur de vapeur	36
III-2)- Les Autoclaves	37
III-2-1)- Dimensions de l'autoclave	37
III-2-2)- Drainage et Purge de l'autoclave	38
III-2-3)- Calorifugeage et Étanchéité des autoclaves	40
III-3)- Réseau de distribution de la vapeur	42
III-3-1)- Conception et tracé du réseau	42
III-3-2)- Amélioration du rendement des tuyauteries	43
III-3-3)- Distribution de la vapeur	44

* CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT DE VAPEUR .	
IV-1)- Bilan thermique de l'installation	48
IV-1-1)- Quantité de chaleur absorbée par la charge	48
IV-1-2)- Quantité de chaleur absorbée par l'autoclave et ces accessoires	49
IV-1-3)- Quantité de chaleur absorbée par le train..	49
IV-1-4)- Quantité de chaleur absorbée par la tuyauterie et les organes de raccordement..	50
IV-1-5)- Quantité de vapeur nécessaire pour remplir l'autoclave	51
IV-1-6)- Quantité de chaleur nécessaire pour le dégazeur thermique	52
IV-1-7)- Quantité de chaleur nécessaire pour le vaporisateur de G.P.L.	52
IV-2)- Pertes de chaleur lors du maintien en température	53
IV-2-1)- Pertes de chaleur par la partie cylindrique de l'autoclave	53
IV-2-2)- Pertes de chaleur par les portes	56
IV-3)- Calcul du débit de vapeur	59
IV-4)- Calcul du débit d'appoint	60
IV-5)- Dimensionnement de la chaudière	60
IV-5-1)- Débit du générateur de vapeur	60
IV-5-2)- Puissance de la chaudière	61
a)- Pertes de chaleur par les tuyauteries	61
b)- Rendement de la chaudière	61

c)- coefficient de sécurité	62
IV-6)- Dimensionnement du réseau de vapeur	63
IV-6-1)- Pertes de charge	64
IV-6-2)- Calcul du diamètre de la conduite d'alimentation de l'autoclave	65
a)- Longueur droite fictive	66
b)- Calcul du diamètre avec la première méthode	69
* calcul de la vitesse de la vapeur	70
c)- Calcul du diamètre avec la seconde méthode	73
IV-6-3)- Calcul de l'épaisseur théorique des tubes..	77
IV-6-4)- Choix des matériaux	77
IV-6-5)- Calorifugeage de la tuyauterie	78
* CONCLUSION .	
* BIBLIOGRAPHIE .	

TABLE DES FIGURES .

	pages
1- Fig(I.1) : DEROULEMENT TECHNOLOGIQUE DE LA PRODUCTION	5
2- Fig(II.1) : BASSIN DE DECANTATION	23
3- Fig(II.2) : DEGAZAGE THERMIQUE DE L'EAU	27
4- Fig(II.3) : VAPORISATEUR DE G.P.L.	34
5- Fig(III.1) : PURGEUR DE VAPEUR	39
6- Fig(III.2) : DISPOSITIF DE SECURITE DE LA PORTE DE L'AUTOCLAVE	41
7- Fig(III.3) : DIAGRAMME D'AUTOCLAVAGE (RELIZANE)	46
8- Fig(IV.1) : EQUIVALENCES DES PERTES DE CHARGE EN LONGUEURS DROITES DES TUYAUTERIES	67
9- Fig(IV.2) : CALCUL DES TUYAUTERIES DE VAPEUR	72
10- Fig(IV.3) : PERTES DE CHARGE DANS LES TUYAUTERIES	76

INTRODUCTION

1)- Présentation du sujet :

Le but du présent travail consiste en l'étude de la production et de la distribution de la vapeur pour le séchage de la brique silico-calcaire (B.S.C.) .

Cette étude comprend le choix du mode de production de la vapeur, sa distribution pour l'alimentation des autoclaves servant au séchage de la B.S.C., ainsi que les calculs énergétiques, la conception et le calcul des réseaux de distribution de la vapeur .

2)- Données techniques de base :

* Situation géographique de l'usine :

Le site prévu pour l'implantation de la briqueterie est situé dans la Wilaya de RELIZANE, Daira de RELIZANE, Commune de BEL-ACEL .

Le lieu de l'usine est à environ 100 m au nord-ouest de la CW 12 Hillil/Bel-Acel, à environ 50 m au sud du gisement de sable à 14 km au nord-ouest de RELIZANE, à 6 km au nord-ouest de Hillil et à environ 200 km de l'usine de chaux de SAIDA .

* Capacité de production de l'usine :

Selon l'unité de mesure et le format, l'usine est prévue pour produire les quantités suivantes :

- 214 200 tonnes/an de briques silico-calcaires .
- 42 840 000 pièces/an pour les briques de format DF' .
- 21 420 000 pièces/an pour les briques de format 2DF' .

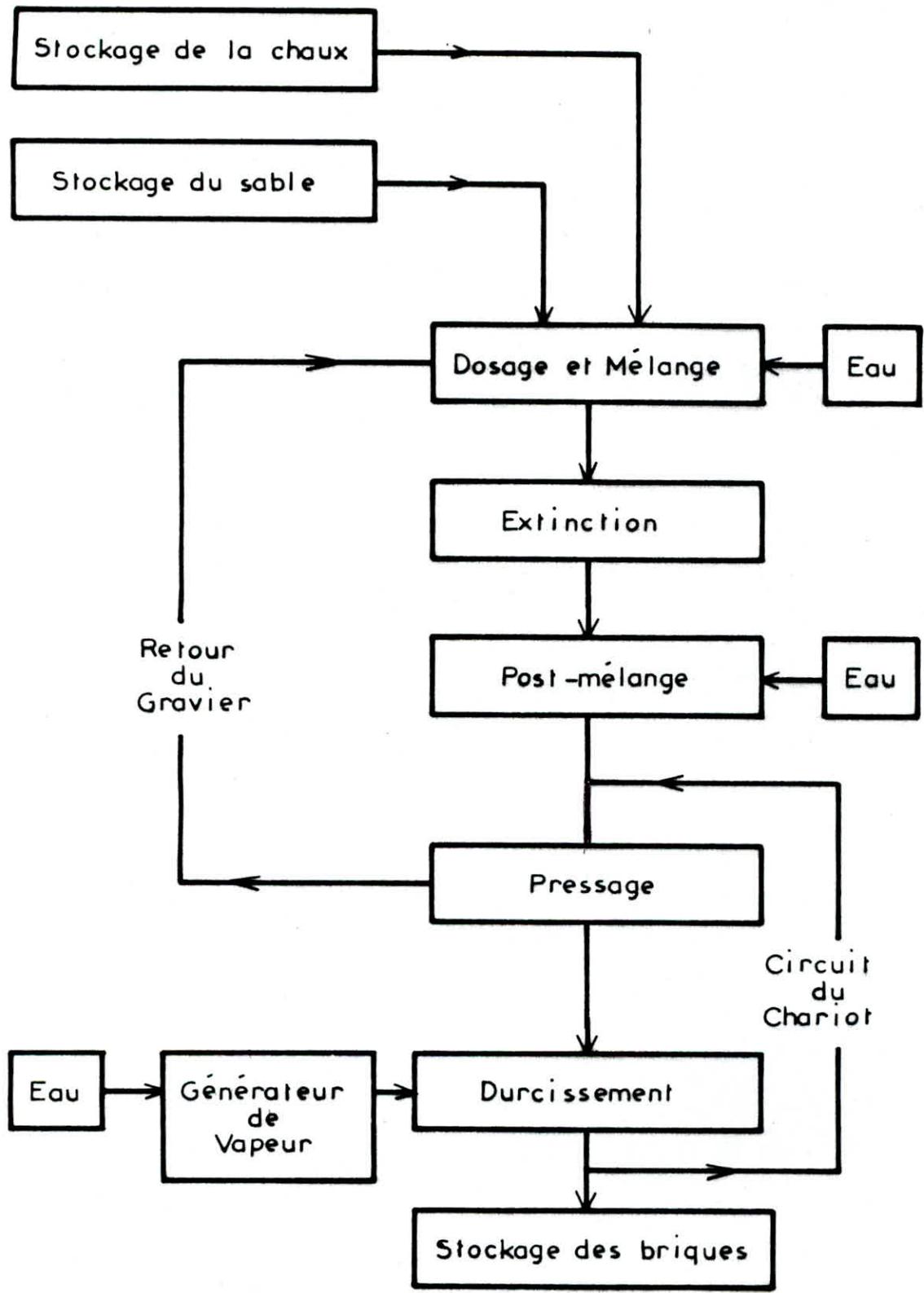
* Type de production :

Les formats sont normalisés suivant la norme DIN 106 .
La répartition de la production de l'usine sera de 50% pour
chacun des deux formats retenus ci-dessous :

Format	Type	Dimensions		Hauteur [mm]	Poids Moyen [kg]
		long. [mm]	larg. [mm]		
DF	Pleine KSV	240	115	52	2,7
2DF	Perforée KSV	240	115	113	4,6

En plus de ces formats, les briques du type " Terre-cuite " pourront être fabriquées en y adaptant les moules correspondants.

CHAPITRE I
DÉROULEMENT TECHNOLOGIQUE
DE LA PRODUCTION DE
LA BRIQUE SILICO-CALCAIRE



Fig(I.1) : Déroulement Technologique de la Production.

Introduction :

Les briques silico-calcaires (B.S.C.) se composent de chaux et de sable. Elles sont utilisées pour la construction et se distinguent par leur haute qualité. Elles ont fait leur preuves depuis plusieurs décennies. Elles ont été inventées pendant l'ère industrielle par l'allemand BERNHARDI qui déjà en 1854 construisait des briques à mortier utilisant des presses à levier en bois. Ces briques devaient toutefois être soumises à une longue période de séchage et de durcissement à l'air libre. Par la suite, ce processus d'exploitation a été amélioré par plusieurs inventeurs et brevets, ce qui permit d'élargir cette industrie .

Les premières installations pour la fabrication de B.S.C. ont été construites en ALLEMAGNE en 1898; dix ans plus tard on comptait déjà l'existence de 200 installations de ce genre en service dans le monde .

Dès le départ, la qualité des B.S.C. était soumise à de sévères exigences garantissant une bonne résistance et une longue durée de vie des muraillements. Aujourd'hui, les B.S.C. sont standardisées dans divers pays, c'est-à-dire que leur qualité est soumise à un contrôle permanent .

Les B.S.C. sont fabriquées dans plusieurs pays tels que : l'ALLEMAGNE, la GRANDE BRETAGNE, la HOLLANDE, la SUISSE, l'URSS; elles trouvent aussi leur utilisation dans plusieurs pays arabes et ce depuis plusieurs années .

I-1)- Production :

Les briques silico-calcaires sont composées de silicé et de chaux. On utilise généralement la chaux vive broyée (CaO), le sable et l'eau. La chaux et le sable sont pesés, dosés puis malaxés intensivement (la quantité de CaO varie d'un type de brique à un autre et ce de 7 à 9%) .

Après avoir ajouté de l'eau à ce mélange, ce dernier est rempli dans un réacteur à l'aide d'un système de transport à la suite de quoi la chaux vive sera éteinte donnant ainsi naissance à l'hydrate de calcium (Ca(OH)_2) .

La durée de réaction est d'environ 3 à 4 heures. La masse éteinte est conduite dans un mélangeur où elle sera travaillée jusqu'à obtention d'une masse humide. Cette humidité est nécessaire à l'opération de pressage .

Enfin, elle sera passée dans des presses complètement automatiques moulant des briques humides de dimensions voulues . La pression moyenne des presses est de 200 kg/cm^2 .

Ensuite, ces briques sont transportées dans des wagons jusqu'aux autoclaves où elles seront séchées pendant environ 4 heures dans de la vapeur saturée à une température variant de 160 à 220 °C .

I-2)- Extraction et transport du sable :

La sablonnière se situe à l'immédiate proximité de l'usine (à une distance de 50 m environ). Le sable est extrait à l'aide de chargeurs à pneus. Il est prévu que ceux-ci portent le sable à la trémie d'alimentation de l'usine aussi longtemps que le sable à extraire ne se trouve pas à plus de 50 m environ de celle-ci. Au delà de cette distance des camions se chargeront du transport

du sable de la fosse à la trémie de charge (2 camions à 4 roues motrices sont nécessaires. Un troisième sert de réserve) .

I-3)- Stockage intermédiaire du sable :

Un stockage intermédiaire d'une capacité de 2500 m³ est installé à proximité de la trémie d'alimentation. D'une part, il sert de réserve; de l'autre, il assure une éventuelle homogénéisation du sable si celle-ci s'avère nécessaire pour la production. Dans ce cas, le deuxième chargeur à pneus charge le sable du stockage intermédiaire et le transporte vers la trémie d'alimentation .

Le sable tamisé sera entreposé dans un silo à deux chambres successivement alimentées. Il en sera simultanément soutiré pour assurer une certaine homogénéité .

I-4)- Préparation du sable :

Un système de tamisage stationnaire est prévu pour nettoyer le sable d'impuretés qui pourraient s'y trouver (cailloux, résidus de racines etc...) .

La part de sable entrant dans le mélange s'élève, selon la qualité du sable à 90-92% environ. Les principaux facteurs d'influence dus à la qualité du sable sont les suivants :

* Composition granulométrique du sable :

Le sable devrait présenter une granulométrie comprise entre 0 et 3 mm. On a bien entendu, dans de nombreux cas, utilisé du sable de granulométrie plus fine étant donné que les granulométries supérieures n'étaient pas disponibles .

Nous pouvons donner des exemples illustrants une répartition idéale de la granulométrie :

- Exemple I :

Granulométrie [mm]	Quote-Part [%]
0 à 0,05	4
0,05 à 0,5	41
0,5 à 3,0	55

La résistance relative des briques est très bonne pour une quantité constante de CaO et la consommation relative de chaux pour une résistance à la pression constante peut être considérée comme normale .

- Exemple II :

Granulométrie [mm]	Quote-Part [%]
0 à 0,05	4
0,05 à 0,5	23
0,5 à 3,0	73

La résistance relative des briques est très bonne pour une quantité constante de CaO et la consommation relative de chaux pour une résistance à la pression constante peut être considérée comme basse .

Le sable doit contenir à la fois une part de grains très fins et une autre part de grains plus gros. La part de grains très fins entraîne une meilleure réaction chimique générale pendant le processus de durcissement et augmente la plasticité du mélange. Par contre, elle exige une part supérieure de chaux pour la réaction. La part de grains plus gros (0,5 à 3,0 mm), quant à elle, agit en sens inverse pour que la consommation de chaux reste dans les limites. Signalons aussi que si la part de grains fins est trop élevée, ceci influence défavorablement le retrait du produit final .

* Composition chimique du sable :

En principe la teneur en SiO_2 devrait être supérieure à 90%. Mais il a été possible de réaliser de bonnes briques avec des teneurs moins élevées.

De façon générale, les impuretés ne devraient pas dépasser les valeurs suivantes :

Impureté	Pourcentage [%]
Al_2O_3	5,0
MgO	1,0
SO_3	0,35
impuretés organiques	0,2
feldspath	5,0
sels minéraux	0,2

Il arrive très souvent que l'on trouve des sables de différentes qualités dans un même gisement. Compte tenu du gisement, le plan d'exploitation peut être conçu de telle sorte que l'on puisse exploiter et utiliser les différentes sortes de sable sans pour autant dégrader la qualité du produit final .

C'est pour atteindre une égalisation des qualités de sable qu'un stockage intermédiaire est prévu à la sablonnière où les différentes qualités sont mélangées .

I-5)- Alimentation en chaux et son stockage :

La chaux est acheminée par camions-cocottes qui sont déchargés par un système pneumatique, utilisant des compresseurs à basse pression, et transportant par voie pneumatique la chaux dans deux silos alternativement d'où l'air servant au transport est extrait à travers des filtres. La chaux est alors extraite du silo à l'aide de transporteurs à vis. Elle est ensuite transportée par ces derniers et un élévateur dans le silo à chaux de travail .

Le stockage de la chaux est prévu à RELIZANE pour une production de cinq jours avec deux silos ayant une capacité totale de 500 m^3 et un silo de travail de 50 m^3 .

* Caractéristiques de la chaux :

De nos jours, la chaux destinée à l'industrie de la brique silico-calcaire est presque exclusivement livrée sous forme de chaux vive finement broyée . Elle doit présenter le temps de réaction le plus rapide possible et la teneur en CaO la plus élevée possible car seule la part de CaO entre en réaction dans

le processus de transformation ultérieur .

Les exigences actuelles de l'industrie de la brique silico-calcaire sont les suivantes :

- CaO entrant en réaction :.....supérieur à 85%;
- CO₂ résiduel dans la chaux vive :.....inférieur à 2%;
- temps de réaction à T = 60 °C :.....3 à 6 mn;
- granulométrie :.....90% inférieure à 0,09 mm .

I-6)- Dosage et Mélange :

Pour cette phase du procédé, on utilise une construction en forme de tour dotée : d'un silo intermédiaire, de l'équipement de dosage pour la chaux et le sable, du mélangeur à charge et de chargeurs à plateaux qui sont disposés l'un au dessus de l'autre.

L'avantage de cette construction réside dans le fait que la matière, une fois transportée vers le haut, tombe par son propre poids, ce qui permet de réduire le nombre d'entraînements tout en augmentant la fiabilité de service du système .

Le mélange du sable, de la chaux et de l'eau est effectué à l'aide d'un mélangeur de charge, ce type produisant l'effet de mélange le plus efficace. Conformément, pour le dosage des matières premières, on se servira de doseurs de charge et le dosage volumétrique de l'eau se fera à l'aide d'un récipient de mesurage dont le volume de remplissage est ajustable .

À la suite de ce procédé, la matière est reconduite en flux continu à l'aide d'un chargeur à plateaux .

En plus des spécifications du sable et de la chaux, la qualité de l'eau pour le mélange est également importante. Il s'agit en premier lieu de la teneur en chlorures qui, dans la

mesure du possible, ne devrait pas dépasser 500 mg/l, étant donné que d'une part elle peut influencer défavorablement le processus de transformation lors du durcissement et que de l'autre les teneurs supérieures en chlorures peuvent entraîner, plus tard, des efflorescences au niveau du produit final.

Par expérience, on ajoute environ 8% d'eau au total au mélange sable-chaux, dont 5% environ sont ajoutés en règle générale dans le mélangeur primaire et les 3% restant dans le mélangeur final.

L'eau dans le mélangeur primaire doit suffir pour, d'une part transformer le CaO en Ca(OH)₂ et pour conserver d'autre part une certaine humidité résiduelle dans le mélange .

Pour transformer le CaO en Ca(OH)₂, on a besoin de 0,32 kg d'eau. Au cours de cette réaction 273 kcal sont générés :



Ce dégagement de chaleur a l'avantage d'empêcher le mélange sable-chaux-eau de coller à l'intérieur du mélangeur, du réacteur ou de la presse. Mais dans certains cas ce dégagement ne suffit pas, aussi faut-il chauffer artificiellement le fond du réacteur ou les moules des presses .

I-7)- Transport vertical du mélangeur vers le réacteur :

On utilisera un élévateur à godets pour transporter la matière prémélangée du mélangeur au réacteur .

L'industrie du silico-calcaire se sert d'élévateurs à godets spéciaux dont le cadre de la cheminée est en acier et les parois de l'élévateur sont revêtues de mâts en caoutchouc pour empêcher

l'adhésion de matière. Le flux de matière est resserré de façon qu'elle puisse tomber dans les godets .

I-8)- Réacteurs et Extinction du mélange :

Pour éteindre le mélange, on utilisera le procédé à réacteurs (procédé continu).

Les trois réacteurs utilisés ont été conçus pour un temps d'extinction de 4,0 heures au maximum. Ce temps ne sera pas dépassé puisqu'il s'agit de chaux produite dans un système de fours rotatifs modernes à l'usine de chaux de SAÏDA . Ces réacteurs sont isolés par de la laine de verre recouverte d'une tôle d'acier galvanisée. Ils sont équipés d'un système de décharge mécanique dont la capacité est variable .

Chaque type de chaux vive a un temps d'extinction donné lorsqu'il entre en contact avec de l'eau. L'industrie de la B.S.C. donne l'avantage à une chaux réagissant rapidement car un réchauffement rapide de la masse sable-chaux est assuré ce qui permet de prévoir des réacteurs de petites dimensions .

Pour les projets présents, on a pris comme base une durée de passage dans le réacteur de 4,0 heures.

I-9)- Le mélange final :

Le mélange final s'effectue par des mélangeurs à deux arbres travaillant en continu.

Le mélangeur final a deux fonctions à assurer :

1°)- C'est à ce niveau que l'on ajoute le reste de l'eau encore nécessaire pour obtenir une certaine plasticité du mélange assurant à la brique crue une stabilité suffisante après le

moulage .

2°)- La masse sable-chaux subit encore une fois un mélange intense avant d'arriver sur les presses .

Au dessus de chaque bande transporteuse conduisant vers les presses, un électro-aimant est prévu en vue de l'élimination du fer pour éviter l'endommagement des presses .

I-10)- Le Pressage :

On utilisera des presses hydrauliques complètement automatiques. Avec trois de ces presses, on produira les 214 200 tonnes/an de briques exigées par le cahier des charges .

Ces presses compriment la matière de deux côtés (d'en haut et d'en bas). Il est possible de varier progressivement la pression de moulage de celles-ci qui a l'avantage de pouvoir adapter les presses à chaque type de masse sable-chaux .

Ces presses se prêtent à la production non seulement des formats DF et 2DF, mais aussi des briques plus larges (des blocs jusqu'à une hauteur de 300 mm) .

Les températures extérieures pouvant être relativement élevées, un système de radiateur est prévu pour refroidir l'huile hydraulique des presses .

Le système de recyclage de matière disposé sous les presses, garantit une exploitation propre autour de celles-ci et un pont roulant de 10 tonnes est prévu au dessus d'elles pour l'échange des moules .

I-11)- Processus de durcissement des briques :

Le processus de durcissement dans le procédé de fabrication

des B.S.C. est de nature très complexe, il comprend une juxtaposition de différentes opérations partielles : la transformation chimique (hydrolyse, hydratation), les opérations de dissolution et de cristallisation et les réactions de surface .

La vitesse de la réaction chimique est influencée par la température, la pression et la grandeur de la superficie des particules de substance solide. Elle augmente de façon extrême lorsque la température augmente .

Si l'on chauffe le mélange $\text{Ca(OH)}_2\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ à plus de 100 °C l'eau nécessaire à la réaction s'évapore, donc ce processus doit avoir lieu sous pression (les pressions se situent entre 8 et 16 bars) .

Il faut appliquer la formule suivante :

$$P \cdot t = 64 \dots 72 \quad (\text{I.1}) \quad [2]$$

P : pression de durcissement [bar].

t : durée de durcissement [heure].

Il s'ensuit théoriquement le tableau suivant :

Pression de durcissement [bar]	Durée de durcissement [heure]
8	8 - 9
12	5,3 - 6
16	4,0 - 4,5
20	3,2 - 3,6
25	2,6 - 2,9

La pratique a montré que les conditions maximales sont obtenues à 16 bars environ (la valeur utilisée à l'heure actuelle dans l'industrie de la B.S.C.) .

Le durcissement se fait dans des autoclaves cylindriques avec deux fermetures . Le nombre de ces autoclaves a été choisi en fonction de la capacité maximale des presses .

Pour cette variante de procédé, une voie de garage se trouve avant chaque autoclave sur laquelle un train complet sera placé avec des briques à durcir .

Le processus d'autoclavage étant terminé, les deux portes s'ouvrent et un train complet de briques durcies en sort pendant que, simultanément, un autre prend sa place .

I-12)- Transport interne et chargement :

Pour la circulation des chariots d'autoclavage en opération, trois transbordeurs, un treuil et une machine de traînage à câble sont prévus. De plus une rectifieuse servant à nettoyer les chariots vides est aussi prévue .

Deux portiques de chargement monorail manoeuvrés du corridor servent à charger les B.S.C. sur des camions .

I-13)- Exploitation de l'eau et réservoirs :

Pour l'exploitation de l'eau, un puits d'une profondeur de 160 m est disponible. L'eau en sera retirée par une pompe et envoyer dans un réservoir de capacité suffisante dont le quart sert comme eau d'incendie .

La teneur en sel de l'eau étant élevée (supérieure à 1000 mg/l), on doit prévoir une installation d'osmose inverse pour

déssaler cette eau .

I-14)- Production de la vapeur :

L'alimentation des autoclaves nécessite une vapeur saturée d'une pression relative de 16 bars. A cet effet, une chaudière à vapeur industrielle sera utilisée. Elle devra être réglée à une pression relative de 18 bars afin d'atteindre une hauteur suffisante pour la chute de pression entre elle et les autoclaves .

Avant son chargement dans la chaudière, l'eau déssalée dans l'installation d'osmose inverse doit être dégazée par l'intermédiaire d'un dégazeur thermique chauffé par de la vapeur saturée provenant de cette même chaudière .

La chaudière utilisée sera à fonctionnement complètement automatique utilisant du GPL comme combustible.

I-15)- Production d'air comprimé :

L'usine sera équipée de deux systèmes de compression :

- Le premier d'une pression nominale de 2,5 bar qui sert uniquement au transport pneumatique de la chaux du camion-cocotte aux silos de stockage. Ce système est pourvu d'un refroidisseur à l'arrière du compresseur servant au dégagement de la chaleur pendant l'opération .

- Le deuxième d'une pression nominale de 7 à 9 bar sert à l'aération des silos (où elle sera réduite à 0,3 bar), à l'ouverture et fermeture des clapets des bascules de pesage et au nettoyage des presses et des autres parties de l'usine .

CHAPITRE II
ALIMENTATION DU GÉNÉRATEUR
DE VAPEUR

II-1)- Alimentation en eau du générateur de vapeur :

Pour satisfaire les besoins des villes et de l'industrie, on dispose d'eaux dont les origines peuvent être les pluies (collectées directement), les lacs, les étangs, les forages, les sources, les océans et les mers .

Les caractéristiques de ces eaux sont établies par des déterminations analytiques concernant les paramètres suivants : les gaz dissouts, la dureté, l'alcalinité, la salinité, la teneur en silice et la turbidité .

Ces eaux naturelles ne peuvent être utilisées directement, sans subir de traitements, pour alimenter les chaudières car certains phénomènes physiques, chimiques et biologiques causeraient le colmatage des réseaux, l'entartrage, la corrosion et le primage des chaudières .

Donc, l'eau ainsi prélevée subit plusieurs traitements avant d'être utilisée. Selon les usages de l'eau, on pourra rencontrer les différents traitements suivants :

1°)- Les traitements préalables, c'est-à-dire les opérations qui conduisent à l'obtention d'une eau de qualité convenant à la plupart des usages. Parmi ces traitements, on peut citer :

le décolmatage des puits, le dégrillage, la décantation simple, la floculation-décantation, la filtration, l'oxydation des matières organiques et stérilisation, la déferrisation-démanganisation et le dessalement .

2°)- Les traitements de base servant à éliminer certains éléments indésirables dans le cadre d'utilisations particulières

(alimentation des chaudières ou de circuits de refroidissements).

Ces traitements peuvent être classés en trois catégories :

a)- Traitements de base contre l'entartrage :

Décarbonation, épuration calco-sodique, épuration chimique par les phosphates de sodium, adoucissement, distillation, déminéralisation, détartrage .

b)- Traitements de base contre la corrosion :

Élimination de l'oxygène par le dégazage thermique, élimination du gaz carbonique par aération et par dégazage thermique .

c)- Traitements de base contre le primage .

3°)- Les traitements de conditionnements sont effectués à l'entrée même des appareils à protéger. Ils sont destinés à parfaire les traitements antérieurs et à donner à l'eau des chaudières les caractéristiques optimales pour éviter l'entartrage, la corrosion et le primage. Ces traitements utilisent des réactifs de conditionnement constitués essentiellement de produits chimiques .

En ce qui concerne la briqueterie silico-calcaire de RELIZANE, un puits d'une profondeur de 160 m est à la disposition. L'eau sera transportée à l'aide d'une pompe dans un réservoir de capacité suffisante. Elle subira ensuite les traitements suivants :

II-1-1)- La décantation simple :

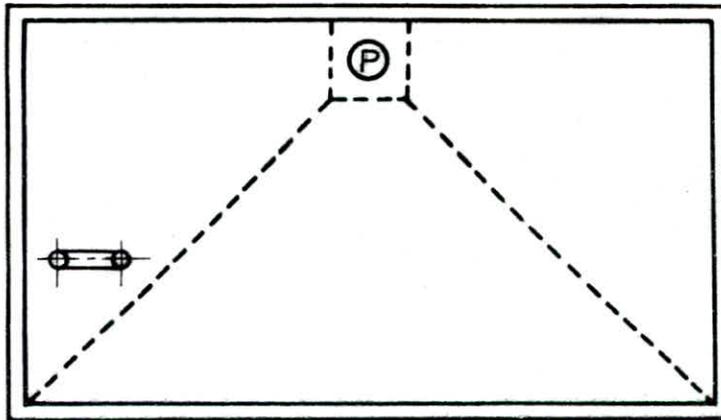
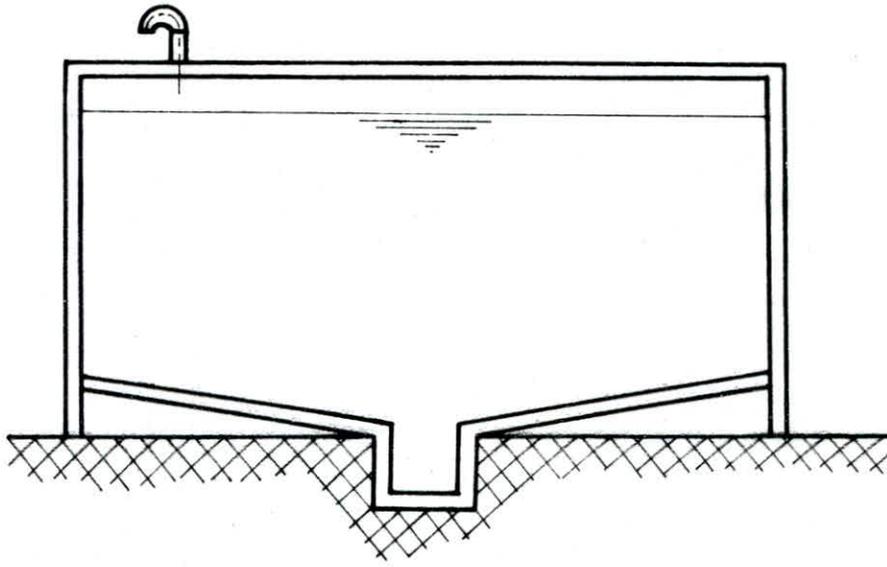
La décantation simple est réalisée par séparation gravitaire des matières insolubles lourdes. Elle peut être statique, lorsque

le bassin de décantation est alternativement rempli, mis au repos puis vidé; ou dynamique, lorsque l'apport d'eau brute, la séparation des matières solides et l'évacuation de l'eau décantée se font en continu .

L'appareillage peut aller du simple bassin de décantation statique à des systèmes complexes de volume plus réduits dans lesquels des dispositifs particuliers permettent d'accélérer et d'améliorer considérablement l'opération.

Ce procédé n'occasionne aucune dépense de réactifs; toutefois, il est rare que l'eau ainsi traitée soit totalement débarassée des matières en suspension .

Pour notre cas, un simple bassin de décantation statique de grandes dimensions est nécessaire. Le fond du bassin possède une pente telle que la boue s'y déposant, et après avoir atteint une certaine épaisseur, peut glisser vers le fond du bassin où on placera une pompe à boue qui rejettera périodiquement celle-ci vers l'extérieur du bassin .



Fig(II.1): Bassin de Décantation

II-1-2)- Filtration et chloration de protection :

Avant l'entrée dans l'installation de filtration, l'air d'oxydation est mélangé intensément avec l'eau dans un mélangeur d'air. Pendant ce mélange, l'oxygène de l'air oxyde les combinaisons de fer et de manganèse dissoutes dans l'eau et les transforme en une forme insoluble dans l'eau .

Alors, ces produits de réaction insolubles ainsi que toutes les impuretés mécaniques contenues dans l'eau sont filtrées dans des filtres à gravier post-installés pour être rejetées. La couche de filtre utilisée a une hauteur totale d'environ 2500 mm constituée de deux couches de support de granulations différentes d'environ 100 mm et en une couche de filtre proprement dite de 2300 mm d'épaisseur .

L'eau passe à travers les filtres du haut vers le bas. Les impuretés mécaniques et les produits d'oxydation sont retenus dans la partie supérieure de la couche du filtre .

Le nettoyage périodique de ces filtres doit être fait en quatre phases : lavage avec l'air par la soufflante d'air , lavage combiné air-eau , lavage à l'eau , préfiltration .

Du chlore est ensuite ajouté, par un dispositif de dosage commandé, à cette eau filtrée qui entre ensuite dans le réservoir d'eau épurée d'où elle est véhiculée dans le process par des pompes à eau .

II-1-3)- Osmose inverse pour le déssalement de l'eau :

L'eau de puits prétraitée et chlorée est déssalée à l'aide de l'osmose inverse jusqu'à une teneur résiduelle d'environ

10% de la teneur initiale en sels .

L'eau filtrée et chlorée est véhiculée par la station de pompage pour l'eau potable et l'eau d'alimentation de la chaudière via un filtre à charbon actif pour la déchloration complète et la réduction simultanée des combinaisons organiques qui peuvent exister dans l'eau .

Ensuite l'eau est adoucie dans une installation d'adoucissement qui consiste en deux échangeurs d'ions opérant alternativement (chacun est conçu pour un débit horaire complet).

L'adoucissement se fait selon le principe d'échange d'ions dans le cycle de sodium, c'est-à-dire que les filtres d'adoucissement sont remplis d'une résine synthétique spéciale qui, lors du passage de l'eau, absorbe ses durcissants (ions de calcium et de magnésium) et lui délivre des ions de sodium .

Après le passage d'une quantité d'eau bien définie, une régénération des échangeurs est nécessaire par le pompage d'une solution de sel marin diluée (saumure) à travers l'échangeur. La solution de saumure déplace les ions de calcium et de magnésium absorbés et du sodium est déposé .

L'opération précédente que l'eau doit subir avant d'entrée dans l'installation d'osmose inverse empêche un blocage prématuré des perméateurs, prolonge leur durée de vie et évite un adoucissement postérieur du perméat avant son utilisation comme eau d'alimentation de la chaudière .

Avant l'entrée de l'eau dans la pompe à haute pression de la phase d'osmose inverse via la pompe à dosage, de l'hexamétaphosphate peut être ajouté (suivant les besoins). Comme dernière phase de préparation, un micro-polisher est

installé comme filtre très fin avec une finesse de 0,1 micron .

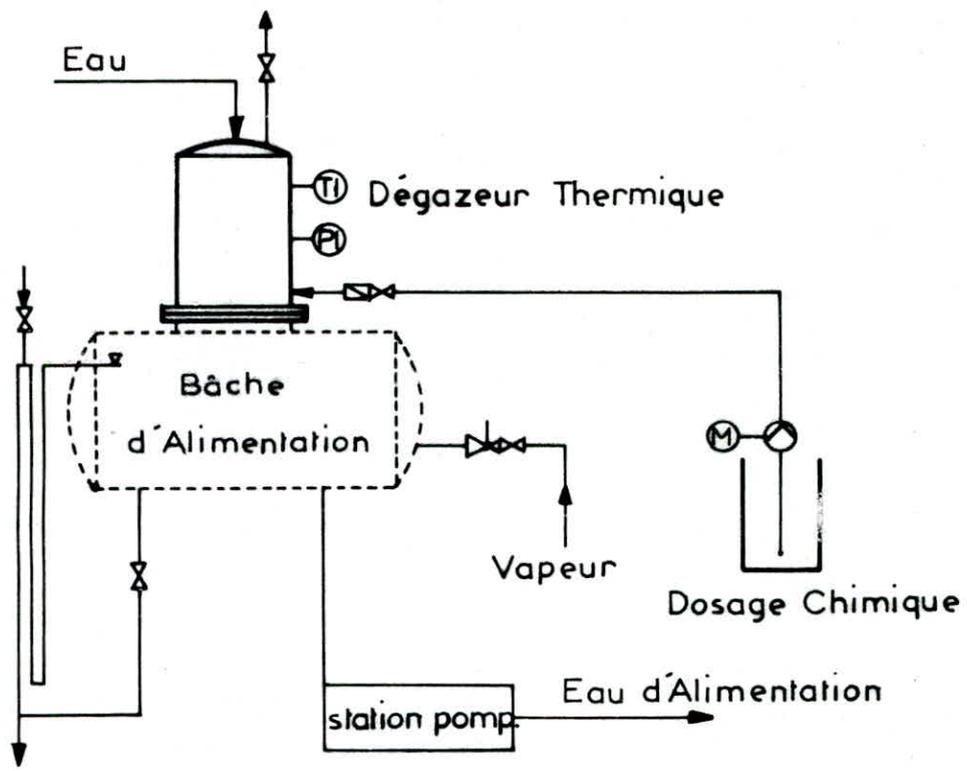
L'installation d'osmose inverse consiste en principe en une pompe à haute pression et en 5 perméateurs de haute capacité. La pompe produit une pression de fonctionnement d'environ 28 bars à l'aide de laquelle elle véhicule l'eau à travers les perméateurs montés en deux étages .

Ces derniers sont du type à diaphragmes de fibres creuses d'une matière synthétique spéciale, incorporés dans une enveloppe à haute pression renforcée de fibres de verre .

Le principe physique de l'osmose inverse est le suivant : L'osmose est un phénomène physique qui a lieu lorsque deux solutions de concentrations différentes (par exemple eau pure et eau salée) sont séparées par un diaphragme semi-perméable (perméable pour les détergents (eau) mais pas pour les matières y dissoutes (sels).).

En cas d'osmose naturelle, l'eau pure pénètre dans la solution saline par le diaphragme sans influence extérieure jusqu'à ce que l'équilibre osmotique soit atteint et une pression définie (la pression osmotique) se soit ajustée . La pression osmotique d'une solution dépend de la concentration, de la température et d'une constante générale.

Dans le cas de l'osmose inverse le procédé est inversé; on soumet la solution de concentration plus élevée à une pression supérieure à la pression osmotique de cette solution, ainsi le sens du courant est inversé, c'est-à-dire que l'eau pure pénètre à travers le diaphragme qui retient la majorité des sels minéraux et d'autres particules. La quantité d'eau brute qui se concentre avec les sels lors de ce procédé est déversée dans l'égout .



Fig(II.2): Dégazage Thermique de l'Eau.

II-1-4)- Dégazage thermique :

Une station de surpression véhicule le perméat du réservoir de perméat dans le dégazeur thermique où l'eau est finement distribuée par des tôles irriguées et est chauffée par de la vapeur en contre-courant jusqu'à une température de l'ordre de 110 °C.

Dans ce procédé d'ébullition, les gaz dissouts dans l'eau (oxydes carboniques, oxygène...etc) se dégagent et sont déchargés à travers une soupape .

L'eau dégazée entre dans la bache d'alimentation qui est équipée d'un dispositif d'ébullition où la température de fonctionnement du système est atteinte. Additionnelement à la prise résiduelle chimique de l'oxygène et la correction de la valeur du PH, on ajoute, par une pompe de dosage, de l'hydrate d'hydrazine et du phosphate de la solution de soude caustique de telle manière que les valeurs limites prescrites pour l'eau des chaudières soient observées .

A partir de la bache d'alimentation, l'eau est véhiculée directement dans la chaudière à l'aide de pompes d'alimentation à haute pression .

II-2)- Alimentation en combustible :

Plusieurs types de combustibles sont utilisés pour alimenter les chaudières : les combustibles solides (coke, charbon), liquides (mazout, fuel-oil) et gazeux (G.P.L., G.N.L.) .

La chaudière de l'usine de RELIZANE sera alimentée par du G.P.L. qui peut être obtenu comme suit :

- Dans des raffineries de pétrole, soit en cours de distillation du pétrole brut, soit surtout lors du craquage ou du reformage des produits lourds en vue de la production des essences .

- Au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel qui ont pour but de séparer et de recueillir les produits condensables (propane, butane, essences légères) .

Le G.P.L. qui sera utilisé pour chauffer la chaudière de notre usine est constitué à 100% de propane dont les caractéristiques sont les suivantes :

**** à l'état liquide ****

- formule.....	C_3H_8
- masse molaire [g/mol].....	44,09
- température critique [°C].....	96,8
- pression critique [atm].....	42
- température de fusion [°C].....	-189,9
- point d'ébullition à P.atm. [°C].....	-42,1
- densité	
à 15 °C.....	0,509
à 50 °C.....	0,450
	à 15 °C..288 10 ⁻⁵
- coefficient de dilatation cubique [1/K]	
	à 40 °C..450 10 ⁻⁵
- viscosité absolue [10 ⁻⁷ poises]	
	à 4 °C.....11700
	à 15 °C.....10600
- chaleur spécifique à 0 °C [kcal/kg].....	0,576
- pouvoir calorifique supérieur :	
par kg.....	11920 [kcal]

par litre à 15 °C..6050 [kcal]

** à l'état gazeux **

- densité par rapport à l'air.....1,56
- masse volumique à 0 °C et 1013 mbar [g/l].....2,01
- volume massique à 15 °C , 1013 mbar [m³ /kg].....0,535
- chaleur latente de vaporisation à la température
d'ébullition sous 1013 mbar [kcal/kg].....101,7
- Cp [kcal] à 15 °C et Patm.....0,390
- Cv [kcal] à 15 °C et Patm.....0,346
- viscosité du gaz à 20 °C [10⁷ poises].....806
- pouvoir calorifique à 0 °C , 1013 mbar
 - .Supérieur.....24 350 [kcal/kg]
 - .Inférieur.....22 380 [kcal/kg]
- limite d'inflammation dans l'air :
 - .Supérieur.....2,37
 - .Inférieur.....9,50
- température d'inflammation [°C].....499

II-2-1)- Stockage du G.P.L. :

Le GPL sera stocké dans deux réservoirs cylindriques de capacité 100 m³ chacun placé à 100m du site de l'usine dans un dépôt dit aérien. Ces réservoirs fixes sont construits en acier doux Martin soudable, qualité chaudière [1]. Ce métal, dont le coefficient d'allongement est très important, offre les meilleures garanties de sécurité dans le cas où les réservoirs seraient soumis à des déformations (surpression, incendie...etc) .

L'équipement d'un réservoir comporte :

- Un trou d'homme de diamètre 500 mm pour favoriser la

ventilation .

- sur la génératrice supérieure :
 - . une tubulure pour la soupape de sureté;
 - . trois tubulures pour le départ (phase gazeuse);
 - . une tubulure pour jauge du point haut .
- sur la génératrice inférieure :
 - . deux tubulures pour le départ (phase liquide);
 - . une tubulure pour purge d'eau .
- sur l'un des fonds :
 - . une tubulure centrale pour jauge à flotteur;
 - . une tubulure pour manomètre;
 - . un puits thermométrique .

Il y a lieu de tenir compte du coefficient de dilatation très élevé du gaz lorsqu'il est à l'état liquide. Aussi, les récipients destinés à emmagasiner le GPL ne doivent jamais être remplis complètement (hauteur de remplissage maximale : 85%) sinon la moindre dilatation consécutive à une élévation de température pourrait en provoquer la rupture, à moins que des organes de sureté n'évacuent l'excès de volume .

II-2-2)- Alimentation de l'usine en G.P.L. :

L'alimentation de l'usine en GPL se fait en camions-citernes porteurs, d'une capacité de 23 500 litres permettant de transporter 10 tonnes de propane.

Une fois arrivé à la station de stockage, le camion-citerne, contenant le propane à l'état liquide, est connecté à un des réservoirs pour être déchargé. On met alors en communication les phases gazeuses du réservoir et du camion-citerne dans le but

d'équilibrer les pressions sur les phases liquides et de faciliter le fonctionnement de la pompe qui se traduit par une réduction de la force motrice nécessaire. Ensuite, la phase liquide est pompée vers le réservoir et le volume ainsi libéré est remplacé par le gaz provenant du réservoir.

Ainsi, le camion-citerne qui est arrivé avec du propane à l'état liquide, repart avec du propane à l'état gazeux .

II-2-3)- Vaporisation du G.P.L. :

Le GPL ainsi stocké ne pouvant être utilisé directement pour chauffer la chaudière, on a mis en place un vaporisateur afin d'évaporer la quantité de GPL nécessaire à la production .

La phase liquide est soutirée par le bas du réservoir, passe dans un séparateur d'eau puis dans le vaporisateur qui est un échangeur servant à chauffer le GPL à l'aide de la vapeur soutirée de la chaudière. Le gaz obtenu est renvoyé vers les citernes de GPL d'où il est repris pour passer à travers un détendeur primaire où la pression sera réduite de la pression du réservoir à 1 bar, puis à travers un deuxième détendeur situé à proximité de la chaufferie d'où il passe de 1 bar à 300 mbar qui est la pression d'alimentation de la chaudière .

* Description du vaporisateur :

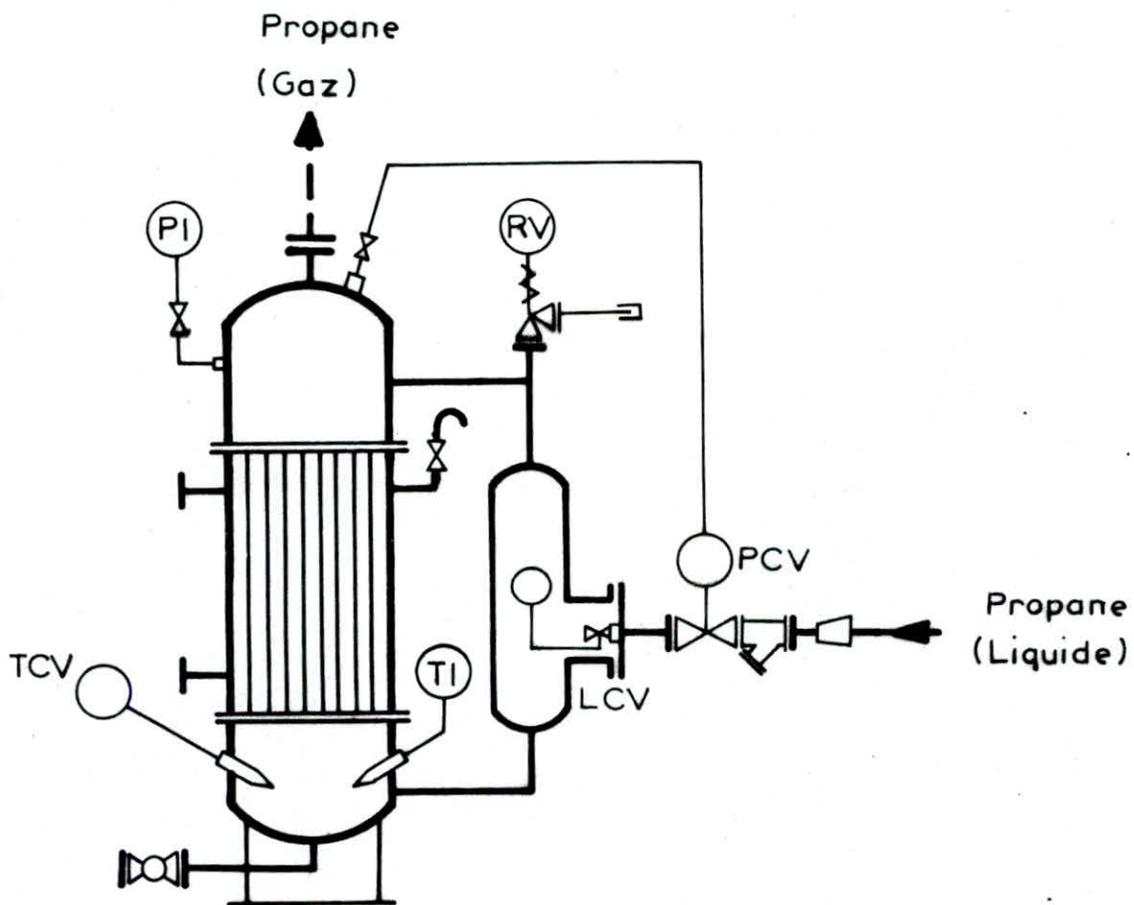
Le vaporisateur du propane liquéfié est une construction verticale , par laquelle le propane s'évapore dans un tuyau, chauffé par de la vapeur d'eau sur le côté extérieur de ce dernier (l'enveloppe) .

Le propane liquide sera conduit au vaporisateur par un

filtre, une soupape réglée par pression (PCV) et une autre par niveau (LCV). La soupape commandée par niveau règle le niveau à l'intérieur du vaporisateur et celle réglée par pression réstreint en haut la pression dans la partie à haute pression de l'installation (vaporisateur et réservoir) étant donné que lors de l'augmentation de la pression moins de liquide est conduit au vaporisateur même si le niveau est très faible et que la soupape de niveau se soit totalement ouverte. Le propane évaporé sera conduit de la chambre du haut au réservoir et la vapeur d'eau sera conduite dans la partie supérieure de l'enveloppe par un filtre et une soupape d'arrêt, alors que l'eau condensée sera évacuée par le bas du tuyau de l'enveloppe du vaporisateur par une soupape réglée par la température (TCV) à un conduit d'eau condensée .

La température du propane liquide dans la chambre à vapeur inférieure sera maintenue constante par un réglage par retenue de condensat. Cette température donne aussi suite à une pression dans le vaporisateur, celle-ci dépendant d'ailleurs aussi de la synthèse des propanes (mélange propane/butane) .

Afin de permettre le contrôle et le réglage de la pression et de la température dans la partie propane, un manomètre (PI) et un thermomètre (TI) ont été prévus. Le manomètre situé dans les conduits d'eau condensée révèle la présence de la vapeur .



Fig(II.3) : Vaporisateur de G.P.L .

CHAPITRE III
ETUDE DU CIRCUIT DE VAPEUR

III-1)- Le générateur de vapeur :

Un générateur de vapeur ou chaudière est un appareil destiné à produire une certaine quantité horaire de vapeur, à une pression et une température déterminées .

Les chaudières sont caractérisées par :

- la surface de chauffe;
- la pression maximale ou timbre;
- la capacité de production de vapeur ou débit de vapeur;
- la capacité calorifique ou puissance .

Dans toute usine possédant une chaudière, la vapeur est parfois utilisée comme un fluide moteur pour actionner une machine à vapeur (une turbine par exemple), le plus souvent, elle est utilisée comme fluide porteur de charge servant au chauffage de bains, d'autoclaves, d'aérothermes...etc .

Dans le premier cas, on parle de chaudière productrice d'énergie servant principalement à produire de la vapeur ayant des caractéristiques élevées (vapeur surchauffée) .

Dans le second cas, on parle de chaudière industrielle produisant de la vapeur légèrement surchauffée à une pression modérée .

Dans la gamme des petites installations, on utilise généralement des chaudières dites à " tubes de fumée " où les fumées des gaz de combustion circulent à l'intérieur d'un faisceau de tubes baignant dans l'eau qui s'évapore en recevant la chaleur cédée par ces fumées .

Dans les centrales thermiques pour les grandes puissances, les chaudières utilisées sont dites à " tubes d'eau " où l'eau

circule dans les tubes baignant dans les fumées des gaz de combustion .

Pour l'usine de RELIZANE, il est prévu l'utilisation d'une chaudière à fonctionnement complètement automatique du type " tubes de fumée " ayant les caractéristiques suivantes :

- surface de chauffe : 280 m² ;
- timbre : 18 bars relatifs;
- débit de vapeur : 14 tonnes/heure;
- puissance : 6 860 kW .

Elle sera chauffée au GPL et les gaz de combustion seront évacués vers l'atmosphère par un tuyau de raccordement à la cheminée en tôle d'acier de 12 m de haut .

III-2)- Les Autoclaves :

III-2-1)- Dimensions de l'autoclave :

Le durcissement de la B.S.C. se fait dans des autoclaves cylindriques horizontaux (8 autoclaves sont nécessaires pour satisfaire la production et un neuvième en réserve), de 2 m de diamètre et 25 m de long. L'épaisseur du corps cylindrique a été calculée pour résister à une pression de 16 bars relatifs à l'aide de la formule suivante :

$$E_p = \frac{D_i}{2} \times \left(\sqrt{\frac{(Re/s) \times v + P_i}{(Re/s) \times v - P_i}} \right) + C + C_1 \quad (III.1)$$

[1],[3]

avec :

E_p [mm] : épaisseur de la paroi cylindrique;

$D_i = 2\ 000$ [mm] : diamètre intérieur;

$P_i = 16$ [bar] : pression dans l'autoclave;

$R_e = 229,16 \cdot 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$: limite d'élasticité à la température 203 °C;

$s = 1,5$: coefficient de sécurité;

$v = 0,85$: coefficient de soudure;

$C_1 = 0,1 \text{ [mm]}$: tolérance en moins sur le produit;

$C = 1 \text{ [mm]}$: surépaisseur de corrosion .

$$E_p = \frac{2\,000}{2} \times \frac{(229,16 \cdot 10^6 / 1,5) \times 0,85 + 16 \cdot 10^5}{(229,16 \cdot 10^6 / 1,5) \times 0,85 - 16 \cdot 10^5} + 1 + 0,1$$

$$E_p = 13,53 \text{ [mm]}$$

On choisira

$E_p = 14 \text{ [mm]}$

L'autoclave ainsi dimensionné est traversé par des rails permettant de guider un train de 21 wagons chargés de briques à durcir .

III-2-2)- Drainage et purge de l'autoclave :

Le chauffage d'un autoclave dépend en substance d'une évacuation complète de l'air de l'intérieur de celui-ci et d'une décharge complète du condensat pendant le chauffage .

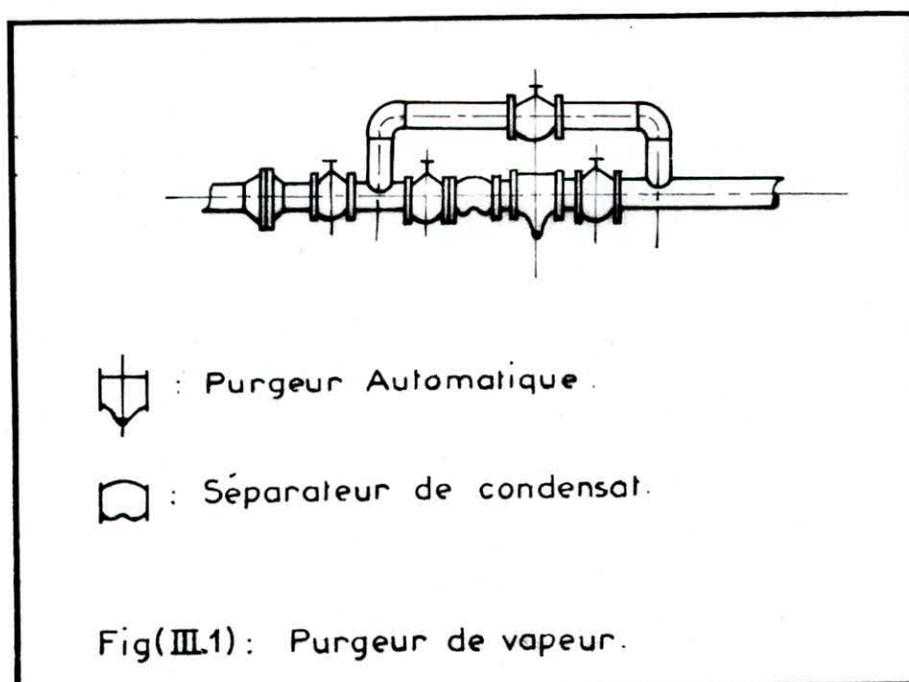
Dans les autoclaves directement chauffés à la vapeur, comme c'est le cas ici, il y a un encrassement intense du condensat, surtout par suite du mélange avec la chaux et le sable. Sans égard pour le degré d'encrassement, un écoulement parfait du condensat est réalisé par un purgeur de vapeur constitué d'un purgeur automatique et d'un séparateur de condensat .

Pendant toute la durée du procédé et surtout pendant le premier quart, il se forme du condensat chaud qui s'accumule dans le purgeur de vapeur, en emportant des matières étrangères et dans le tuyau devant le purgeur automatique où les éléments les plus gros se déposent .

Le condensat, coulant dans le séparateur de condensat plus haut, ne véhicule que des particules fines qui sont extraites dans la mesure du possible par le tuyau ascendant, afin d'éviter l'usure et l'encrassement du séparateur de condensat .

L'entretien du purgeur est d'une très grande importance pour le fonctionnement correcte des autoclaves. Il doit être contrôlé et nettoyé à intervalles de temps réguliers (au minimum une fois par semaine) .

L'évacuation du condensat est aussi importante car dans la partie inférieure de l'autoclave fortement encrassé lorsque l'évacuation du condensat est insuffisante, il se forme des fentes et des piqûres de corrosion. Aussi, une légère pente de l'autoclave facilite l'écoulement du condensat vers le purgeur .



III-2-3)- Calorifugeage et Étanchéité des autoclaves :

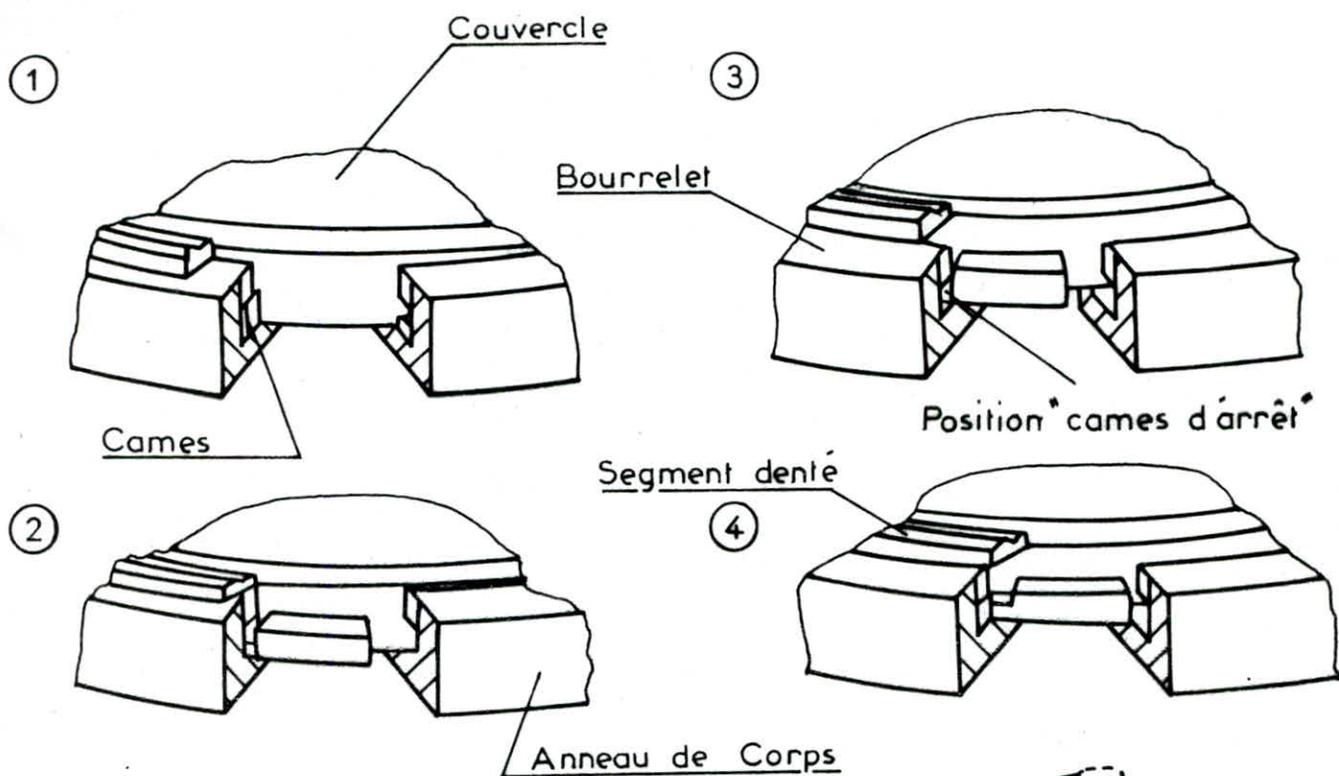
Les autoclaves sont isolés avec de la laine de verre d'une épaisseur de 100 mm recouverte d'une tôle galvanisée de 1 mm d'épaisseur. L'épaisseur d'isolation sur les portes est de 80 mm.

L'autoclave est fermé par deux portes à fermeture rapide avec charnière et contre-poids. Son étanchéité est assurée par un système constitué d'un anneau de corps, de bourrelets et de cames d'arrêt (voir Fig.(III.2)) .

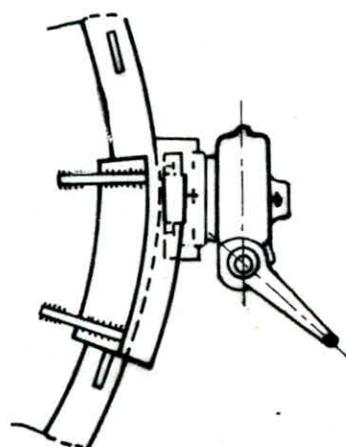
L'ouverture et la fermeture de ces portes n'est permise qu'aux personnes formées et autorisées par la direction car des consignes de sécurité très sévères sont appliquées vu les graves conséquences qui peuvent découler d'un mauvais maniement de celles-ci .

La fermeture de la porte se fait en tournant le couvercle moyennant un engrenage à vis sans fin. Après que le couvercle soit fermé, on ferme le dispositif de sécurité, alors, l'autoclave peut être mis sous pression .

Avant d'ouvrir la porte, il faut vérifier sur les indicateurs de pression (manomètre par exemple), si l'autoclave est à la pression atmosphérique. Seulement alors, on peut ouvrir le dispositif de sécurité. Par cette organe l'intérieur de l'autoclave est relié à l'atmosphère. Il faut faire attention qu'aucune surpression ne s'échappe plus du dispositif de sécurité avant de commencer l'ouverture de la porte .



Dispositif pour
la rotation du
couvercle.



- ① - Le couvercle est fermé. Les cames du couvercle se trouvent au-dessous des bourrelets de l'anneau de corps.
- ② - En ouvrant la porte, le couvercle est d'abord tourné à la main moyennant le dispositif de rotation du couvercle jusqu'à la position intermédiaire.
- ③ - Un détachement brusque du couvercle est ainsi impossible, vu que la partie étagée des cames d'arrêt se trouve encore au-dessus des bourrelets de l'anneau de corps.
- ④ - En continuant de tourner, le couvercle va jusqu'à la position ouverte, et le couvercle peut alors être enlevé.

Fig(III.2): Dispositif de Sécurité de la Porte.

III-3)- Réseau de distribution de la vapeur :

La vapeur produite dans la chaudière doit être acheminée vers les autoclaves qui contiennent les briques à sécher. On prévoit aussi, après la période de séchage, de transvaser la vapeur contenue dans un autoclave vers un autre contenant de nouvelles briques .

Il est donc nécessaire de concevoir un réseau de canalisation permettant d'effectuer le transport de la vapeur et un distributeur permettant le transvasement de celle-ci dans les meilleures conditions possibles .

III-3-1)- Conception et tracé du réseau :

D'une façon générale, les tuyauteries doivent être montées à l'abri des chocs éventuels qui peuvent engendrer des fuites immédiates ou à terme .

Chaque fois que cela était possible, les tuyauteries ont été placées dans des endroits accessibles afin de rendre leur visite facile soit pour refaire les joints, soit pour les démontages éventuels .

Les tuyauteries multiples sont établies en lignes parallèles en évitant les croisements. Il faut en effet toujours prévoir que si on est obligé de démonter un tube, ce travail ne doit pas être gêné par les tubes voisins .

Les tubes aériens sont fixés sur des supports érigés à cet effet par des colliers suffisamment ajustés pour éviter les vibrations au moment des coups de bélier éventuels .

Dans la conception du tracé, on a évité dans la mesure du

possible les changements de direction fréquents et brusques qui causeraient des pertes de charge élevées .

III-3-2)- Amélioration du rendement des tuyauteries :

Dans cette usine, la vapeur est utilisée essentiellement pour le chauffage des autoclaves. Cette dernière cède son énergie en se transformant en eau de condensation et le rendement économique de l'installation est conditionné par l'évacuation rationnelle de cette eau qui s'effectue normalement à l'aide de purgeurs .

Il faut aussi tenir compte de la présence de l'air dans les tuyauteries de vapeur par suite du vide qui se produit à l'arrêt pendant la nuit, du fait de la condensation et qui provoque l'entrée de l'air par les joints non étanches .

Pour pallier aux inconvénients apportés par l'eau et l'air, la solution rationnelle consiste à prévoir toutes les tuyauteries en pente vers les purgeurs sans aucune poche où l'air puisse s'amasser .

Dans la partie supérieure de l'installation, on disposera un petit réservoir fermé dans lequel l'air s'accumulera naturellement pendant la période d'arrêt. Chaque matin, il sera aisé d'évacuer l'air à l'aide d'un robinet manoeuvré à distance. De cette façon, les purgeurs ayant moins d'air à évacuer, fonctionneront beaucoup plus facilement et la montée en température se fera avec rapidité. D'autre part, l'air étant plus lourd que la vapeur, se trouve entraîné vers les purgeurs d'eau placés à la partie basse de l'installation d'où il est évacué .

III-3-3)- Distribution de la vapeur :

La production de la BSC est assurée en deux postes de travail de 8 heures par jour constituant la durée d'un cycle d'autoclavage :

- chargement de l'autoclave avec 21 chariots.....= 0,3 h
- fermeture des portes.....= 0,1 h
- chauffage à 203 °C.....= 1,0 h
- maintient à 203 °C.....= 4,0 h
- échappement de la vapeur.....= 1,0 h
- réserve.....= 1,6 h
- Durée totale.....= 8,0 h

Après avoir chargé l'autoclave, de la vapeur légèrement surchauffée (16 bars relatifs, 250 °C) est envoyée dans ce dernier pendant une heure pour élever sa température de la température ambiante à la température de saturation de la vapeur qui est 203 °C à 16 bars relatifs .

Ensuite, on fait l'appoint en vapeur pour maintenir cette température pendant 4 heures (durée de durcissement de la BSC).

Après cette période, la vapeur est transvasée dans un autre autoclave contenant de nouvelles briques à durcir .

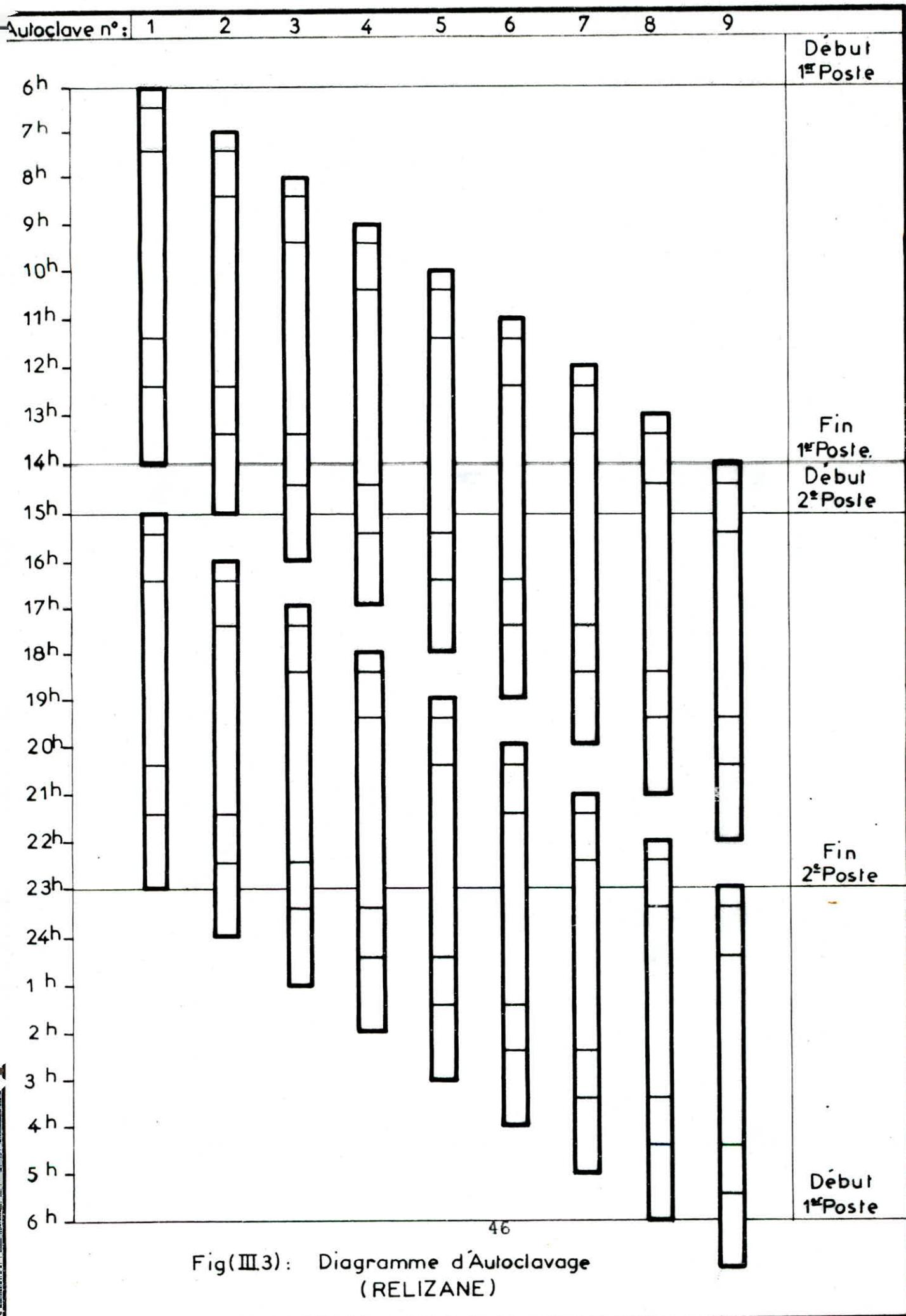
A la fin du cycle, on ouvre les portes et on fait sortir le train contenant les briques durcies .

A la fin du deuxième poste de travail, la vapeur ne peut plus être récupérée vu qu'il n'y a plus d'autoclaves chargés, on est alors obligé de l'évacuer. Mais la vapeur étant à haute pression, elle ne peut être évacuée directement sans produire d'ondes de chocs causant des bruits assourdissants. Alors, on

doit la faire passer d'un autoclave à un autre pour la faire descendre en pression jusqu'à 1 bar environ pour finalement l'envoyer sans danger dans une conduite qui la mènera vers des conduites d'eau usées où elle sera condensée .

Pour assurer les opérations décrites précédemment, un distributeur a été conçu. Il est constitué par un manifold de 220 mm de diamètre duquel partent 18 tubes de diamètre 100 mm et d'un tube de 150 mm venant de la chaudière. Neuf d'entre eux sont directement reliés aux 9 autoclaves et les neuf autres permettent la communication de ces derniers entre eux. Ils sont aussi utilisés pour l'évacuation de la vapeur vers les conduites d'eaux usées par l'intermédiaire d'un tube silencieux auquel ils sont raccordés .

La régulation de la distribution de la vapeur est assurée par un système de clapet automatique .



Fig(III.3): Diagramme d'Autoclavage (RELIZANE)

CHAPITRE IV
DIMENSIONNEMENT DU
CIRCUIT DE VAPEUR

IV-1)- Bilan thermique de l'installation :

Pour dimensionner le circuit de vapeur, il faut d'abord évaluer les besoins calorifiques nécessaires à notre installation. Ces besoins sont :

- quantité de chaleur absorbée par la charge de briques;
- quantité de chaleur absorbée par l'autoclave et ses accessoires;
- quantité de chaleur absorbée par le train qui transporte les briques;
- quantité de chaleur absorbée par les tuyauteries et les organes de raccordement;
- quantité de vapeur nécessaire pour remplir l'autoclave;
- quantité de chaleur nécessaire pour dégazer l'eau d'alimentation de la chaudière;
- quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le GPL .

IV-1-1)- Quantité de chaleur absorbée par la charge :

Il faut élever la température de la charge de la température ambiante à la température de saturation de la vapeur .

$$Q_1 = \frac{M_1}{t} \times C_1 \times (T_s - T_a) \quad (IV.1)$$

avec :

$M_1 = 67\ 000$ [kg] : masse de la charge;

$t = 1$ [heure] : durée de chauffage;

$C_1 = 0,787$ [kJ/kg.°C] : chaleur spécifique de la BSC;

$T_s = 203$ [°C] : température de la vapeur saturée à 16 bars relatifs;

$T_a = 18,5 [^{\circ}\text{C}]$: température ambiante .

$$Q_1 = \frac{67\,000}{3\,600} \times 0,787 \times (203 - 18,5)$$

$$Q_1 = 2\,702,20 \text{ [kW]}$$

IV-1-2)- Quantité de chaleur absorbée par l'autoclave et ses accessoires :

Il faut élever la température de l'autoclave et ses accessoires de la température ambiante à celle de la vapeur saturée .

$$Q_2 = \frac{M_2}{t} \times C_2 \times (T_s - T_a) \quad (\text{IV.2})$$

avec :

$M_2 = 18\,520 \text{ [kg]}$: masse de l'autoclave et ses accessoires;

$C_2 = 0,477 \text{ [kJ/kg.}^{\circ}\text{C]}$: chaleur spécifique de l'acier

$$Q_2 = \frac{18\,520}{3\,600} \times 0,477 \times (203 - 18,5)$$

$$Q_2 = 452,74 \text{ [kW]}$$

IV-1-3)- Quantité de chaleur absorbée par le train :

De même que précédemment :

$$Q_3 = \frac{n \times M_3}{t} \times C_2 \times (T_s - T_a) \quad (\text{IV.4})$$

avec :

$n = 21$: nombre de wagons;

$M_3 = 417,5$ [kg] : masse d'un wagon .

$$Q_3 = \frac{21 \times 417,5}{3\ 600} \times 0,477 \times (203 - 18,5)$$

$Q_3 = 214,33$ [kW]

IV-1-4)- Quantité de chaleur absorbée par la tuyauterie et les organes de raccordement :

$$Q_4 = \frac{M_4}{t} \times C_2 \times (T_s - T_a) \quad (\text{IV.4})$$

avec :

M_4 : masse de la tuyauterie et des organes de raccordement .

On va estimer M_4 d'après le schéma isométrique du réseau :

organe	masse théorique	nombre/longueur	masse
tuyau DN 100	9,33 kg/m	37 m	345 kg
tuyau DN 150	17,13 kg/m	22 m	377 kg
coude DN 100	2,5 kg	6	15 kg
coude DN 150	5 kg	3	15 kg
clapet DN 100	20 kg	1	20 kg

manifold DN 220	32,5 kg/m	6,15 m	200 kg
masse totale			972 kg

$$Q_4 = \frac{972}{3\ 600} \times 0,477 \times (203 - 18,5)$$

$$Q_4 = 23,76 \text{ [kW]}$$

IV-1-5)- Quantité de vapeur nécessaire pour remplir l'autoclave :

Après avoir chauffé l'autoclave, il faut le remplir de vapeur pour monter en pression. On exprimera cette quantité de vapeur en quantité de chaleur comme précédemment :

$$Q_5 = \frac{\rho_v \times V}{t} \times H_v \quad (\text{IV.5})$$

avec : $\rho_v = 8,405 \text{ [kg/m}^3\text{]}$: masse volumique de la vapeur saturée sèche à 16 bars relatifs;

$V = 78,33 \text{ [m}^3\text{]}$: volume de l'autoclave;

$H_v = 2\ 793,5 \text{ [kJ/kg]}$: enthalpie de la vapeur saturée sèche à 16 bars relatifs .

$$Q_5 = \frac{8,405 \times 78,33}{3\ 600} \times 2\ 793,5$$

$$Q_5 = 510,87 \text{ [kW]}$$

IV-1-6)- Quantité de chaleur nécessaire pour le dégazeur thermique :

Il faut faire bouillir l'eau se trouvant dans le dégazeur avec de la vapeur, provenant de la chaudière, qui cèdera sa chaleur en se condensant .

$$Q_6 = M_6 \times C_6 \times (T_e - T_a) \quad (\text{IV.6})$$

avec :

$M_6 = 2,42 \text{ [kg/s]}$: débit d'eau à dégazer.

(ce débit est obtenu par itérations successives) .

$C_6 = 4,23 \text{ [kJ/kg.}^\circ\text{C]}$: chaleur spécifique de l'eau à 1,3 bar (pression dans le dégazeur);

$T_e = 106,8 \text{ [}^\circ\text{C]}$: température d'ébullition de l'eau à 1,3 bar .

$$Q_6 = 903,89 \text{ [kW]}$$

IV-1-7)- Quantité de chaleur nécessaire pour le vaporisateur de G.P.L. :

$$Q_7 = M_7 \times H_{fg} \quad (\text{IV.7})$$

avec :

$M_7 = 0,186 \text{ [kg/s]}$: débit de G.P.L.;

$H_{fg} = 354,64 \text{ [kJ/kg]}$: enthalpie de vaporisation du propane à la température ambiante;

$$Q_7 = 0,186 \times 354,64$$

$$Q_7 = 65,96 \text{ [kW]}$$

IV-2)- Pertes de chaleur lors du maintien en température :

Après avoir chauffé jusqu'à 203 °C, on doit maintenir cette température pendant 4 heures. Il faut donc calculer les pertes de chaleur de l'intérieur de l'autoclave vers l'air ambiant .

IV-2 ')- Pertes de chaleur par la partie cylindrique de l'autoclave :

Les pertes de chaleur se font par :

- conduction à travers la paroi du cylindre, l'épaisseur de calorifugeage et la tôle galvanisée;
- convection naturelle vers l'air ambiant .

On négligera la convection de la vapeur saturée à l'intérieur de l'autoclave .

La quantité de chaleur perdue s'écrira comme suit :

$$Q' = \frac{\pi \times L \times (T_s - T_a)}{\frac{1}{2k_1} \ln(D_1/D_i) + \frac{1}{2k_2} \ln(D_2/D_1) + \frac{1}{2k_3} \ln(D_e/D_2) + \frac{1}{h_a \cdot D_e}} \quad (\text{IV.8})$$

avec :

$L = 25$ [m] : longueur du cylindre;

$D_i = 2$ [m] : diamètre intérieur de l'autoclave;

$D_1 = D_i + E_p$;

$E_p = 14$ [mm] : épaisseur de la paroi;

$D_2 = D_1 + 2 \times d$;

$d = 100$ [mm] : épaisseur de calorifugeage;

$D_e = D_2 + 2 \times s$;

$s = 1$ [mm] : épaisseur de la tôle galvanisée;

$k_1 = 45$ [W/m °C] : coefficient de conduction de l'acier;

$k_2 = 0,042$ [W/m °C] : coefficient de conduction de la laine de verre;

$k_3 = k_1$: coefficient de conduction de la tôle;

h_a [W/m².°C] : coefficient de convection naturelle de l'air;

$T_s = 203$ [°C] : température de la vapeur saturée;

$T_a = 18,5$ [°C] : température ambiante .

Déterminons le coefficient de convection de l'air :

La perte de chaleur peut aussi être calculée par :

$$Q' = h_a \times \pi \times D_e \times L \times (T_p - T_a) \quad (\text{IV.9})$$

avec :

T_p [°C] : température de la paroi extérieure;

On procédera par itérations successives pour déterminer h_a , en prenant pour valeur de départ $h_a = 10$ [W/m² °C] .

1° itération :

D'après (IV.8) : $Q' = 12\,441,5$ [W]

$$\text{D'après (IV.9) : } T_p = T_a + \frac{Q'}{h_a \times \pi \times D_e \times L} \quad (\text{IV.10})$$

$$\text{D'où } T_p = 25,6 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

On utilisera la corrélation donnée par :

$$Nu_f = C \times (Gr_f \times Pr_f)^m \quad (\text{IV.11}) \quad [8]$$

avec :

$$Nu_f = \frac{h_a \times D_e}{K_f} \quad : \text{ nombre de NUSSELT;}$$

$$Gr_f = \frac{g \times \beta \times (T_p - T_a) \times D_e^3}{\nu_f^2} \quad : \text{ nombre de GRASHOFF;}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} : \text{ accélération de la pesanteur;}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \text{ [1/K]} : \text{ coefficient de dilatation thermique;}$$

$$T_f = \frac{T_p + T_a}{2} \text{ [K]} : \text{ température du film;}$$

$$\nu_f \text{ [m}^2\text{/s]} : \text{ viscosité cinématique de l'air;}$$

$$Pr_f = \frac{\mu_f \times C_p}{K_f} \quad : \text{ nombre de PRANDLT;}$$

$$\mu_f \text{ [kg/m.s]} : \text{ viscosité dynamique;}$$

$$C_p \text{ [kJ/kg]} : \text{ capacité calorifique à pression constante;}$$

$$C \text{ et } m : \text{ coefficients dépendant de } Ra_f;$$

$$Ra_f = Gr_f \times Nu_f : \text{ nombre de RAYLEIGH;}$$

$$\text{D'où : } T_f = 22,05 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{et } \nu_f = 15,25 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]; } \beta = 0,00339 \text{ [1/K];}$$

$$K_f = 2,606 \times 10^{-2} \text{ [W/m.}^\circ\text{C]; } Pr_f = 0,703;$$

$$Ra_f = 3\,957\,557\,900 \quad \implies \quad C = 0,13 \text{ et } m = 1/3$$

$$\text{D'après (IV.11)} : Nu_f = 205,63 \quad \implies \quad ha_1 = 2,403 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$$

2° itération :

$$\text{D'après (IV.8)} : Q' = 11\,091,4 \text{ [W]}$$

$$\text{D'après (IV.10)} : T_p = 44,85 \text{ [°C]}$$

$$\text{D'où} : T_f = 31,7 \text{ [°C]}$$

$$\text{et } \nu_f = 16,15 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s}]; \quad \beta = 0,00328 \text{ [1/K];}$$

$$K_f = 2,680 \cdot 10 \text{ [W/m} \cdot \text{°C]}; \quad Pr_f = 0,701;$$

$$Ra_f = 25\,285\,991\,000 \quad \implies \quad C = 0,13 \text{ et } m = 1/3$$

$$\text{D'après (IV.11)} : Nu_f = 381,56 \quad \implies \quad ha_2 = 4,58 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$$

Une troisième itération n'apporterait qu'une insignifiante correction, donc il est inutile d'aller plus loin .

Finalement, on prendra pour le calcul :

$$ha = 4,58 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$$

$$\text{D'après (IV.8)} : Q' = 11\,900 \text{ [W]}$$

IV-2-2)- Pertes de chaleur par les portes :

On assimilera les portes à deux plaques planes circulaires verticales telle que :

- la surface intérieure est $S_i = 3,62 \text{ [m}^2\text{]};$

- la surface extérieure est $S_e = 3,84 \text{ [m}^2\text{]};$

- la surface moyenne est $S_m = 3,73 \text{ [m}^2\text{]} .$

La chaleur perdue par une porte est donnée par :

$$Q'' = \frac{S_m \times (T_s - T_a)}{(d_1/k_1) + (d_2/k_2) + (d_3/k_3) + (1/h_a)} \quad (\text{IV.12})$$

avec :

$d_1 = 14$ [mm] : épaisseur de la paroi de la porte;

$d_2 = 80$ [mm] : épaisseur du calorifugeage;

$d_3 = 1$ [mm] : épaisseur de la tôle galvanisée;

$k_1 = k_3 = 45$ [W/m.°C] : coefficient de conduction de l'acier;

$k_2 = 0,042$ [W/m.°C] : coefficient de conduction de la laine de verre;

h_a [W/m².°C] : coefficient de convection naturelle .

* Déterminons le coefficient de convection naturelle :

La perte de chaleur peut aussi être calculée par :

$$Q'' = h_a \times S_e \times (T_p - T_a) \quad (\text{IV.13})$$

avec :

T_p [°C] : température de la paroi extérieure .

On procédera, comme au paragraphe précédent, par itérations successives, en prenant comme valeur de départ $h_a = 10$ [W/m².°C].

1° itération :

D'après (IV.12) : $Q'' = 341,73$ [W] .

$$\text{D'après (IV.13) : } T_p = T_a + \frac{Q''}{S_e \times h_a} \quad (\text{IV.14})$$

D'où : $T_p = 27,4$ [°C] .

On utilisera la même corrélation (IV.11) qui est valable .

$T_f = 22,96$ [°C]

$$\text{et } \nu_f = 15,34 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]} ; \beta = 0,00338 \text{ [1/K]} ;$$

$$K_f = 2,614 \cdot 10^{-2} \text{ [W/m}\cdot\text{°C]} ; Pr_f = 0,702 .$$

$$Ra_f = 7\ 040\ 418\ 400 \implies C = 0,10 \text{ et } m = 1/3 .$$

$$\text{D'après (IV.11) : } Nu_f = 191,66 \implies ha_1 = 2,52 \text{ [W/m}^2\text{.°C]} .$$

2° ittération :

$$\text{D'après (IV.12) : } Q'' = 297,45 \text{ [W]} .$$

$$\text{D'après (IV.14) : } T_p = 49,5 \text{ [°C]}$$

$$\text{D'où : } T_f = 34 \text{ [°C]}$$

$$\text{et } \nu_f = 16,38 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]} ; \beta = 0,00325 \text{ [1/K]} ;$$

$$K_f = 2,706 \cdot 10^{-2} \text{ [W/m}\cdot\text{°C]} ; Pr_f = 0,700 .$$

$$Ra_f = 14\ 437\ 244\ 000 \implies C = 0,10 \text{ et } m = 1/3 .$$

$$\text{D'après (IV.11) : } Nu_f = 243,5 \implies ha_2 = 3,29 \text{ [W/m}^2\text{.°C]} .$$

Une troisième ittération n'est pas nécessaire car elle n'apporterait qu'une insignifiante correction .

On prendra donc pour le calcul :

$$ha = 3,29 \text{ [W/m}^2\text{.°C]}$$

$$\text{D'après (IV.12) : } Q'' = 310 \text{ [W]}$$

La perte de chaleur totale pendant la période de maintien :

$$Q_g = Q' + 2 \times Q''$$

$$Q_g = 12,52 \text{ [kW]}$$

IV-3)- Calcul du débit de vapeur :

Au maximum, on effectuera le remplissage d'un autoclave tandis qu'on fera l'appoint pour les 7 autres. Donc la chaleur totale nécessaire est donnée par :

$$Q = \sum_{i=1}^7 Q_i + 7 \times Q_8$$

$$Q = 4\,961,37 \text{ [kW]}$$

Cette quantité de chaleur est égale à la quantité de chaleur latente et de surchauffe (jusqu'à 250 °C, 16 bars relatifs) contenue dans le débit correspondant, c'est-à-dire :

$$Q = M \times (H_{fg} + H) \quad (\text{IV.15})$$

avec :

M [kg/s] : débit de vapeur;

$H_{fg} = 1\,926,8$ [kJ/kg] : chaleur latente de vaporisation de l'eau à 16 bars relatifs ;

H = 123,4 [kJ/kg] : chaleur ou enthalpie de surchauffe jusqu'à 250 °C .

D'après (IV.15) : $M = \frac{Q}{H_{fg} + H}$

$$M = \frac{4\,961,37}{2\,050,20} = 2,42 \text{ [kg/s]}$$

$$M = 2,42 \text{ [kg/s]}$$

IV-4)- Calcul du débit d'appoint :

Pendant la période de maintien en température, la chaleur perdue doit être remplacée en faisant l'appoint en vapeur .

Comme précédemment, on écrira pour un autoclave :

$$Q_B = Ma \times (H_{fg} + H) \quad (IV.16)$$

avec :

Ma [kg/s] : débit d'appoint .

D'après (IV.16) : $Ma = \frac{Q_B}{H_{fg} + H}$

$$Ma = \frac{12,52}{2\ 050,2} = 0,0061 \text{ [kg/s]}$$

$Ma = 0,0061 \text{ [kg/s]}$

IV-5)- Dimensionnement de la chaudière :

IV-5-1)- Débit du générateur de vapeur :

Le débit requis pour le générateur de vapeur doit être supérieur au débit instantané calculé précédemment. La chaudière, pour des raisons de sécurité, ne doit pas débiter à plus de 67% de son débit maximum. De ce fait, on doit choisir un coefficient de sécurité pour éviter tous les problèmes qui pourraient en découler .

D'où le débit requis :

$$D_{bi} = s \times M \quad (IV.17)$$

avec :

s = 1,5 : coefficient de sécurité;

$M = 2,42 \text{ [kg/s]}$: débit de vapeur nécessaire .

$$D_{bi} = 3,63 \text{ [kg/s]}$$

Le débit du générateur qui a été choisi est donc :

$$D_{bi} = 14 \text{ [tonnes/heure]} .$$

IV-5-2)- Puissance de la chaudière :

Pour calculer la puissance de la chaudière, nous devons tenir compte des pertes de chaleur par les tuyauteries, d'un coefficient de sécurité et du rendement de la chaudière .

a)- Pertes de chaleur par les tuyauteries :

L'ensemble des constructeurs indiquent que pour une tuyauterie calorifugée, ces pertes sont de l'ordre de 3% .

D'où la formule suivante :

$$Q_t = Q \times (1 + X) \quad (\text{IV.18})$$

avec :

$Q_t \text{ [kW]}$: chaleur reçue par l'installation;

$Q = 4\,962,3 \text{ [kW]}$: chaleur nécessaire;

$X = 0,03$: coefficient tenant compte des pertes de chaleur par la tuyauterie .

$$Q_t = 5\,111,2 \text{ [kW]}$$

b)- Rendement de la chaudière :

Ce rendement tiendra compte des pertes par les fumées ainsi que de l'échange de chaleur par les faces extérieures de la chaudière. Il est en général compris entre les valeurs : 0,80 et 0,90. On prendra la valeur de $\eta = 0,82$.

On en déduit la quantité de de chaleur réelle produite par la chaudière :

$$Q_r = \frac{Q_t}{\eta} \quad (\text{IV.19})$$

$$Q_r = \frac{5\,111,2}{0,82} = 6\,233,2 \text{ [kW]}$$

$$Q_r = 6\,233,2 \text{ [kW]}$$

c)- Coefficient de sécurité :

Les constructeurs recommandent un coefficient de sécurité de 10% .

La puissance de la chaudière est alors donnée par :

$$Q_{ch} = Q_r \times (1 + S) \quad (\text{IV.20})$$

avec :

Q_{ch} [kW] : puissance de la chaudière;

$S = 0,1$: coefficient de sécurité .

$$Q_{ch} = 6\,856,5 \text{ [kW]}$$

IV-6)- Dimensionnement du réseau de vapeur :

Le dimensionnement du réseau de distribution consiste essentiellement à évaluer les diamètres des conduites ainsi que les pertes de charge correspondantes .

Le calcul dépend essentiellement des facteurs suivants :

1°)- Caractéristiques du tuyau ou de la conduite :

- forme de la section de passage (circulaire, ovale ...etc);
- longueur des tronçons;
- matériau du tuyau (fer, fonte...etc);
- état de la surface intérieure (rugosité);
- obstacles gênant l'écoulement du fluide (robinets, coudes...etc);
- position du tuyau (horizontale, verticale ou en pente) .

2°)- Caractéristiques du fluide qui s'écoule :

- masse volumique du fluide (ρ) ou volume massique (v) ou densité (d);
- viscosité dynamique (μ) ou cinématique (ν);
- température et pression initiales;
- équation d'état du fluide (coefficient de dilatation, constante des gaz parfaits...etc);
- sa composition physico-chimique et l'évolution de celle-ci (condensation...etc);
- les divers autres constantes du fluide (chaleur spécifique, conductibilité thermique...etc);

3°)- Facteurs dépendants à la fois du tuyau et du fluide :

- coefficient de frottement universel de la conduite $\lambda = f(Re)$;

- débit massique et vitesse d'écoulement;

4°)- Facteurs extérieurs caractérisant le milieu ambiant et les conditions particulières d'utilisation (pression, température...etc) .

IV-6-1)- Pertes de charge :

La perte de charge dans une conduite de longueur donnée est fonction du diamètre de celle-ci, de la vitesse du fluide, de son volume spécifique, de sa viscosité cinématique et de la rugosité de la paroi du tube. Elle s'exprime par :

$$\begin{aligned}\Delta P &= \Delta P_1 + \Delta P_s \\ \Delta H &= \Delta H_1 + \Delta H_s\end{aligned}\tag{IV.20}$$

avec :

ΔP_1 ou ΔH_1 : pertes de charge linéaires exprimées respectivement en bar et en m;

ΔP_s ou ΔH_s : pertes de charge singulières exprimées respectivement en bar et en m;

Les pertes de charge linéaires s'expriment par la formule général suivante :

$$\begin{aligned}\Delta P_1 &= \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2} \times \rho \\ \Delta H_1 &= \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g}\end{aligned}\tag{IV.21}$$

avec :

λ : coefficient de frottement universel de la conduite;

L [m] : longueur de la conduite;

V [m/s] : vitesse du fluide;

d [m] : diamètre de la conduite;

ρ [kg/m³] : masse volumique du fluide;

g [m/s²] : accélération de la pesanteur .

Les pertes de charge singulières ou accidentelles s'expriment par la formule suivante :

$$\Delta P_s = \xi \times \frac{V^2}{2} \times \rho$$

(IV.22)

$$\Delta H_s = \xi \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

avec :

ξ : coefficient de résistance dû à l'obstacle rencontré ;

Toutes les méthodes proposées pour le calcul des diamètres s'imposent au départ l'un des paramètres suivants :

- la vitesse de l'écoulement du fluide;
- la perte de charge admissible .

Dans le cadre de notre étude, on s'imposera la perte de charge admissible qui ne doit pas dépasser 2 bars .

IV-6-2)- Calcul du diamètre de la conduite d'alimentation de l'autoclave :

On calculera ici le diamètre qu'il faudra donner à nos conduites pourqu'elles puissent véhiculer le débit de vapeur déjà calculé dans les meilleurs conditions possibles. On prendra le

cas le plus défavorable en considérant l'autoclave le plus éloigné .

A cet effet, on utilisera deux méthodes pratiques qui utilisent toutes les deux des abaques :

- la première est simple et spécifique au calcul des tuyauteries de vapeur .

- la deuxième est plus précise, utilisée pour tous les tubes et tous les fluides et basée sur la formule de COLEBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = - 2 \times \log \left(\frac{(E/d)}{3,7} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \quad (IV.23)$$

avec :

f : coefficient de frottement universel;

Re : nombre de REYNOLDS;

E [mm] : hauteur des rugosités;

d [mm] : diamètre de la conduite .

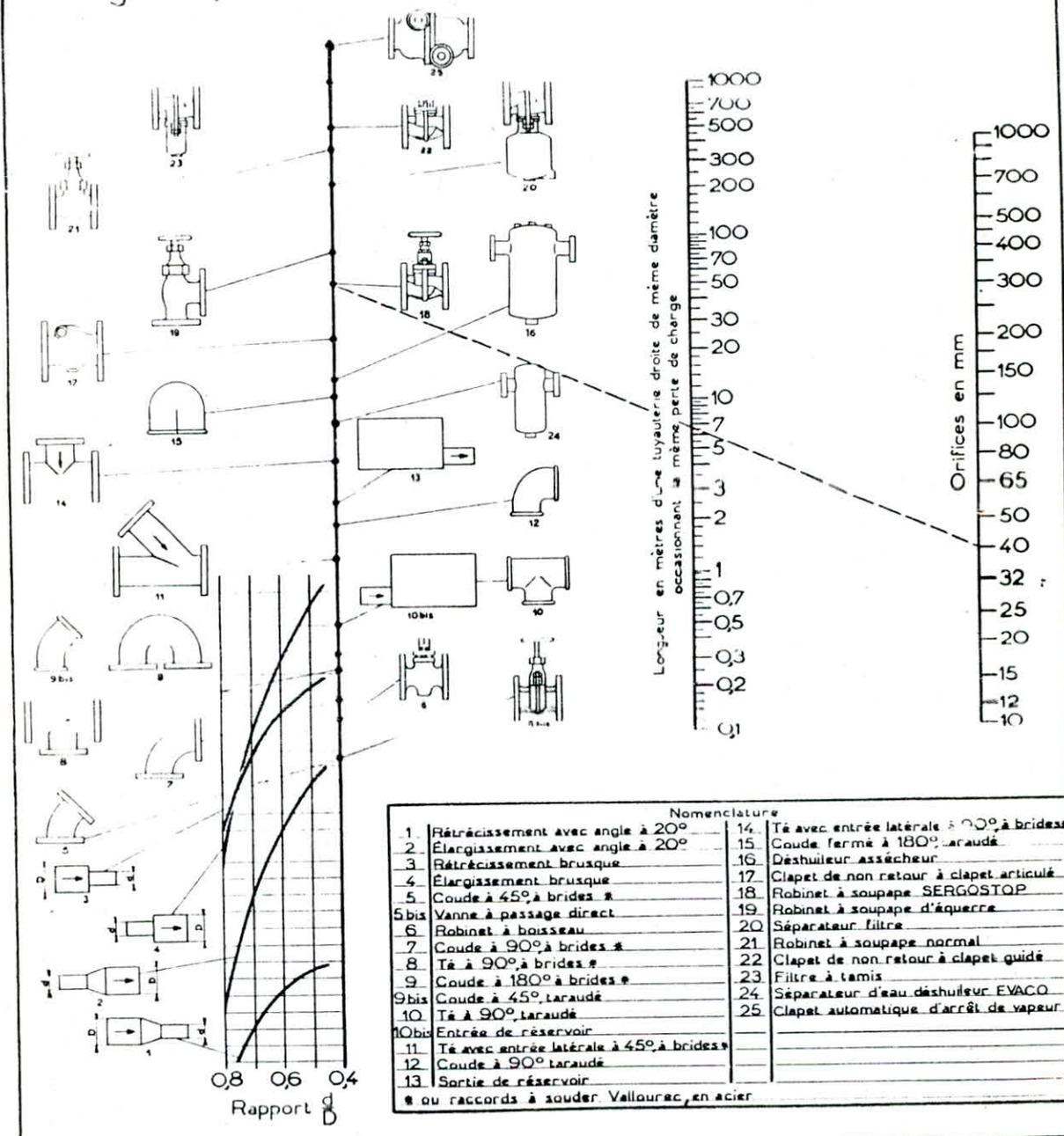
a)- Longueur droite fictive :

Quand une tuyauterie comporte des " accidents ", on commence par déterminer, à l'aide du tableau des " équivalences des pertes de charge en longueur droite de tuyauterie " (Fig.(IV.1)), la longueur droite équivalente à chacun d'eux. En faisant le total et en ajoutant celui-ci à la longueur développée de la tuyauterie, on obtient sa " longueur droite fictive " .

Les résultats des longueurs équivalentes sont résumés dans le tableau de la page 68 .

Fig. (IV.1) :

Equivalences des pertes de charge en longueurs droites de tuyauteries



EXEMPLE D'APPLICATION

Soit un robinet à soupape du modèle « Sergostop », orifice 40 mm, dont on veut connaître la perte de charge évaluée en longueur fictive de tuyauterie. Du repère 18 correspondant au robinet considéré, sur l'échelle de gauche, on trace une ligne rejoignant l'orifice 40 mm de l'échelle de droite. A l'intersection de cette ligne avec l'échelle centrale, on lit directement le résultat : **6,5 m.**
 On remarque qu'un robinet courant du commerce, repère 21, causerait une perte de charge équivalente à 16 m, soit plus du double.
 L'abaque ci-dessus s'applique aussi bien aux tuyauteries d'eau qu'à celles de vapeur ou d'air comprimé.

	longueur équivalente [m]	longueur équivalente rapportée à DN 100
sortie de la chaudière DN 150	6,5	4,33
un té DN 50	0,8	1,60
3 coudes DN 150	$3 \times 5,5 = 16,5$	11,0
manifold DN 220	6,15	2,80
trançon linéaire DN 150	22	14,67
un té DN 150	8	5,33
9 tés DN 220	$9 \times 4 = 36$	16,36
6 coudes DN 100	$6 \times 4 = 24$	24
un clapet DN 100	75	75
un té DN 100	1,7	1,7
trançon linéaire DN 100	37	37
entrée autoclave	2,5	2,5

D'où enfin la longueur droite fictive :

$$L = 196,3 \text{ [m]}$$

b)- Calcul du diamètre avec la première méthode :

On utilisera l'abaque de la Fig.(IV.2) :

- Pression relative 16 bars = Pression absolue 17 bars .

A partir de l'abscisse 17 bars, sur l'échelle des pressions absolues de l'abaque de la Fig.(IV.2), descendre une ligne parallèle aux courbes de pression jusqu'en A sur la ligne de saturation .

A partir du point A, descendre une ligne parallèle aux courbes de vapeur surchauffée jusqu'à son intersection en B avec la courbe des températures 250 °C .

A partir du point B, descendre une ligne verticale sur l'abaque inférieur de la Fig.(IV.2) (parallèle aux lignes des orifices). Cette ligne coupe au passage l'échelle des coefficients de correction V de la vitesse. La valeur de ce point, déterminée par interpolation, est $V = 1,42$. Ce nombre servira par la suite pour le calcul de la vitesse .

A partir du point 8 710 kg/h, pris sur l'échelle de gauche des débits, tracer une ligne parallèle aux lignes de pertes de charge jusqu'à son intersection en D avec la ligne verticale issue du point B .

La perte de charge ne doit pas dépasser 2 bars ($2\,039,4 \text{ g/cm}^2$) pour 196,3 m; elle sera donc, pour 100 m :

$$\frac{2\ 039,4 \times 100}{196,3} = 1\ 039\ \text{g/cm}^2$$

Tracer une ligne parallèle aux pertes de charge de valeur $1\ 039\ \text{g/cm}^2$. Du point D, obtenu précédemment, tracer une ligne parallèle aux lignes obliques de référence jusqu'à son intersection en F avec la ligne des pertes de charges $1\ 039\ \text{g/cm}^2$.

Le point F se trouve situé entre les courbes des orifices 80 mm et 100 mm (lus sur l'échelle inférieure de l'abaque Fig.(IV.2)).

Si on choisit l'orifice 80 mm, la perte de charge pour 100 m sera lue à l'intersection de la courbe des orifices 80 mm et de la ligne DF, soit au point E. Par interpolation avec les lignes obliques de pertes de charge, on détermine sa valeur qui est $2\ 700\ \text{g/cm}^2$, donc supérieure à $1\ 039\ \text{g/cm}^2$.

Si on choisit l'orifice 100 mm, la perte de charge sera lue au point G et sa valeur est $900\ \text{g/cm}^2$ convient aux conditions de l'installation.

La tuyauterie devrait donc avoir un diamètre :

D = 100 [mm]

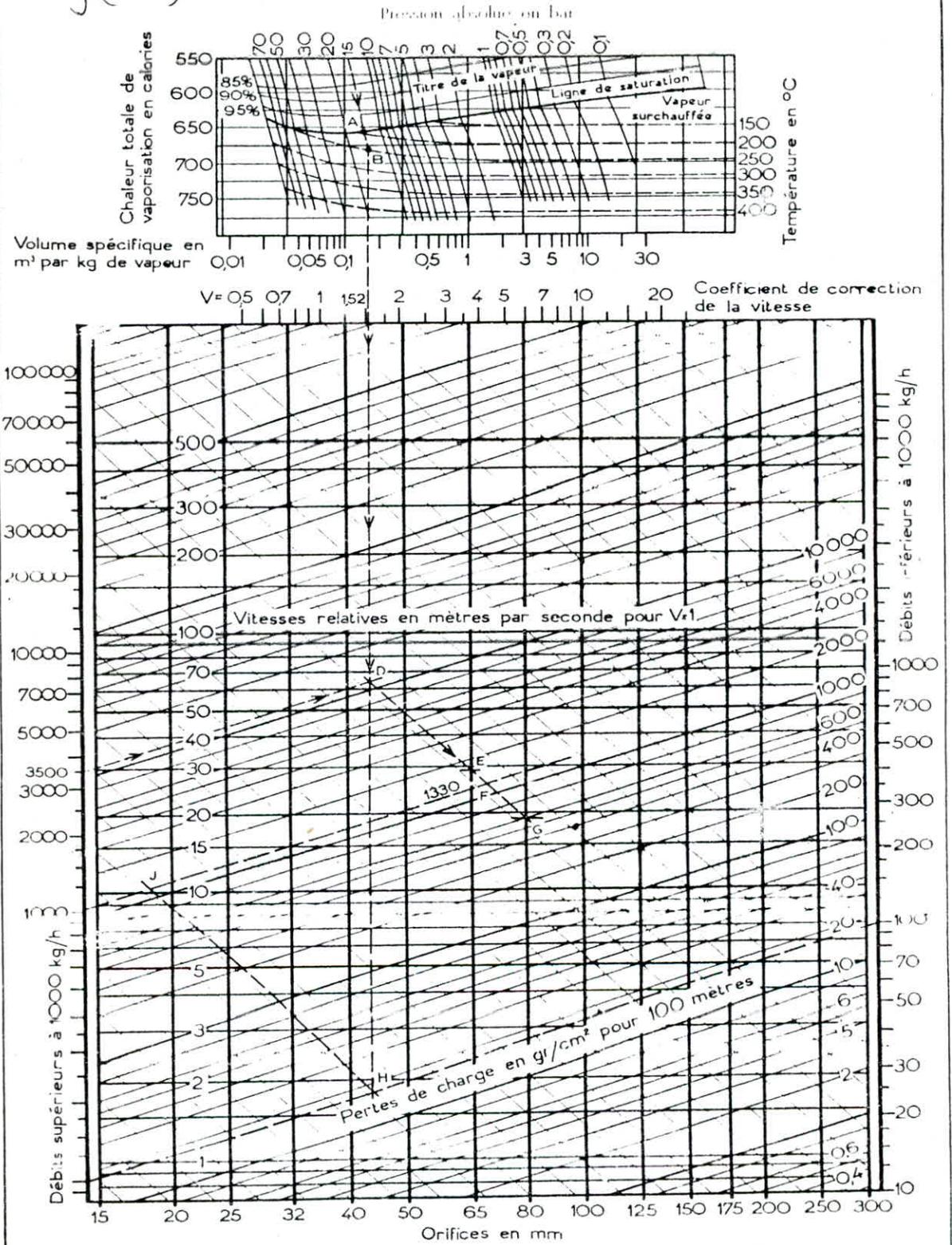
* Calcul de la vitesse de la vapeur :

Pour l'orifice 100 mm, la vitesse relative serait de 29 m/s pour $V = 1$, or le coefficient de correction de la vitesse était V

= 1,42. La vitesse réelle de la vapeur dans la conduite serait
alors : $v = 29 \times 1,42 = 41,20 \text{ m/s}$

$$v = 41,20 \text{ [m/s]}$$

Fig. (IV.2) : Calcul des tuyauteries de vapeur



c) Calcul du diamètre avec la deuxième méthode :

La perte de charge est donnée par la formule suivante :

$$\Delta p = J \times L \times \rho \times g \times 10^{-5} \quad (\text{IV.24}) \quad [1]$$

avec :

Δp [bar] : perte de charge;

L [m] : longueur droite fictive de la tuyauterie;

ρ [kg/m³] : masse volumique du fluide dans les conditions de température et de pression de l'écoulement;

J : coefficient donné par l'abaque de la Fig.(IV.3) .

- Caractéristiques de la vapeur dans la tuyauterie :

- . Pression Moyenne : = $\frac{16 + 18}{2}$ = 17 bars (relative)
= 18 bars (absolue);
- . Masse volumique : = 7,825 [kg/m³];
- . Viscosité cinématique : = 2,754 10⁻⁶ [m²/s] .

Essayons en premier lieu le diamètre 100 mm qui donne une vitesse :

$$v = \frac{4 \times M}{\rho \times \pi \times D^2} \quad (\text{IV.25})$$

$$v = \frac{4 \times 2,42}{7,825 \times 3,14 \times (0,1)^2}$$

$v = 39,4 \text{ [m/s]}$

D'où le nombre de REYNOLDS :

$$Re = \frac{39,4 \times 0,1}{2,754 \cdot 10^{-6}} = 1\,430\,646$$

Sur l'abaque Fig.(IV.3), repérons $Re = 1\,430\,646$ sur l'échelle de droite et traçons l'horizontale correspondante .

Sur l'échelle supérieure correspondant aux tubes " fer et acier neufs ", repérons le diamètre 100 mm et suivons la courbe correspondante jusqu'à l'intersection avec l'horizontale précédente (point A) .

A partir de ce point, descendons une verticale jusqu'à son intersection avec l'horizontale correspondant à la vitesse 39,4 m/s lue sur l'échelle de droite (point B) .

A partir du point B, suivons l'oblique de référence jusqu'à son intersection avec la verticale correspondant au diamètre 100 mm lu sur l'échelle inférieure (point C) .

A partir du point C, traçons une horizontale qui coupe l'échelle inférieure de gauche à la graduation cherchée, soit :

$$J = 14,0 .$$

On en déduit la perte de charge d'après (IV.25) :

$$\Delta p = 14,0 \times 196,3 \times 7,825 \times 9,81 \times 10^{-5}$$

$$\Delta p = 2,1 \text{ [bar]}$$

Cette valeur est légèrement supérieure au maximum admissible mais elle est néanmoins acceptable vue qu'elle résulte de

plusieurs approximations .

Donc, le diamètre qui sera retenu pour nos conduite est :

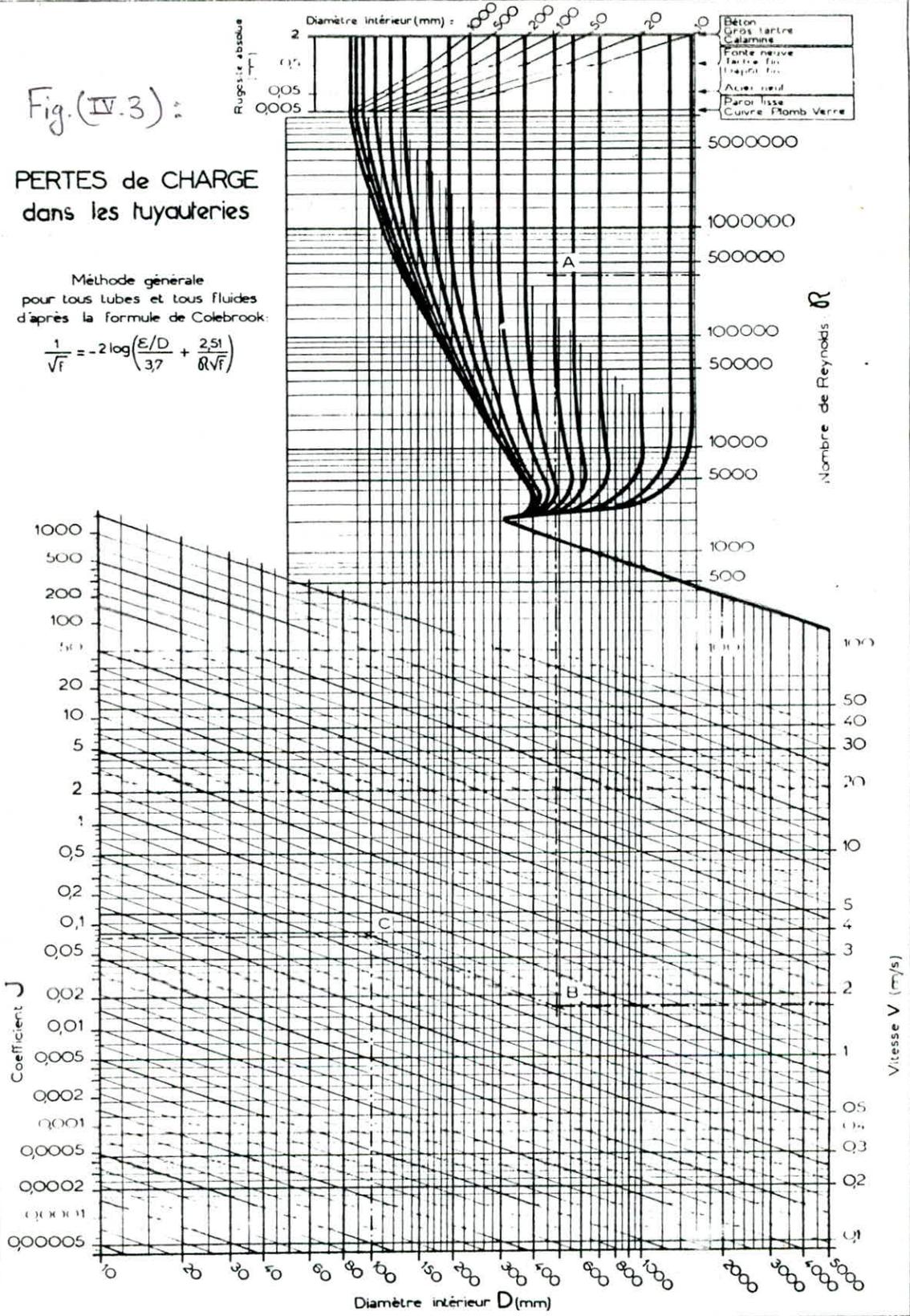
$$D = 100 \text{ [mm]}$$

Fig. (IV.3) :

PERTES de CHARGE dans les tuyauteries

Méthode générale pour tous tubes et tous fluides d'après la formule de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{E/D}{3,7} + \frac{2,51}{R\sqrt{f}} \right)$$



IV-6-3)- Calcul de l'épaisseur théorique des tubes :

L'épaisseur théorique d'un tube pour une pression de marche donnée peut être calculée suivant la formule de LAMÉ [1]. Toutefois, dans un but de simplification, on utilisera la formule de D. BOULIAU suivante :

$$e = \frac{P_i \times D_i}{2 \times (Re/s) - 1,14 \times P_i} + C + C_1 \quad (\text{IV.26}) \quad [1]$$

avec :

e [mm] : épaisseur théorique des tubes;

$P_i = 16$ [bar] : pression à l'intérieur du tube;

$D_i = 100$ [mm] : diamètre intérieur du tube;

$Re = 78,5 \times 10^6$ [N/m²] : résistance pratique;

$s = 1,5$: coefficient de sécurité;

$C = 1$ [mm] : surépaisseur de corrosion;

$C_1 = 0,1$ [mm] : tolérance en moins sur le produit .

$$e = \frac{16 \times 10^5 \times 100}{2 \times (78,5 \times 10^6 / 1,5) - 1,14 \times 16 \times 10^5} + 1 + 0,1$$

$e = 2,65$ [mm]

IV-6-4)- Choix des matériaux :

Après avoir fait le dimensionnement du réseau de vapeur, on va faire le choix de la nature des tubes et de la robinetterie à

utiliser .

Les canalisations seront constituées de tubes en acier noir étiré sans soudure laminé à chaud [1] .

Pour les pressions de service de 16 bars, les tubes de tarif n° 10 sont imposés d'après la norme en vigueur PN A 48-005 [1] .

Ces tubes seront assemblés par brides ou par soudage autogène. Toute la robinetterie, notamment les robinets à soupape, les vannes ...etc devront être en acier car l'emploi de la fonte est limité à 10 bars (184 °C) pour la vapeur et présente des risques de fragilité à chaud et en cas de chocs; son emploi est donc déconseillé .

IV-6-5)- Calorifugeage de la tuyauterie :

Le but du calorifugeage pour les tuyauteries de vapeur est de réduire les pertes de chaleur par les parois des tubes afin de limiter la condensation de la vapeur .

A cet effet, on va essayer de calculer l'épaisseur du calorifugeage nécessaire à notre tuyauterie .

- La chaleur perdue par la tuyauterie nue par rayonnement (la convection est négligeable ici) est donnée par les formules suivantes :

$$Q = E \times S \quad (IV.27)$$

$$E = \epsilon \times E_b \quad (IV.28)$$

$$E_b = \sigma \times T^4 \quad (IV.29)$$

avec :

Q [W/m] : chaleur perdue par la tuyauterie nue;

E_b [W/m²] : pouvoir émissif total [8] ;

E [W/m^2] : chaleur émise par unité de surface;

$\epsilon = 0,80$: facteur d'émission des tubes .

$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8}$ [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] : constante de **STEPHAN-BOLTZMANN**;

$T = 476$ [K] : température des tubes;

$S = 3\,392,9$ [cm^2/m] : surface extérieure par mètre de tube [1].

D'où :

$$E_b = 5,669 \cdot 10^{-8} \times (476)^4 = 2\,910,3 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$E = 0,80 \times 2\,910,3 = 2\,328,2 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$Q = 2\,328,2 \times 3\,392,9 \cdot 10^{-4} = 790 \text{ [W/m]}$$

$Q = 790 \text{ [W/m]}$

- La chaleur perdue par la paroi isolée est donnée par la formule simplifiée suivante :

$$Q' = 2 \times K \times \frac{\pi \times (T_1 - T_2)}{\ln(D_e/D_i)} \quad (\text{IV.30})$$

avec :

Q' [W/m] : chaleur perdue par la paroi isolée;

$T_1 = 203$ [$^{\circ}\text{C}$] : température de la vapeur à l'intérieur de la conduite;

$T_2 = 18,5$ [$^{\circ}\text{C}$] : température de l'air ambiant;

$K = 0,053$ [$\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$] : coefficient de conductibilité

thermique de l'isolant à 203 °C;

$D_i = 114,3$ [mm] : diamètre de la conduite nue;

$D_e = D_i + 2 \times e$ [mm] : diamètre de la conduite isolée;

e [mm] : épaisseur d'isolation .

Pour déterminer l'épaisseur d'isolation, on admettra une efficacité de l'isolation $\eta = 87 \%$.

$$\text{avec : } \eta = \frac{Q - Q'}{Q} = 1 - \frac{Q'}{Q} \quad (\text{IV.31})$$

$$\text{d'où : } Q' = (1 - \eta) \times Q = 0,13 \times 790 = 102,7 \text{ [W/m]}$$

D'après (IV.30) :

$$\ln(D_e/D_i) = 2 \times K \times \frac{\pi \times (T_1 - T_2)}{Q'}$$

$$\ln(D_e/D_i) = 2 \times 0,053 \times \frac{3,14 \times (203 - 18,5)}{102,7} = 0,598$$

d'où :

$$(D_e/D_i) = \text{Exp}(0,598) = 1,819$$

$$\text{ou bien : } \frac{(D_i + 2 \times e)}{D_i} = 1,819$$

$$\Rightarrow e = 0,4095 \times D_i = 0,4095 \times 114,3 = 46,80 \text{ [mm]}$$

On choisira une épaisseur normalisée :

$$e = 50 \text{ [mm]}$$

D'après les normes françaises, on utilisera un isolant en fibres de verre imprégnées (genre Saint-GOBIN) sous forme de coquilles [3] .

CONCLUSION

Dans cette étude du réseau de distribution de la vapeur pour alimenter des autoclaves servant au séchage de la B.S.C., nous avons pu redéfinir et dimensionner les éléments et les accessoires intervenant dans ce réseau .

Les calculs que nous avons faits et les résultats que nous avons obtenus confirment les choix pour lesquels la société allemande " C.P.A.G. " chargée de l'étude et de la réalisation de l'installation a opté .

Nous avons néanmoins constaté qu'il existait beaucoup de pertes qui, d'après nous, pourraient être en partie évitée et ce de la façon suivante :

1°)- Au lieu de travailler en deux postes de travail par jour, on pourrait le faire en continu soit trois postes par jour. Chose qui permettrait de diminuer le nombre d'autoclaves utilisés et qui nous permettrait aussi de récupérer la quasi-totalité de la vapeur par transvasement. Mais, il faudrait alors redéfinir toutes les capacités de production et refaire toute l'étude depuis les réacteurs jusqu'aux autoclaves .

2°)- On pourrait aussi essayer de récupérer l'eau qui se condense au cours du cycle d'autoclavage. Mais pour celà, il faudrait analyser le condensat pour voir le genre d'impuretés qu'il pourrait contenir afin de définir les traitements qu'on lui ferait ressubir. Il faudrait aussi tenir compte du coût de l'installation de récupération et comparer le prix de revient de se condensat à celui de l'eau brute à laquelle on a fait subir tous les traitements .

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : SERSEG -
" Catalogue-Formulaire SERSEG " .
Serseg . Paris, 1973 .
- [2] : (E.N.C.C.) -
" Cahier des Charges : Briqueterie Silico-Calcaire de
RELIZANE " , (1982) .
- [3] : (E.N.C.C.) -
" Documentation Technique : Briqueterie Silico-
Calcaire de RELIZANE " , (1982) .
- [4] : Léon Hérenstein -
" Manuel pour le stockage du propane " .
- [5] : Louis Germain -
" Le Traitement des eaux destinées à l'alimentation
des chaudières à vapeur " .
5^{ème} édition . Paris : Dunod, 1976 .
- [6] : Théodore Oniga -
" Calcul des Tuyaux " .
Paris : Matémine, 1949 .
- [7] : I. E. Idel'cik -
" Mémento des pertes de charge " .
Paris : Eyrolles, 1969 .
- [8] : F. Kreith -
" Transmission de la chaleur et Thermodynamique " .
2^{ème} édition . Masson et Cie, 1967 .
- [9] : W. H. Mc Adams -
" Transmission de la chaleur " .
2^{ème} édition . Paris : Dunod, 1964 .
- [10] : M. Carlier -

" Hydraulique Générale et Appliquée " .

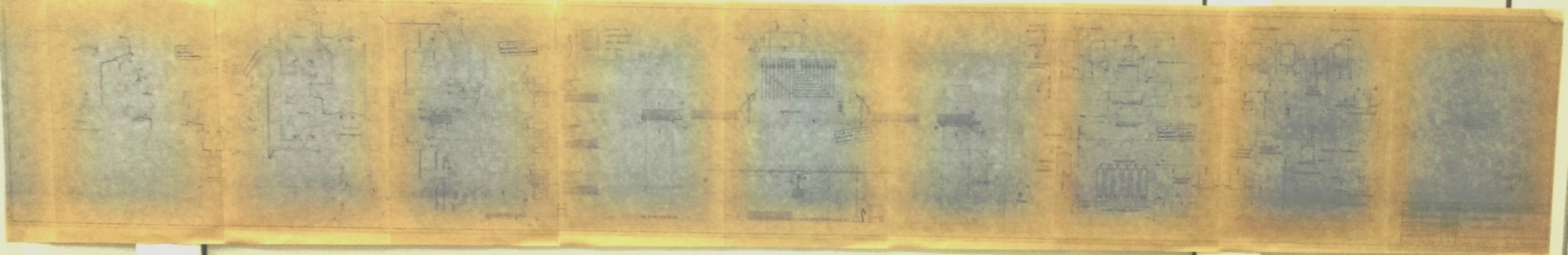
Paris : Eyrolles, 1980 .

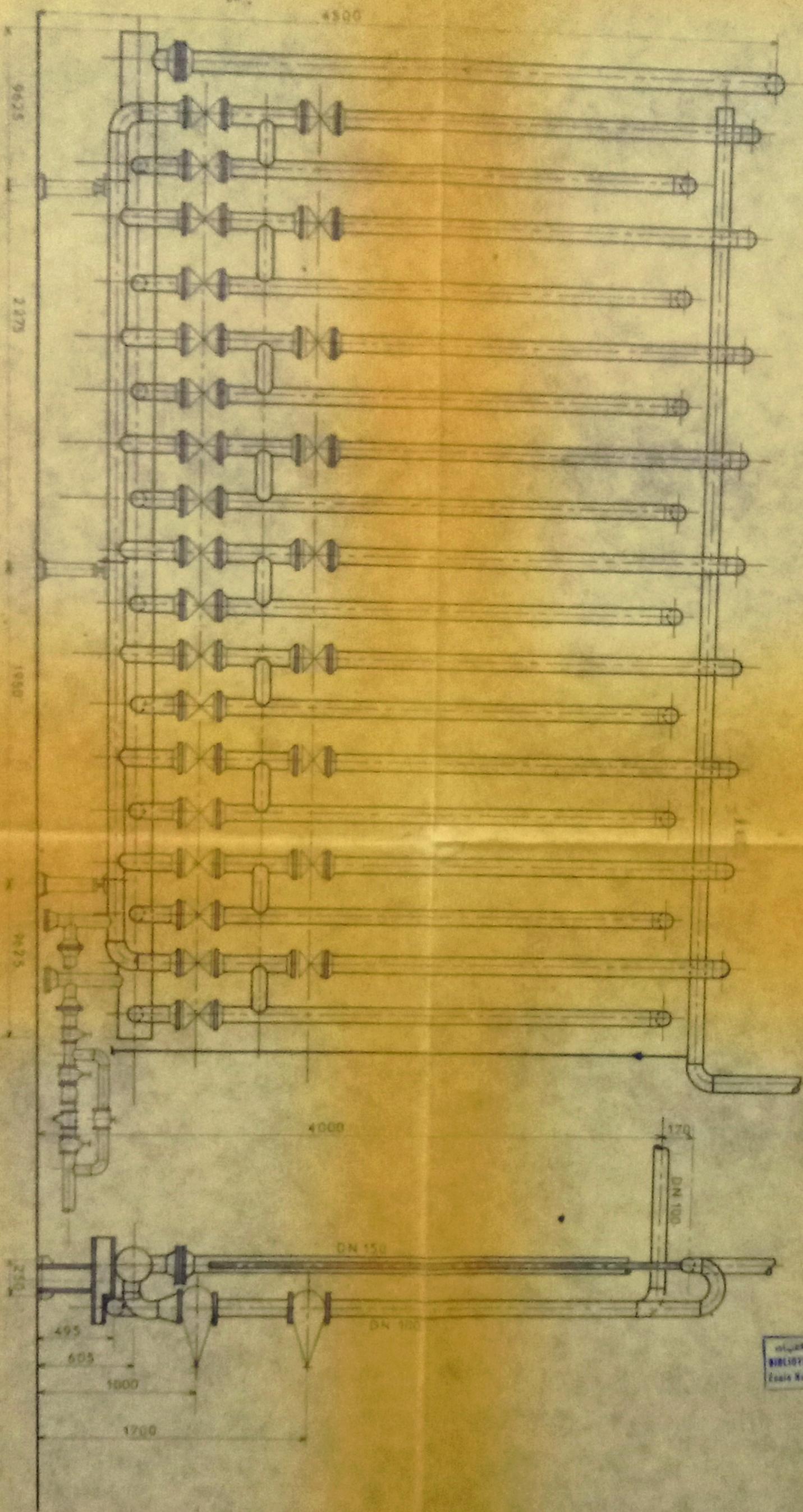
[11] : R. Bencharif -

" Étude d'une chaufferie et des organes annexes pour
une unité alimentaire (E.M.A.) " .

Projet de fin d'étude en Génie Mécanique à l'E.N.P.,

Janvier 1984 .



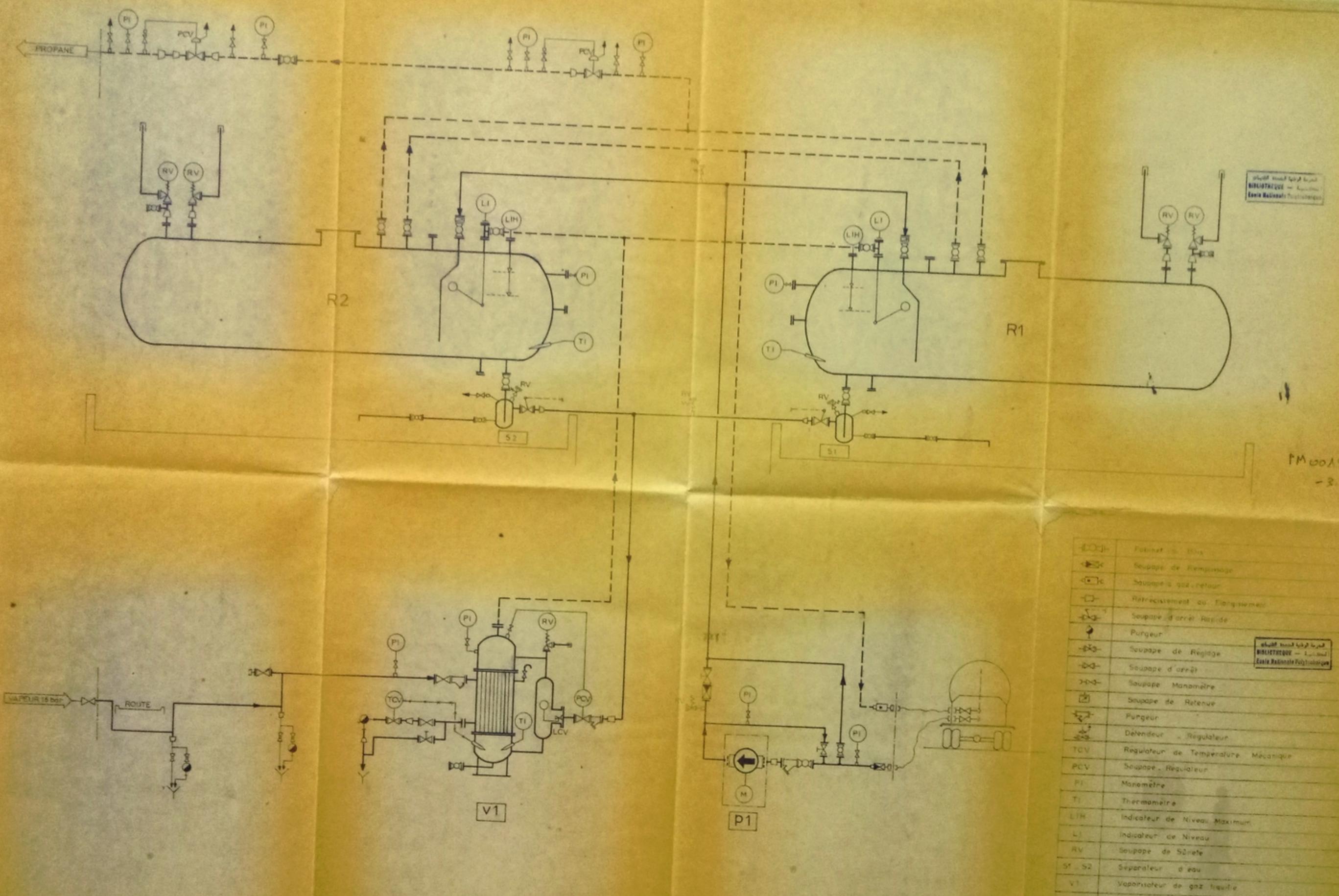


المركز الوطني للتوثيق
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المركز الوطني للتوثيق
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PM 00131
- 2 -

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (E.N.P.)			
Échelle	1/20 ^e		DISTRIBUTION DE LA VAPEUR
Étudiant	B. ABRE S		
Pratiquant	TOUNSI		
Superviseur	HANECHE		
Date	27.04.91	Département de	Genie MECANIQUE



مدرسة الهندسة الوطنية
 BIBLIOTHÈQUE - المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

PM 0013A
 -3-

مدرسة الهندسة الوطنية
 BIBLIOTHÈQUE - المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

	Valve de Remplissage
	Valve à gaz retour
	Rétrécissement du Flangement
	Valve d'arrêt Rapide
	Purgeur
	Valve de Réglage
	Valve d'arrêt
	Valve Manomètre
	Valve de Retenue
	Purgeur
	Délimiteur - Régulateur
	Régulateur de Température Mécanique
	Valve de Température Mécanique
	Manomètre
	Thermomètre
	Indicateur de Niveau Maximum
	Indicateur de Niveau
	Valve de Sécurité
	Séparateur d'eau
	Vaporisateur de gaz liquide
	Pompe de gaz liquide

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE (ENP)

Echelle: _____ Matière: _____

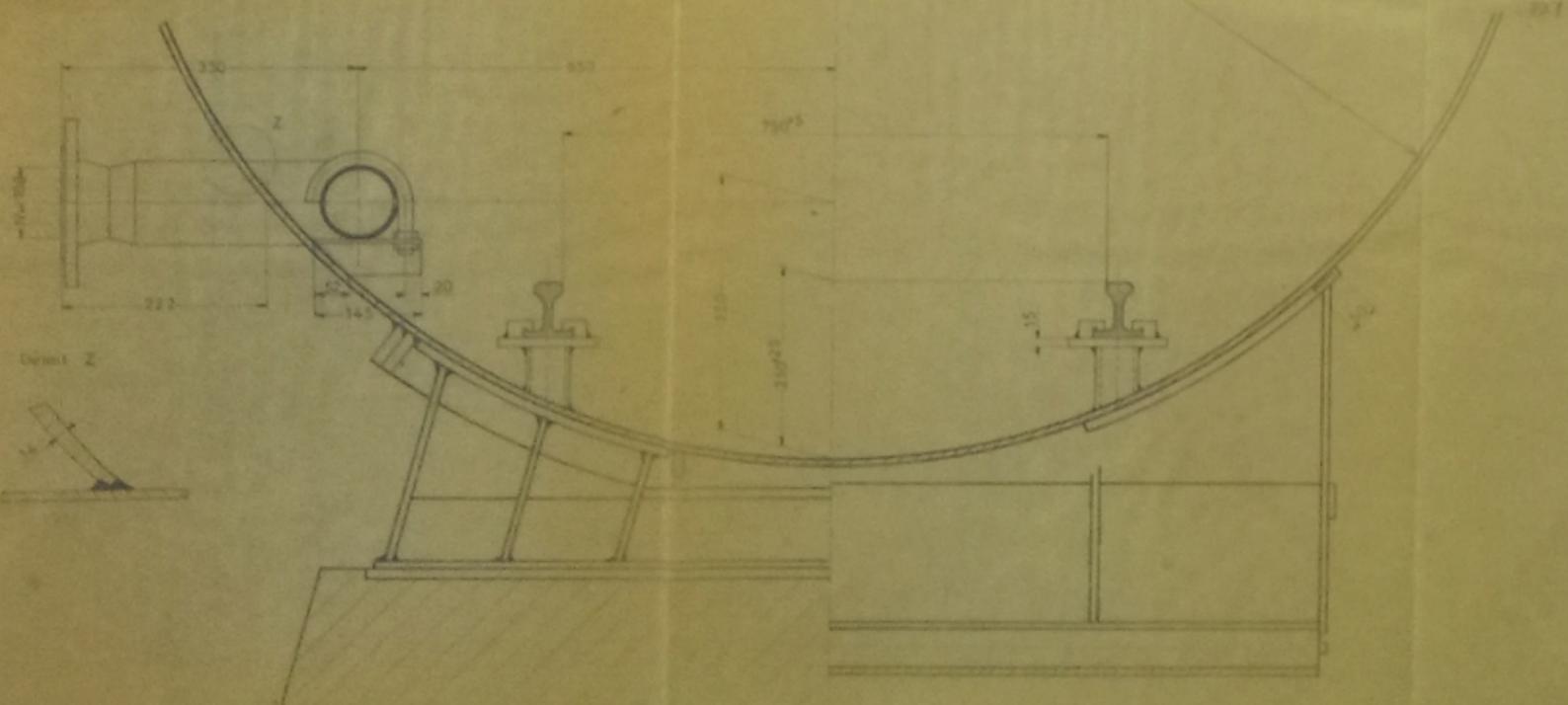
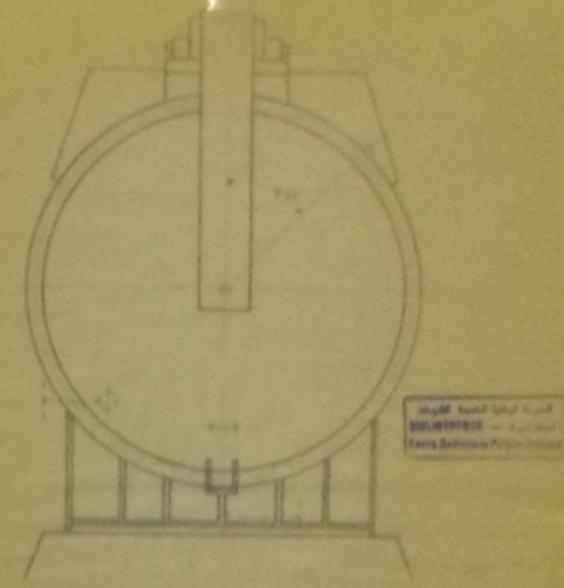
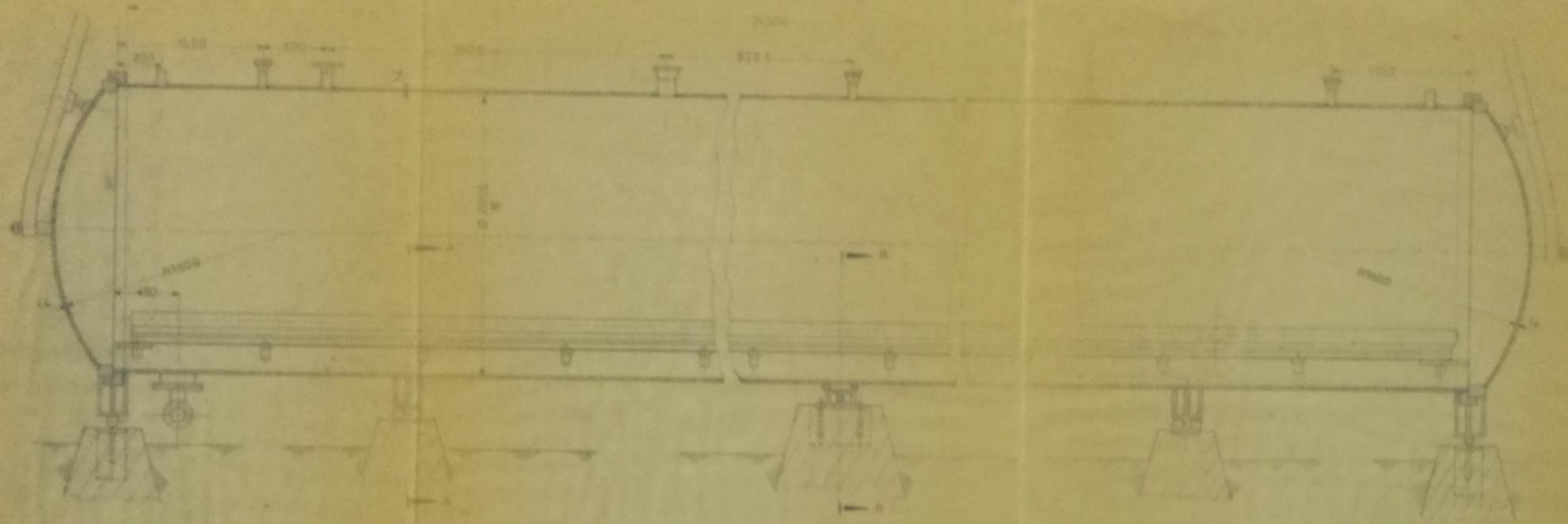
Elaboré par: B. ABRIK

Approuvé par: TOUVAJ

Le Dessiné: HAMEC

Date: 19/01/81

SCHEMA STATION G.P.L.



مركز البحوث والدراسات الهندسية
 EL-ASTASAT - جامعة القاهرة
 قسم الهندسة الكيميائية

PMca18A
 -5-

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE LE N°1		
DATE	PROF	NOTES
TITRE DE L'ŒUVRE		AUTOCLAVE
NOM ET PRÉNOM DE L'ÉLÈVE		

