

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

Thème :

**Etude du circuit d'aménage d'eau de mer
pour le refroidissement de la centrale thermique
de Ras Djinet**

Proposé Par :

Mr M.SAADI

étudié par :

Mr BOUKERROU Mohamed

Dirigé par :

Mr M.SAADI
Mr Y. MOULOUDI

Promotion
- Septembre 2002 -



E.N.P 10, Avenue Hassen Badi – El Harrach – Alger

Remerciements :

Je remercie dieu de m'avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer en premier lieu ma profonde gratitude envers : mes parents et mon grand frère Ahmed qui ont contribué à ma formation, et aux résultats auxquels je suis parvenu

Je tiens à remercier mes promoteurs Mr. K. SAADI et Mr. Y. MOULOUDI pour leurs encouragements, leurs suivi, et pour les conseils qu'ils ont apporté pour l'achèvement de ce projet.

Je tiens également à remercier monsieur BERMAO pour l'honneur qui m'a fait en acceptant de présider le jury, ainsi qu'à Mr. BILEK, MR. SEMAR et MR. O. BELHADJ d'avoir acceptés d'évaluer mon travail.

Je tiens aussi à saluer M^{lle} BENMAMAR (le chef de département) et l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation, sans oublier tout le personnel de la bibliothèque, en particulier Ami Salah, KAEL, TOUFIK; DJAMEL et ABED EL KRIM.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon meilleur ami Mr. A. ALLOUACHE pour leurs aides, ses encouragements et ses conseils.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr. A. TARRAFI, MR. A. MAHMAAI pour leurs encouragements et ses conseils.

Je remercie vivement MR. AIDER, les travailleurs de la centrale thermique (SONELGAZ) de ras djinet surtout ceux qui gèrent la station de dessalement pour leurs aides précieuses et tous leurs conseils et les discussions fructueuses que nous avons eues.

Mes remerciements vont également à mes collègues et amis de la promotion.

Dédicaces :

Je dédie ce travail à :

Mes parents,

Mes frères,

Mes sœurs,

Et tout ceux qui me sont chers.

نظرا لأهمية شبكات التبريد في محطات توليد الطاقة الكهربائية, تعتبر دراسة هذه الشبكات أمرا ضروريا .

الغرض من هذا العمل هو دراسة شبكة التزويد بمياه البحر من اجل التبريد في محطة توليد الطاقة الكهربائية برأس جنات بولاية بومرداس .

Résumé

Vue l'importance des circuits de refroidissement dans les centrales productrices d'électricité, une étude de ces circuits est avéré nécessaire.

Le but de ce travail est d'étudier le circuit d'amenée d'eau de mer pour refroidissement de la centrale thermique de RAS DJINET de la wilaya de Boumerdes.

Abstract

Seen the importance of cooling circuits in the central producers of electricity, a survey of these circuits proved to be necessary.

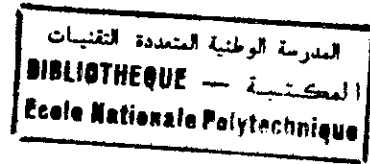
The goal of this work is to study the circuit of brought of sea water for cooling of the thermal power station of RAS DJINET in the wilaya of Boumerdes.

Mots clefs :

Centrale thermique - Circuit de refroidissement - Eau de mer - Station de pompage -
Condenseur - Equation de BERNOULLI - Pertes de charges.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Nomenclature



Symbole	Désignation de la grandeur physique	Unités MKSA
ρ	Masse volumique	Kg/m ³
g	Accélération de la pesanteur	M/S ²
P	Pression statique absolue	Pascal
H_a	Charge du fluide au point A	m
DN	Diamètre nominal d'une conduite	mm
IR _e	Nombre de Reynolds	-
θ	Angle du coude	o
R_0	Rayon de courbure d'un coude	m
ν	Viscosité cinématique	m ² /s
V_m	Vitesse moyenne dans une conduite	m/s
E	Energie par unité de masse fournie ou absorbée par une machine	J/Kg
α	Coefficient tenant compte de la répartition de la vitesse dans une section droite	-
P_h	Puissance du fluide ou puissance hydraulique	WK
P_a	Puissance absorbée	KW
η_i	Rendement de la machine i	-
λ	Coefficient de perte de charge régulière	-
ϵ ou k	Hauteur moyenne des aspérités d'une surface solide ou rugosité absolue	m
K_j	Coefficient de la perte de charge de la singularité	-
Δh_{ij}	Somme des pertes de charge entre le point i et j	m
J	Perte de charge linéaire	m/m
NPSH _d	Pression statique absolue dans la conduite d'aspiration	m
NPSH _r	Courbe de la hauteur d'aspiration possible pour qu'il n'y ait pas cavitation	m

Sommaire

Introduction	1
---------------------	----------

Généralités /

I. Introduction	2
II. Centrale thermique à vapeur	2
II.1 Principe de fonctionnement	2
II.2 Les composants les plus importants du cycle de vapeur	5
II.2.1 chaudière	5
II.2.2 Vapeur d'eau	5
II.2.3 Turbine à vapeur	5
II.2.4 Condenseurs	5
II.2.5 Poste d'eau	6
III. Caractéristiques techniques de la centrale de Ras Djinet	6
III.1 Combustibles	6
III.2 Générateur de vapeur	6
III.3 Caractéristiques principales	6

Chapitre I /

Introduction	9
I. Les différents circuits de refroidissement forcés dans les centrales thermiques	9
I.1 Refroidissement en circuit ouvert	9
I.2 Refroidissement en circuit fermé	10
a. Refroidissement à parois	10
b. Refroidissement sans parois	10
II. Critères de choix de l'eau de mer	10
II.1 Nature électrolytique de l'eau de mer	14
II.2 Richesse biologique de l'eau de mer	14
II.3 Diversité dans la nature	15
II.3.1 Teneur en sable	15
II.3.2 Variation de niveau cyclique dans le cas des marées	15
III. Traitement de l'eau de mer	15
IV. Choix des matériaux	16
V. Conclusion sur le circuit ouvert refroidis en eau de mer	16

Chapitre II /

I. Introduction	19
II. Station de filtration et de pompage	19
III. Filtration de l'eau de circulation (VA)	27
III.1 Grille avec dégrillieur (VA10B001)	27
III.2 Tambour filtrant (VA10B002)	30
III.3 Contrôle automatique de l'installation de filtration	33
III.4 Protection cathodique des installations de filtration	35
III.5 Installation de chloration électrolytique (VK)	35
III.5.1 Description de procédé de chloration	37
III.5.2 Description de l'installation de chloration	38

III.5.3 système de nettoyage des électrolyseurs	43
IV. Pompes de circulation principale	43
IV.1 Les auxiliaires de la pompe	49
IV.2 Fonction de la pompe	49
V. Circuit de circulation de l'eau de mer (VC)	49
VI. Circuit de réfrigération intermédiaire (VG)	54

Chapitre III /

I. Introduction	56
II. Besoin en eau de refroidissement	56
III. Description de circuit de refroidissement	57
IV. Calcul de débit Q_g de chaque conduite d'amenée	65
IV.1 Possibilité du débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ d'une conduite d'amenée	66
V. Calcul de pertes de charge	68
V.1 Les pertes de charge dans le condenseur	72
V.2 Calcul de puissance	73
V.3 Calcul des coefficients de perte de charge	75
a) Dimensions des conduites	78
b) Calcul des Q_i	78
VI. Calcul de la hauteur manométrique	79
VII. Choix du type de pompe	80
VIII. Vérification de choix des pompes principales	83
IX. Vérification de choix de l'installation des pompes principales	84
X. Analyse des résultats et impact sur les moyens de production	88
1. Fonctionnement avec trois conduites d'amenées	88
2. Fonctionnement avec deux conduites d'amenées	88
3. Fonctionnement avec une seule conduite d'amenées	88

Conclusion /

Bibliographie /

Annexes /

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction



Introduction :

Tout travail, qu'il soit mécanique, chimique ou autre, est la source d'une production de chaleur parasite la plupart de temps gênante, et par fois même nuisible. Le refroidissement des installations et des matériels doit donc être assuré en permanence si l'on veut conserver leur qualité et leur rendement.

Le mode d'utilisation du refroidissement dans le temps dépend beaucoup de l'industrie utilisatrice. Les cas les plus fréquents semblent être le fonctionnement permanent (production d'électricité, par exemple) et le fonctionnement cinq ou six jours sur sept.

La production d'électricité dans les centrales thermiques constitue la plus grosse consommation d'eau de refroidissement : le débit d'eau nécessaire dépend de la technique utilisée, de la différence de température prévue au condenseur, et de la puissance installée (quelques dizaines de milliers de m^3/h en circuit ouvert, quelques centaines de m^3/h en circuit fermé).

Dans un grand nombre de cas, le refroidissement se fait naturellement par échange avec le milieu environnant. Ce refroidissement naturel n'est cependant pas toujours suffisant et l'on doit alors avoir recours à un refroidissement forcé. (Refroidissement forcé par liquide ou par l'air).

Le refroidissement forcé par liquide permet de transférer des densités de flux très importantes et s'impose également à haute altitude où le transfert par air n'est plus efficace.

Vue l'importance des circuits de refroidissement les constructeurs offrent un très grand nombre de circuit de refroidissement, qui peuvent être classés comme suit :

- Circuit de refroidissement fermé.
- Circuit de refroidissement ouvert.

Dans le présent travail, nous nous proposons d'étudier le circuit de refroidissement de la centrale de RAS DJINET. Qui est alimentée par trois conduites. D'où le problème qui se pose :

Est il nécessaire d'utiliser ces trois conduites pour satisfaire le besoin en eau de refroidissement ?

Pour trancher et avoir une réponse à cette question il est nécessaire de vérifier l'installation de l'équipement ; et leurs conditions de fonctionnement.

Généralités

Les centrales thermiques

I. Introduction :

Dans les pays industrialisés, l'énergie électrique distribuée sur l'ensemble du territoire aux consommateurs industriels ou domestiques est produite à partir de trois sources d'énergie primaire :

- les chutes d'eau hautes ou basses qui produisent de l'électricité à bas prix malgré la lourdeur de l'investissement de départ, car l'énergie primaire elle est gratuite.
- les centrales brûlant des combustibles fossiles, tels que le fuel lourd, le charbon et le gaz naturel, dont l'importation grève fortement le coût du kilowattheure.
- les centrales utilisant l'énergie nucléaire du type, par exemple, réacteur à eau pressurisée et fournissant un kilowattheure à un coût intermédiaire.

Dans de nombreux pays du monde disposant dans leur sous-sol de réserves importantes de charbon, de fuel ou de gaz, la production d'électricité reste toujours assurée, en premier lieu, par les centrales hydroélectriques lorsque la houille blanche est présente et, en second lieu, par les centrales brûlant des combustibles fossiles.

II. Centrale thermique à vapeur :

Les centrales thermiques à vapeur sont des centrales énergétiques produisant de l'électricité et de la chaleur à partir d'un combustible, à travers un circuit de vapeur.

II.1. Principe de fonctionnement :

Dans une centrale élémentaire (figure.1), la vapeur surchauffée à haute pression sort de la chaudière (générateur de vapeur), et pénètre dans la turbine constitué de tuyères ou de jets, et d'ailette. La vapeur s'écoule dans les tuyères, dans lesquels elle se dilate (se détend). Ainsi sa température et donc son énergie interne diminue et son énergie cinétique augmente sous forme d'une accélération des particules de vapeur provoquant l'accroissement de leur vitesse. La vapeur en mouvement exerce une pression donc exécute un travail contre les ailettes, entraînant leur rotation. Ce travail permet à la turbine d'entraîner l'alternateur.

La vapeur à basse pression qui sort de la turbine pénètre dans le condenseur, où de la chaleur est transférée de la vapeur à l'eau de refroidissement. Etant donné que de grandes quantités d'eau de refroidissement sont nécessaires, les centrales thermiques sont habituellement situées près de rivières ou des lacs. Lorsque l'approvisionnement en eau de refroidissement est limité, on peut utiliser une tour de refroidissement, dans laquelle une partie de l'eau de refroidissement s'évapore de façon à abaisser la température de l'eau qui demeure à l'état liquide.

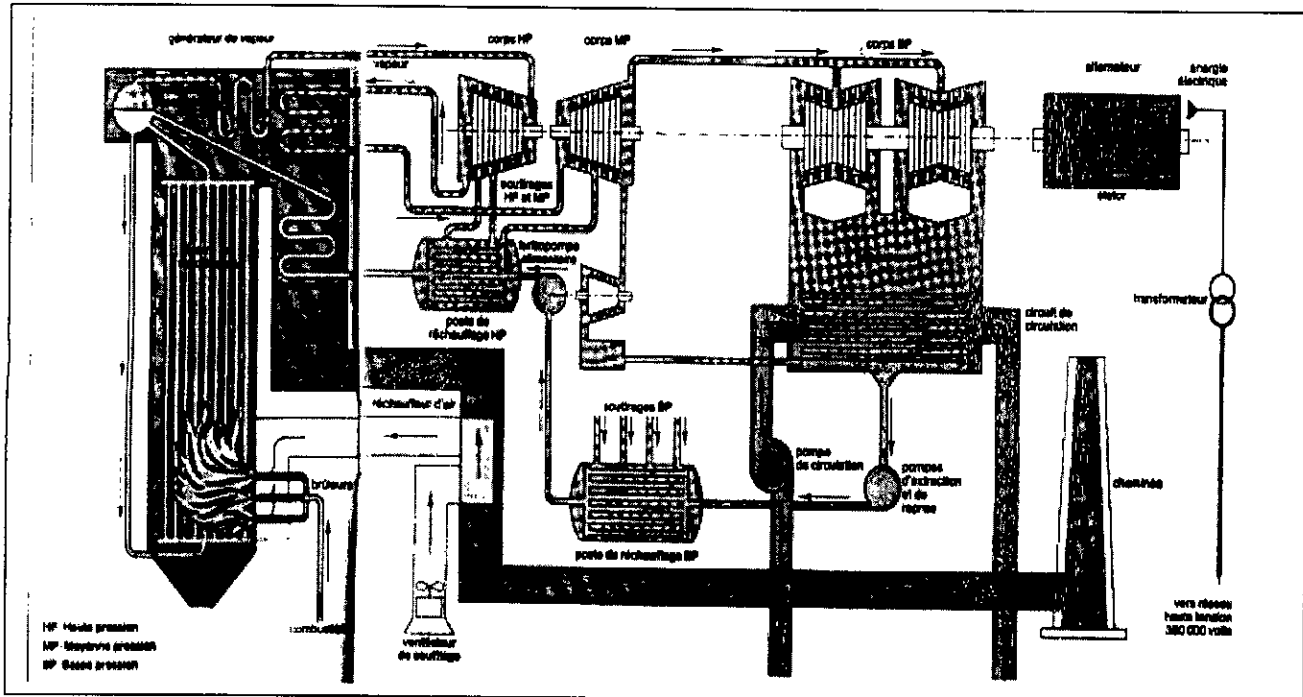


Fig1 : Schéma fonctionnel d'une centrale thermique à vapeur

La pression du condensât qui sort du condenseur est augmentée par la pompe alimentaire permettant ainsi au condensât (à l'état liquide) de pénétrer dans la chaudière. Plusieurs générateurs de vapeur utilisent un économiseur. L'économiseur est simplement un échangeur de chaleur dans lequel la chaleur est transférée des produits de combustion au condensât, ce qui a pour effet d'élever la température du condensât sans qu'il y ait évaporation. Dans d'autres parties du générateur de vapeur, la chaleur est transférée des produits de combustion à l'eau, causant son évaporation. La température à laquelle se produit l'évaporation est dite *température de saturation*. La vapeur passe ensuite dans un autre échangeur de chaleur appelé *surchauffeur (vaporisateur)* où la température de la vapeur est augmentée bien au-dessus de celle de saturation (donc une énergie c'est-à-dire une enthalpie supplémentaire à la vapeur).

Dans plusieurs centrales thermiques, l'air utilisé par la combustion est préchauffé dans le réchauffeur d'air par le transfert de chaleur des gaz de cheminée à leur sortie du fourneau. Cet air est alors mélangé avec le combustible fossile et la combustion a lieu dans le fourneau. Lorsque les produits de combustion traversent le fourneau, la chaleur est transférée à l'eau dans la surchauffeur, la chambre de combustion et l'économiseur, ainsi qu'à l'air dans le réchauffeur. Les produits de combustion sont rejetés dans l'atmosphère, cela constitue l'un des aspects du problème de la pollution de l'air auquel nous faisons face actuellement.

Une des caractéristiques principales d'une centrale, sur les plans technique et économique est sa *consommation spécifique*, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'il faut pour produire une énergie électrique d'un kilowattheure.

Le rendement d'une centrale est exprimé par le rapport de l'énergie mécanique W recueilli au niveau de la turbine sur l'énergie calorifique (q) cédée par la vapeur d'eau.

II.2. Les composants les plus importants du cycle de vapeurs :

II.2.1. Chaudière :

Dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur, si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique. Toutes les chaudières se composent de deux parties distinctes : l'une dans laquelle brûle le combustible et l'autre dans laquelle l'eau est chauffée (figure 2).

L'augmentation de la puissance des alternateurs exige la fabrication de chaudières très puissantes capables de vaporiser l'eau, de sécher la vapeur et de surchauffer à grand débit. Le type de chaudières adopté dans les installations actuelles comporte :

- un réservoir ou ballon qui reçoit l'eau chaude en provenance du poste d'eau, recueille la vapeur formée dans les faisceaux vaporisateurs et la dirige vers les faisceaux sécheurs et surchauffeurs.
- Des faisceaux vaporisateurs : des tubes en contact direct avec la flamme des brûleurs. La vapeur qui y est produite est renvoyée à la partie supérieure du réservoir.
- Des faisceaux surchauffeurs et resurchauffeurs qui portent la vapeur à haute température et à haute pression avant son envoi dans la turbine.

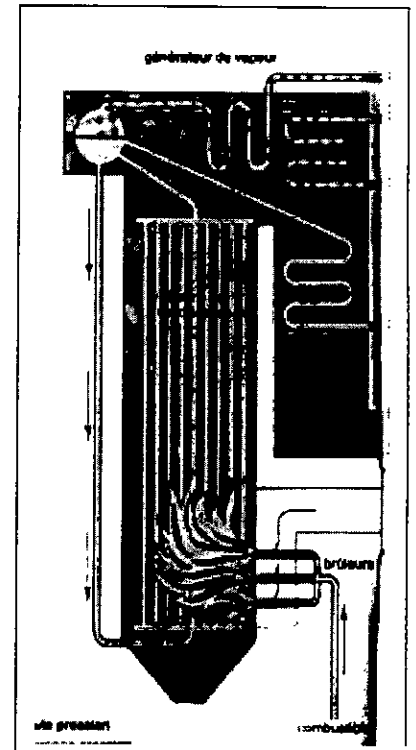


Fig 2 : Générateur de vapeur

II.2.2. Vapeur d'eau :

La vaporisation est le passage de l'état liquide à l'état vapeur. L'ébullition est une vaporisation rapide au sein du liquide avec dégagement de bulles de vapeur saturée.

II.2.3. Turbine à vapeur :

Les turbines à vapeur sont des machines relativement simples, dont la seule partie mobile importante est le rotor. La vitesse de rotation est commandée par des soupapes situées aux entrées d'admission de la machine et pilotées par des systèmes de régulation électriques ou mécaniques.

En général, la turbine comporte trois corps, à savoir le corps haute pression (HP), le corps moyenne pression (MP) et le corps basse pression (BP). La vapeur surchauffée se détend dans le corps HP. Elle revient dans la chaudière pour être surchauffée et renvoyée pour se détendre dans les corps MP et BP. Pendant ces détentes successives, l'énergie calorifique est transformée en énergie mécanique. A la sortie des corps BP, la vapeur passe dans le condenseur qui est refroidi, et l'eau retourne à l'état liquide. Le cycle se produit indéfiniment puisque la vapeur et l'eau circulent dans un circuit fermé.

II.2.4. Condenseurs :

La température de l'eau dans le puits du condenseur fixe la pression régnante dans le condenseur ; car elles sont liées d'une manière bien définie. La vapeur en se condensant produit une dépression atmosphérique qui est d'autant plus importante que l'eau du condenseur est froide. Cette température est supérieure légèrement à celle de la sortie de l'eau de circulation. Par conséquent, la pression restante est d'autant plus basse que la température

de l'eau de circulation est elle-même plus basse. Pour que cette eau ne se réchauffe pas trop pendant son passage dans le condenseur, il faut donc un grand débit.

Le rendement thermodynamique dépend de l'écart des températures absolues des sources chaude et froide. Le rendement doit être préservé, donc il faut maintenir le vide. Or la pression interne au condenseur peut être modifiée par les entrées d'air. Cette pression dépend de la pression de l'air contenu dans le condenseur et de la pression de la vapeur saturée à la température de l'eau condensée.

II.2.5. Poste d'eau :

Le rendement est amélioré en réchauffant l'eau d'alimentation de la chaudière. C'est dans le poste d'eau que s'opère le réchauffage de cette eau, après la reprise dans le puits du condenseur au moyen de pompes d'extraction et avant son injection dans l'économiseur.

III. Caractéristiques techniques de la centrale de Ras Djinet :

Voir ci-dessous le schéma de principe simplifié du cycle de vapeur de la centrale de ras djinet.

III.1. Combustibles : le combustible principale et le gaz naturel de Hassi R'mel acheminé par gazoduc.

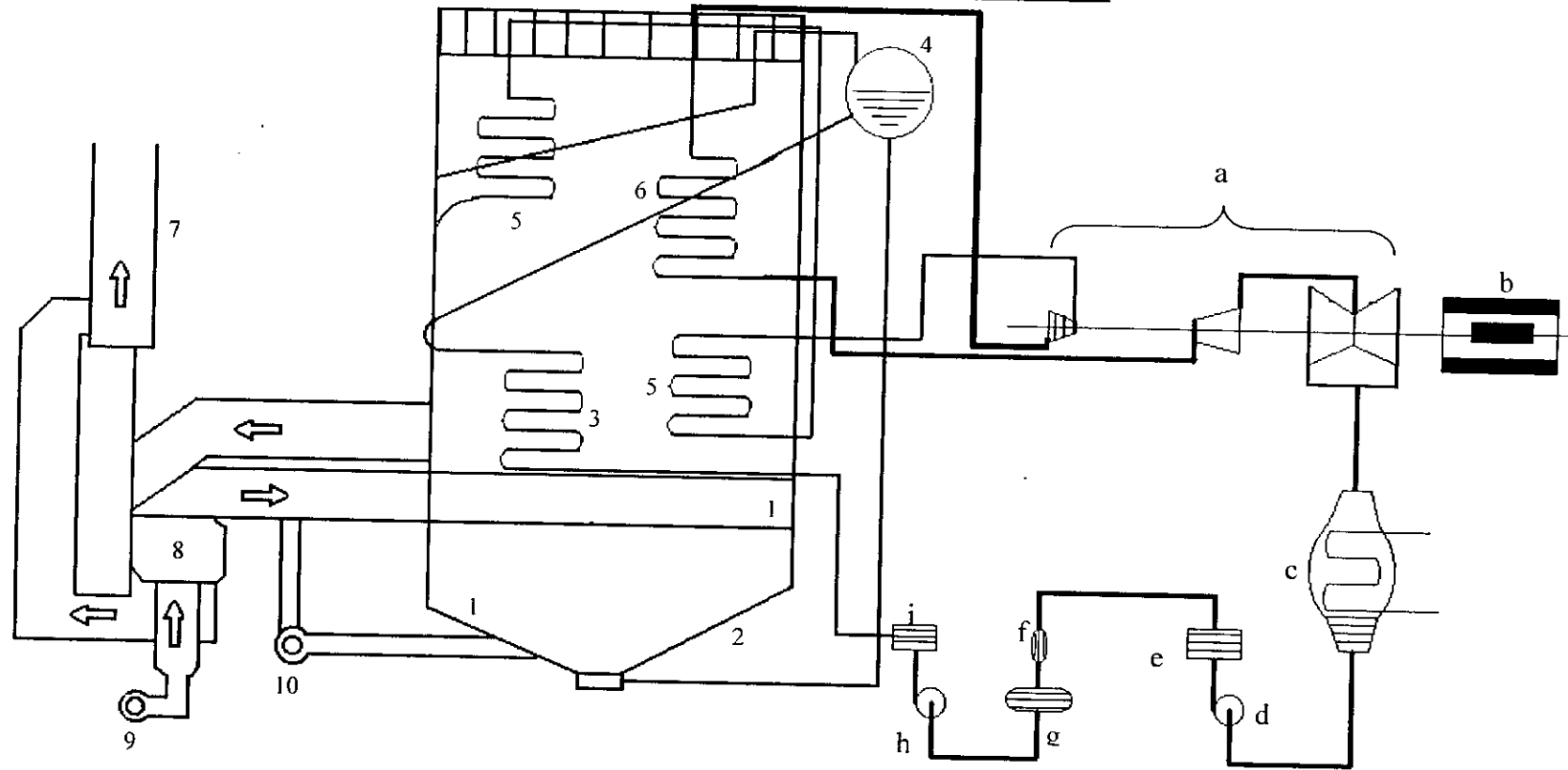
III.2. Générateur de vapeur : les générateur de vapeur (Chaudières) sont de type à circulation naturelle avec chambre de combustion pressurisée avec resurchauffe.
Ces générateurs de vapeurs comportent :

- Des tubes porteurs
- un surchauffeur primaire (convection)
- un surchauffeur secondaire (rayonnement)
- un surchauffeur tertiaire (convection)
- un resurchauffeur
- un ballon et un économiseur
- deux ventilateurs de recyclage assurant la régulation de la température de la resurchauffe
- deux ventilateurs de soufflage assurant le débit d'air nécessaire à la combustion.

III.3. Caractéristiques principales :

- capacité de vaporisation maximale : 530 t/h
- vapeur à la sortie des surchauffeur : 154 bars ; 540 °C
- vapeur à la sortie du resurchauffeur : 34 à 37 bars ; 540 °C
- température maximale de l'eau de l'alimentation : 246 °C [18].

Fig. Schéma de principe simplifié du cycle de vapeur



Légende

- 1 - combustible
- 2 - encrant vaporisant
- 3 - économiseurs
- 4 - ballons
- 5 - surchauffeurs
- 6 - resurchauffeurs
- 7 - cheminées
- 8 - réchauffeurs d'air
- 9 - ventilateurs de soufflage
- 10 - ventilateurs de recyclage

- a - turbine
- b - alternateur
- c - condenseur
- d - pompes d'extraction
- e - réchauffeur BP
- f - degazeur
- g - ache d'alimentation
- h - pompes alimentaires
- i - réchauffeur HP
- k - poste d'eau

Chapitre 1:

**Circuits de refroidissement dans les
centrales thermiques**

CHAPITRE I

Circuits de refroidissement dans les centrales thermiques

INTRODUCTION

Les centrales thermiques à vapeur sont des centrales énergétiques produisant de l'électricité et de la chaleur par combustion.

Dans ces derniers La production constitue la plus grosse consommation d'eau de refroidissement : le débit d'eau nécessaire dépend de la technique utilisée, de la différence de température prévue au condenseur, et de la puissance installée (quelques dizaines de milliers de m³/h en circuit ouvert, quelques centaines de m³/h en circuit fermé).

I. Les différents circuits de refroidissement forcé dans les centrales thermiques :

Presque toujours, la vapeur provenant des échappements des turbines est refroidie et condensée dans un condenseur à surface ; ce condenseur est lui-même refroidi par une circulation provenant :

- Dans le cas de refroidissement en circuit ouvert, de la rivière, d'un lac ou de la mer c'est le cas de la centrale de Ras Djinet.
- Dans le cas de refroidissement en circuit fermé, d'un réfrigérant atmosphérique. La classification choisie est donnée par la figure.I.1.

I.1 Refroidissement en circuit ouvert :

Dans ce cas, le fluide de refroidissement, en général de l'eau, est puisée dans un réservoir (rivière, lac, puits, mer, etc.) et est rejeté après passage dans les appareils à refroidir (fig.I.2a).

Cette solution simple est adoptée chaque fois que la source froide existe en quantité suffisante et qu'il n'y a pas de contre indication, celles-ci pouvant provenir de différents facteurs :

- température de la source froide trop élevée pour assurer un refroidissement correct.
- Source froide polluante ou corrosive (eau de mer ou embouchure des fleuves, par exemple).
- Eau froide très chargée en sels minéraux (cas d'un grand nombre de forages).
- Débit d'eau trop faible entraînant un rejet à température élevée (pollution thermique) interdit par la législation.
- Risque de rejet de matières dans l'eau de refroidissement non autorisée par la législation (cas de certaines usines chimiques).

I.2 Refroidissement en circuit fermé :

Lorsqu'il n'est pas possible d'adopter un refroidissement en circuit ouvert, il convient de se tourner vers un système de refroidissement en circuit fermé dans lequel le fluide peut être réutilisé après refroidissement dans un appareil appelé réfrigérant (fig.I.2b).

On distingue deux systèmes principaux.

a. Les refroidisseurs à parois :

Ces refroidisseurs appelées habituellement **réfrigérants secs** : dans ces appareils, il n'y a aucun contact physique entre le fluide refroidi et le fluide refroidisseur. La séparation peut être constituée par la paroi de tubes ou de plaques. Le refroidissement s'effectue uniquement par convection et les fluides peuvent être de nature quelconque.

Dans cette catégorie de refroidisseurs (fig.I.3) entrent :

- les échangeurs (entre liquide et liquide) et condenseurs classiques.
- Les aéro-réfrigérants (entre fluide et air).
- Les aéro-condenseurs (entre vapeur et air).

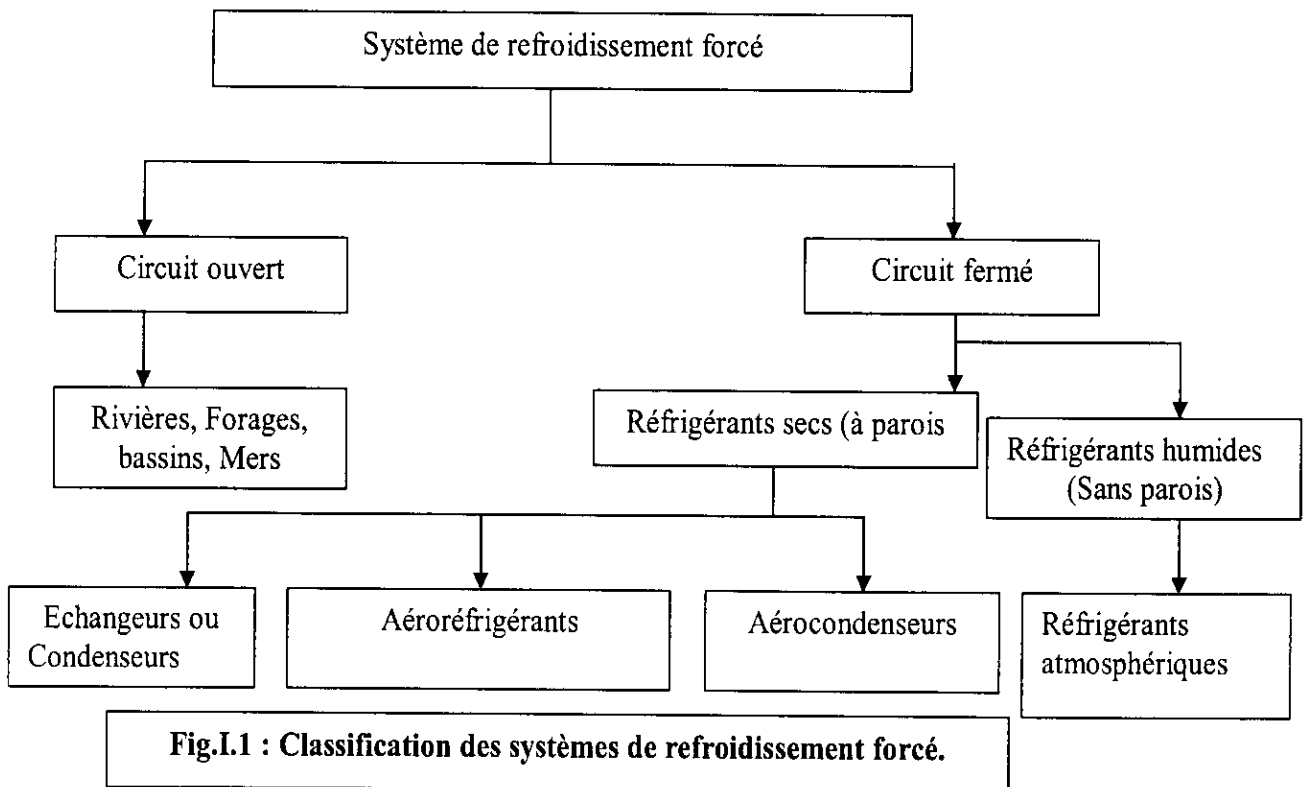
b. Les refroidisseurs sans parois :

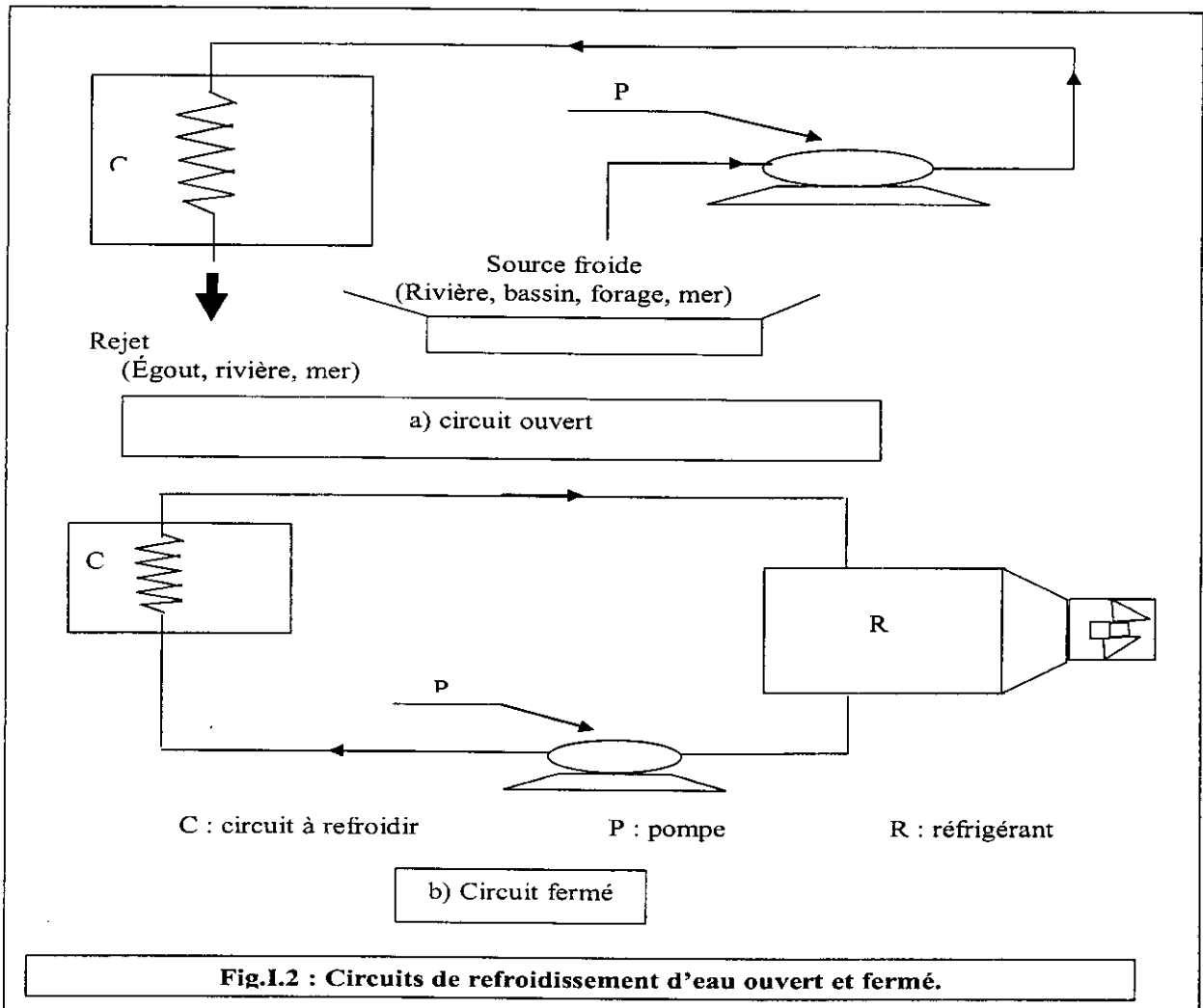
Ces refroidisseurs appelés habituellement **réfrigérants humides** : dans ces appareils, on recherche au contraire un contact direct, aussi intime que possible, entre les fluides. Il n'y a donc aucune séparation physique entre eux. Le refroidissement s'opère alors à la fois par convection pour une faible part, et principalement par évaporation d'une fraction du fluide à refroidir.

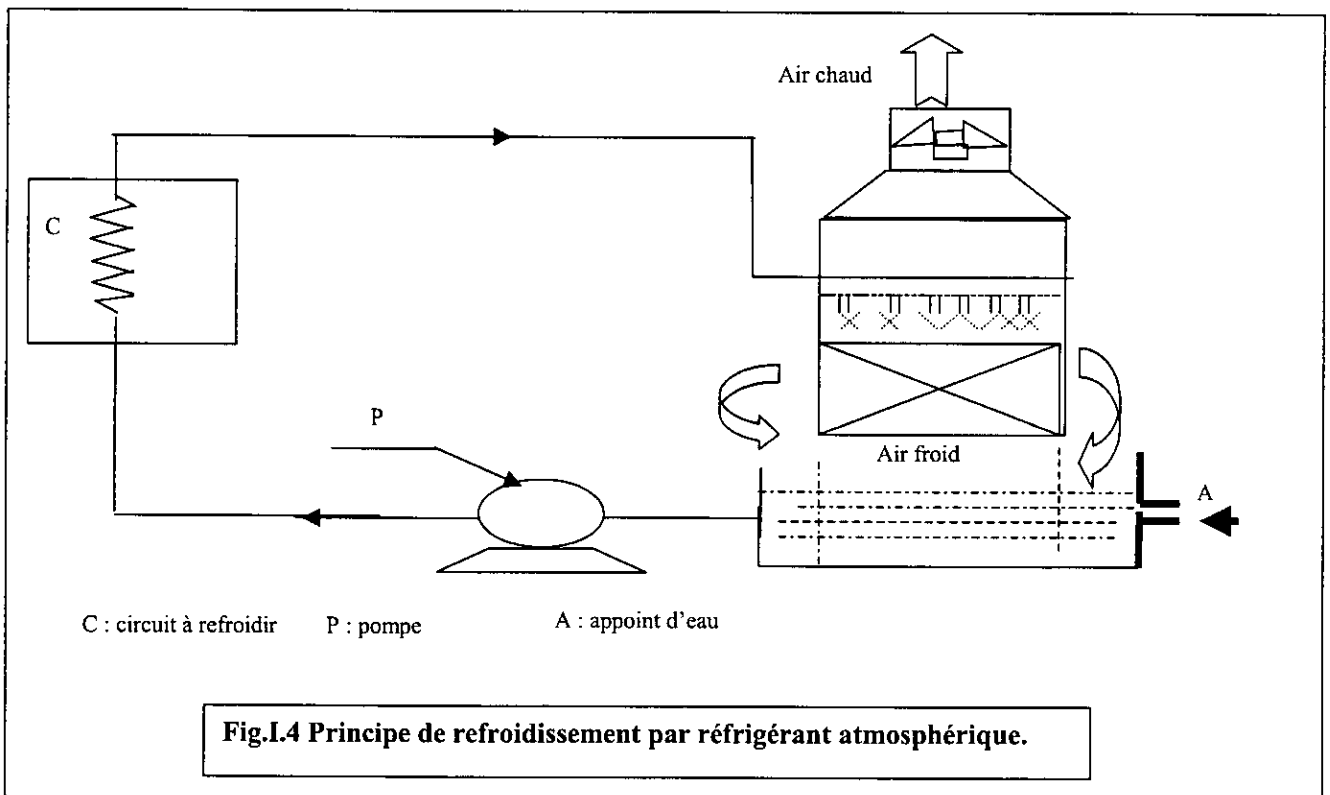
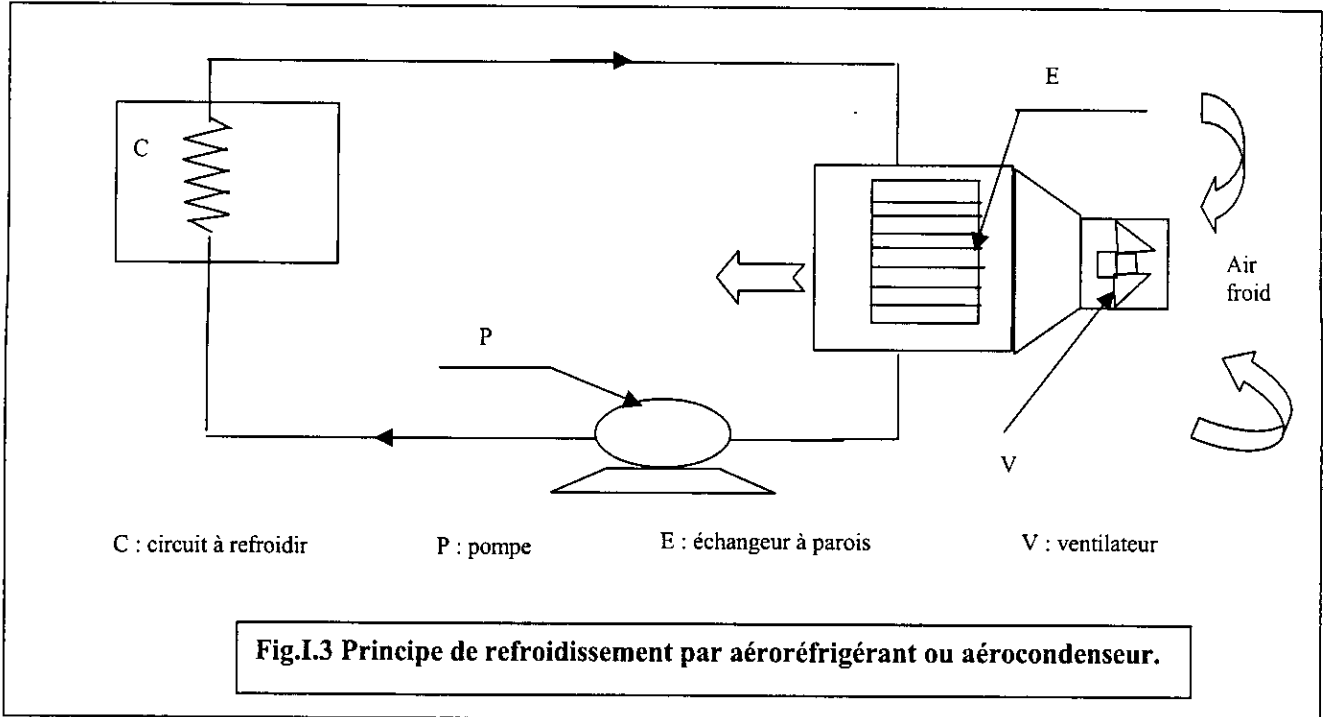
Pratiquement, le fluide à refroidir doit être de l'eau et le fluide refroidisseur de l'air (fig.I.4).

II Critères de choix de l'eau de mer :

Au cours de ces dernières années, la puissance des unités de production de l'énergie électrique a constamment augmenté. Cette augmentation de puissance a eu pour corollaire l'accroissement nécessaire pour la réfrigération de ces unités.







Seuls, les grands fleuves peuvent fournir ces débits. Cependant le nombre des sites possibles est limité. D'autre part, la tendance actuelle, un peu partout dans le monde, est dans la limitation, pour ces sites, qu'entre l'amont et l'aval des centrales. Ceci conduit à prévoir des implantations de plus en plus nombreuses sur réfrigérants en bordure de la mer.

II.1 Nature électrolytique de l'eau de mer :

De par sa salinité élevée 30 à 35g/l de sels de différentes natures contre 10 à 20mg/l pour les eaux de rivières). L'eau de mer est un meilleur électrolyte que l'eau de la plupart des rivières et des lacs.

En particulier, sa conductivité atteint 40 000 à 50 000 $\mu\text{s/cm}$ contre 300 à 600 $\mu\text{s/cm}$ pour les eaux de rivières.

Cette salinité élevée de l'eau de mer a pour conséquences :

- a) une aggravation des risques de corrosion des matériaux en contact avec l'eau de mer, et plus particulièrement des métaux.
- b) Une augmentation très importante des risques de pollution des circuits de la tranche, notamment des générateurs de vapeur ou des réacteurs à eau bouillante.
- c) Des difficultés supplémentaires pour l'alimentation en eau :
 - des postes de traitement de l'eau d'appoint (eaux d'estuaires trop saumâtre à certaines époques de l'année ou de la journée, nappes phréatiques polluées par des infiltration d'eau de mer).
 - Des réseaux d'eau d'incendie, pour des raisons similaires.

II.2 Richesse biologique de l'eau de mer :

L'eau de mer possède une flore et une faune généralement beaucoup plus riche que celles de l'eau douce, des rivières en particulier.

Cette flore et cette faune sont représentées à la fois par des micros organismes (notamment sous forme de plancton) et des organismes plus évolués (mollusques mono ou bivalves, crustacés, algues de plus ou moins grandes dimensions...etc.).

La flore susceptible de poser des problèmes englobe les algues microscopiques présentes de façon pratiquement continue au sein des eaux, et les grandes algues des fonds marins détachées lors des tempêtes (posidonies en particulier).

La faune gênante est surtout représentée, dans nos région, par :

- des moules.
- des balanes ou dents de chien (crustacés cirripèdes du genre *balanus*).
- Des serpules et des sabellaires (vers marins sédentaires dont certains vivent dans un tube calcaire).
- Des crevettes.
- Des alevins.
- Des coelentérés mobiles, ou sédentaires.
- Certaines variétés d'éponges.

Cette richesse biologique de l'eau de mer se traduit généralement :

- d'une part, par une augmentation sensible des dépôts sur les parois des appareils ou ouvrages concernés, tuyauteries et tubes d'échangeurs en particulier.
- D'autre part, par des afflux difficilement contrôlables d'organismes marins, végétaux ou animaux, énumérés plus haut.

II.3 Diversité dans la nature :

Suivant le littoral considéré, on peut rencontrer :

- des dunes de sable ou des plages.
- Des falaises.
- Une cote rocheuse.

Du fait de la nature du sol et du sous-sol, les travaux de génie civil (prise et rejet d'eau, station de pompage, conduites ou galeries) sont en général plus importants et plus délicats qu'en bordure de rivières ou de lacs.

II.3.1 Teneur en sable :

La teneur en sable de l'eau prélevée peut être importante particulièrement dans le cas des côtes sablonneuses, suivant la localisation du point de prélèvement des eaux, d'où :

- Soit risques d'érosions ou érosion-corrosions accélérées,
- Soit des investissements supplémentaires pour réduire la teneur en sables (Exemple : équipements de filtration).

II.3.2 Variation de niveau cyclique dans le cas des mers à marées :

Ces variations de niveau sont fonction de l'amplitude des marées, qui dépend elle-même du site et de la période de l'année. Elles compliquent en général le problème du calage des ouvrages et des matériels et provoquent des variations dans la valeur des débits d'eau de réfrigération et des vitesses qui en résultent.

III Traitement de l'eau de mer :

A fin de prévenir le développement de la faune et de la flore dans les installations et les conduites ; L'eau de circulation est généralement traitée avec du chlore actif.

Le procédé pour la chloration électrolytique continue de l'eau de mer est constitué par les opérations suivantes :

- ◆ Alimentation et filtration de l'eau de mer des deux unités de production d'hypochlorite de sodium,

- ◆ Electrolyse de l'eau de mer sous un courant allant jusqu'à 3400A par unité,
- ◆ Production et stockage d'hypochlorite de sodium dans deux réservoirs,
- ◆ Injection par pompe de l'hypochlorite :
 - a. A la prise d'eau de mer située au large,
 - b. A la station de pompage.

Le procédé lui-même consiste à une électrolyse partielle du chlore de sodium dissous dans l'eau de mer, qui circule à travers les couples d'électrodes (anodes et cathodes) assemblés dans une cellule de l'électrolyseur, connecté à une source de courant continu.

IV Choix des matériaux :

- ✓ Pour les tubes de condenseur et d'échangeurs traversés par l'eau de mer, on emploie le titane (léger, très résistant à l'eau de mer ..., mais très cher).
- ✓ Pour les équipements de filtration, pompe de circulation et tuyauteries travaillant dans l'eau de mer, on emploie les aciers fortement alliés (inoxydables).

V Conclusion sur le circuit ouvert refroidis en eau de mer :

L'emploi de l'eau de mer pour la réfrigération des condenseurs impose des modifications et adjonctions importantes et onéreuses dans la conception et la réalisation de ces appareils ; il complique également la tâche des exploitations. En contre partie, l'eau de mer constitue une bonne source froide, de grande capacité, bien en rapport avec les puissances importantes mises en jeu dans les centrales des paliers actuels.

En eau de mer les problèmes rencontrés sont dus à la corrosion et la salissure. C'est au stade de la construction que les doivent être prévues :

- Choix des matériaux (Titane).
- Optimisation des vitesses de circulation de l'eau dans les différentes parties de l'installation.
- Dispositions constructives permettant :
 - De minimiser les parties en acier, devant recevoir des applications de revêtement protecteur.
 - De procéder à une protection cathodique efficace.
 - De localiser d'éventuelles entrées d'eau de mer.
- Filtre à moule à l'entrée de condenseur.
- Disposition de nettoyage en continue des tubes de condenseur.
- Disposition d'injection de l'eau de javel.

- Disposition d'injection de sulfate ferreux.

En exploitation, une surveillance attentive de tous ces dispositifs est impérative. Les doses de produits chimiques, eau de javel, sulfate ferreux doivent être déterminées par l'expérience en recherchant la pollution minimale. Pour les dosages de traitement à l'hypochlorite de sodium de l'eau de mer appliquée à la centrale de Rasdjinet, on a :

- Une injection continue à 1.5ppm,
- Une injection discontinue à 5ppm pendant 15 minutes toutes les trois heures.

Chapitre II :

**Circuit principal d'eau de refroidissement à
étudier**

CHAPITRE II

Circuit principal d'eau de refroidissement à étudier

I. Introduction :

L'exploitation d'une centrale thermique à grande puissance demande pour réduire la chaleur résiduelle une importante quantité d'eau de refroidissement. Dans le cas de RAS DJINET, le besoin s'élève à 30m³/s. environ.

Cette eau est prélevée de la Méditerranée à 7m de profondeur. La prise d'eau se trouve à 900m de la côte. L'arrivée de l'eau à la station de pompage se fait par trois (3) conduites en béton de Ø2700mm.

Après un nettoyage mécanique dans la station de pompage, l'eau passe dans le circuit principal, les condenseurs, les réfrigérants, pour dissiper la chaleur résiduelle. L'eau rejoint par la suite le canal de rejet et est rejetée dans la mer (fig.II.1 et fig.II.2).

II. Station de filtration et de pompage :

La position de la station de pompage et de filtration d'eau de mer est basée sur une profondeur d'environ 7m dans la méditerranée, la prise d'eau est située à 900m de la côte (Fig.II.3). Le rejet d'eau réchauffée a lieu par un canal de rejet près de littoral, à la surface. La prise d'eau se compose de trois embouchures. L'arrivée d'eau de refroidissement se fait par trois canaux, qui sont réalisés séparément jusqu'à la station de pompage. La hauteur de l'entrée dans la station est de -7.65m sous le niveau de la mer. A chaque entrée est prévue une fosse de révision. Chacun de ces trois canaux est pourvu d'un batardeau à l'arrivée d'eau de mer 12/23/34VA10S001.

La station de pompage est un ouvrage en béton armé étanche avec bord supérieur à +7.50m au-dessus du niveau de la mer et se compose d'un bassin d'alimentation, de quatre voies de filtration et des chambres d'aspiration, pour les pompes de l'installation de dessalement, de l'installation de chloration et pour les pompes d'incendie (fig.II.4). Les batardeaux 12VA10S002, 12VA10S003, 34VA10S002 et 34VA10S003 permettent de séparer les galeries d'eau à l'arrivée. Chacun des batardeaux 10/20/30/40VA10S001 stoppe l'alimentation d'une galerie d'eau. D'autres batardeaux d'arrêt sont installés à l'avant de chacune des 8 pompes de circulation principale (fig.II.5). Par la mise en place des batardeaux, on peut également isoler les quatre chambres de filtration en cas de révision.

Les puits d'aspiration pour les pompes des systèmes auxiliaires sont alors fermés par les Vannes murales 12/23/34/VA10/20S004.

Les batardeaux sont en construction soudés et entourés d'un joint en caoutchouc. Les cadres de guidage sont en acier profilé en U, coulés dans le béton de l'ouvrage (fig.II.6). Des clavettes soudées pressent les panneaux dans leur position la plus basse contre les cadres, on atteint ainsi un effet étanche sans différence de niveau d'eau.

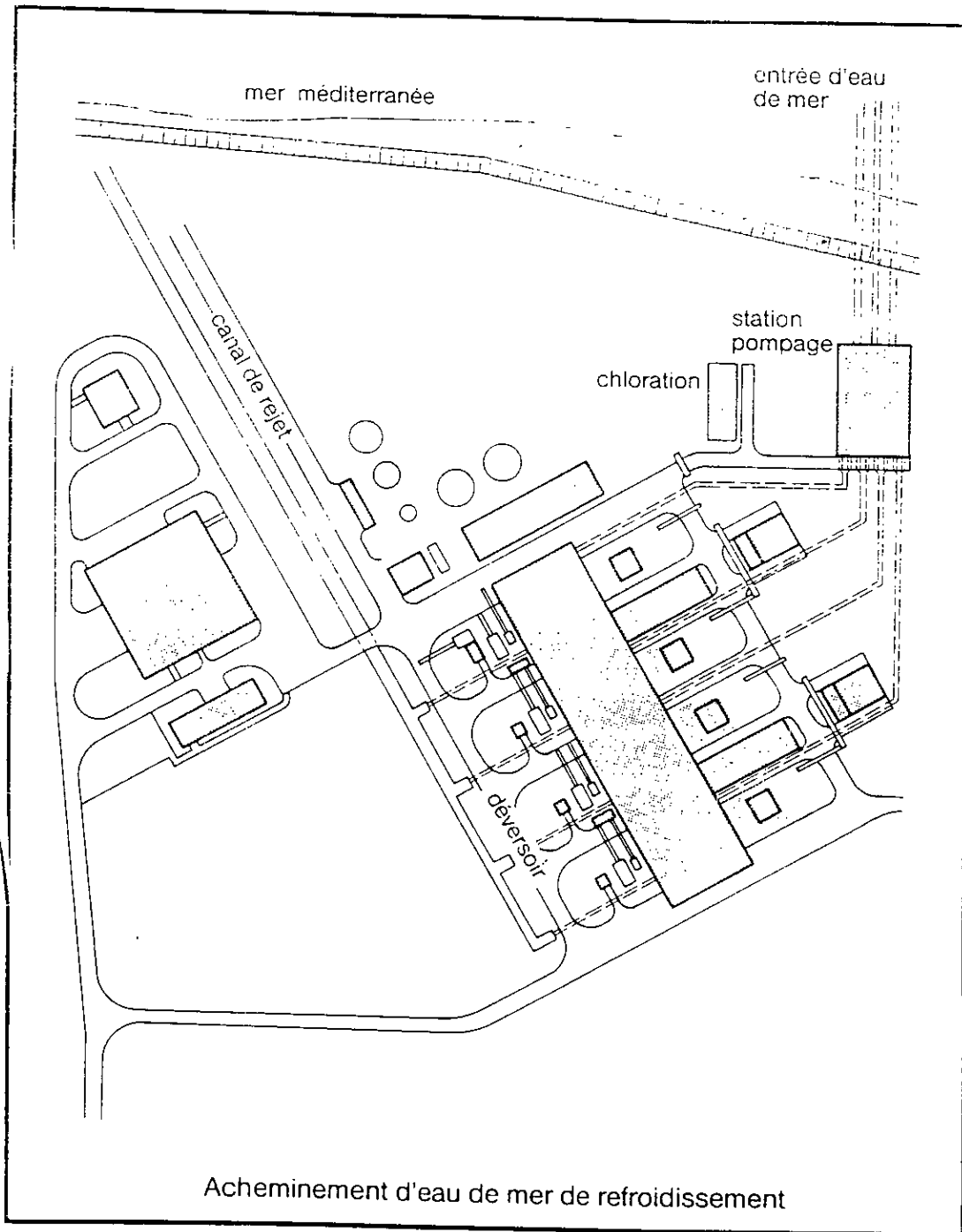


Fig.II.1

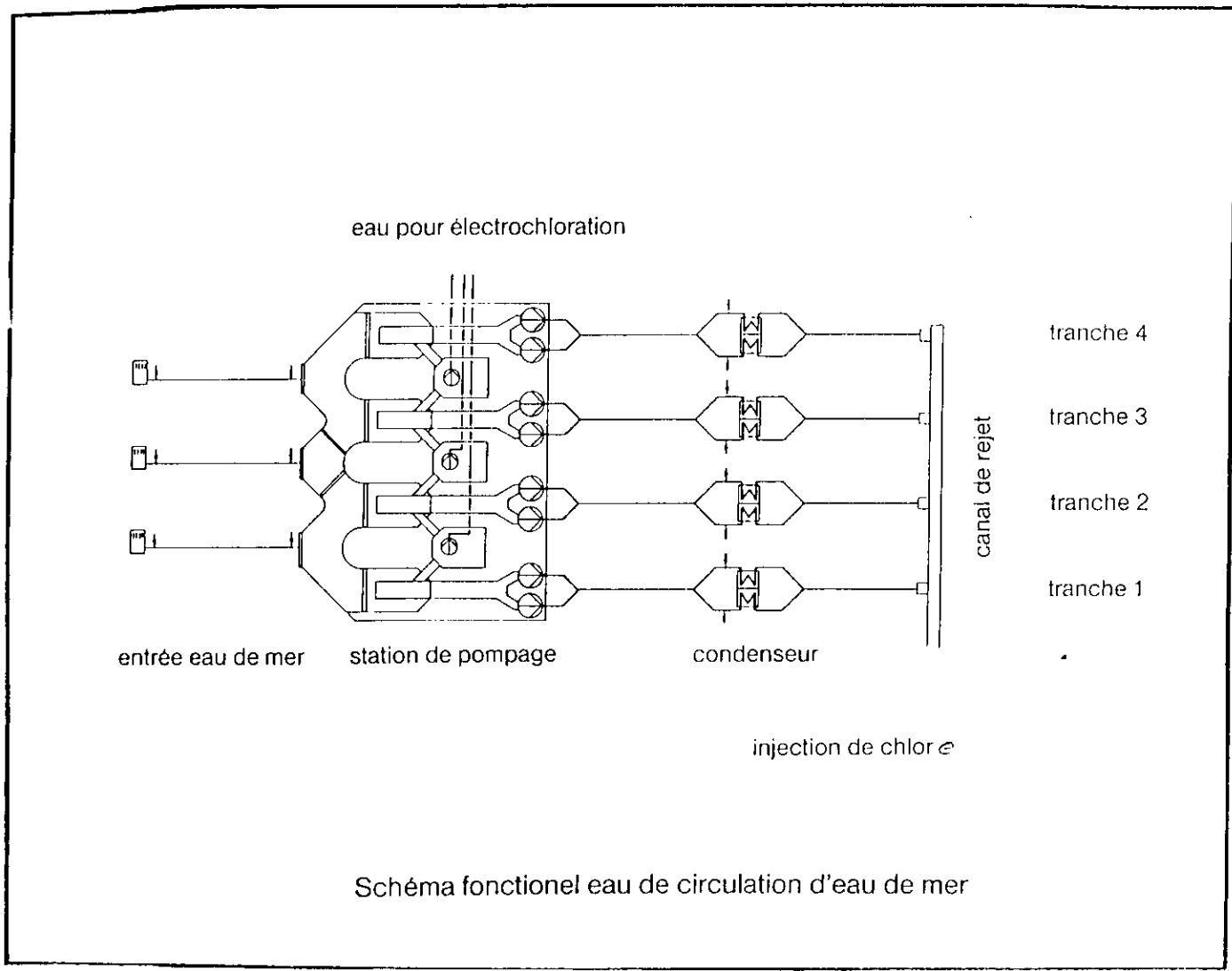


Fig. II.2

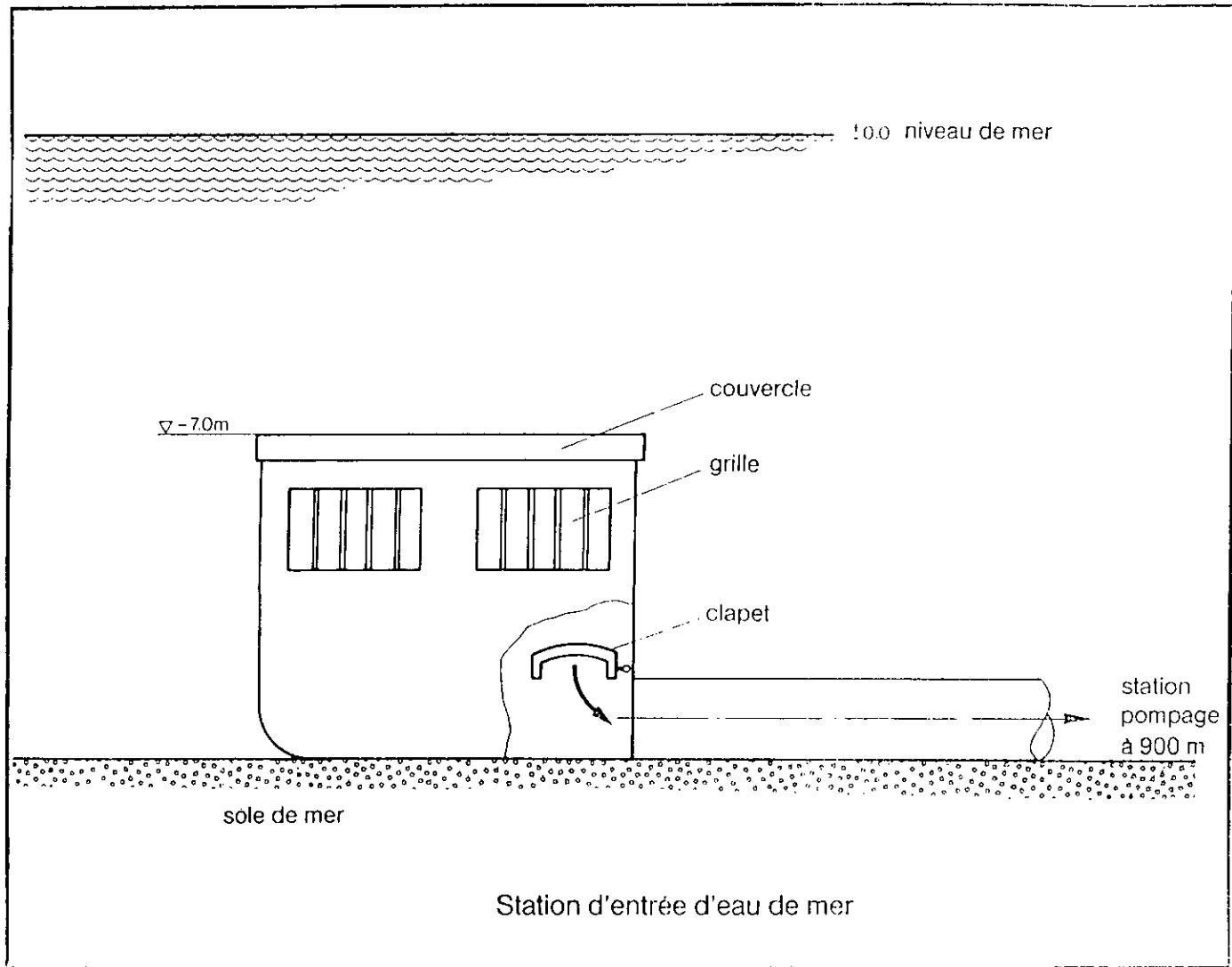
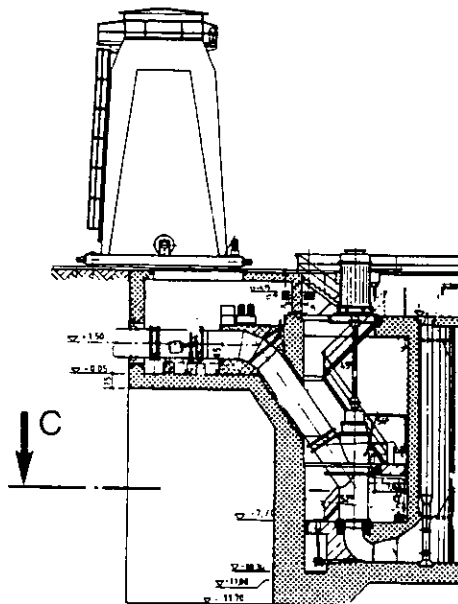
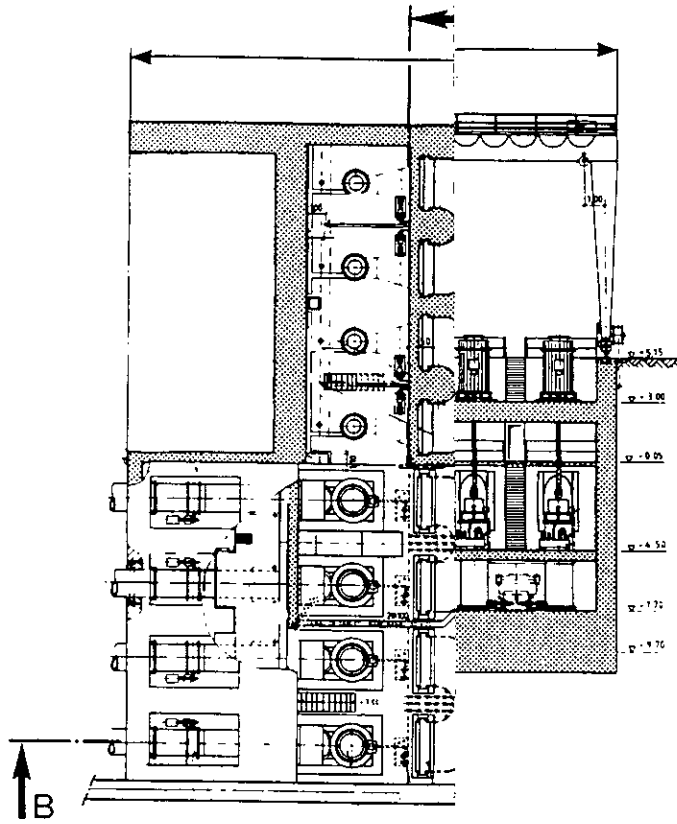


Fig.II.3



filtrage et pompage

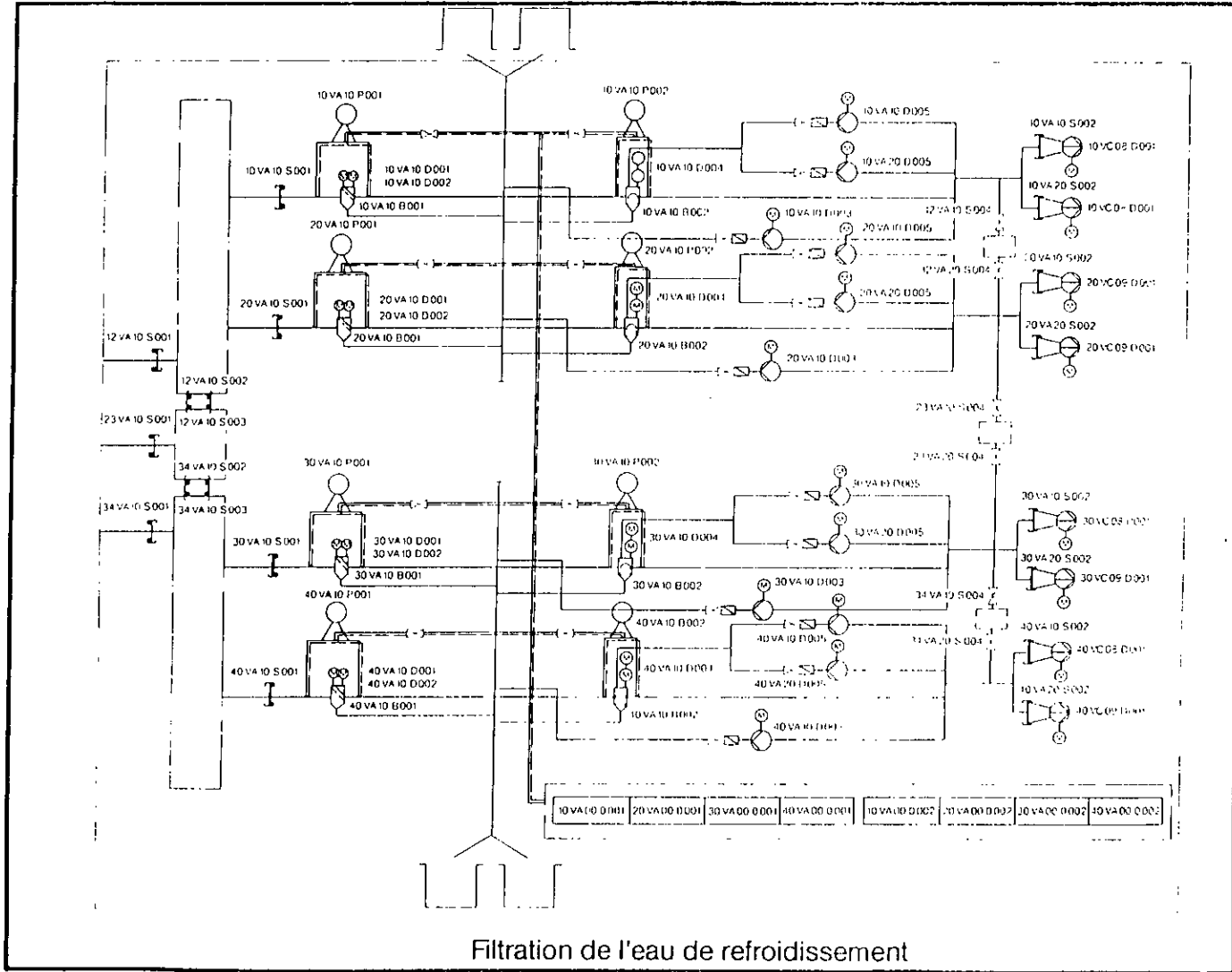


Fig.II.5

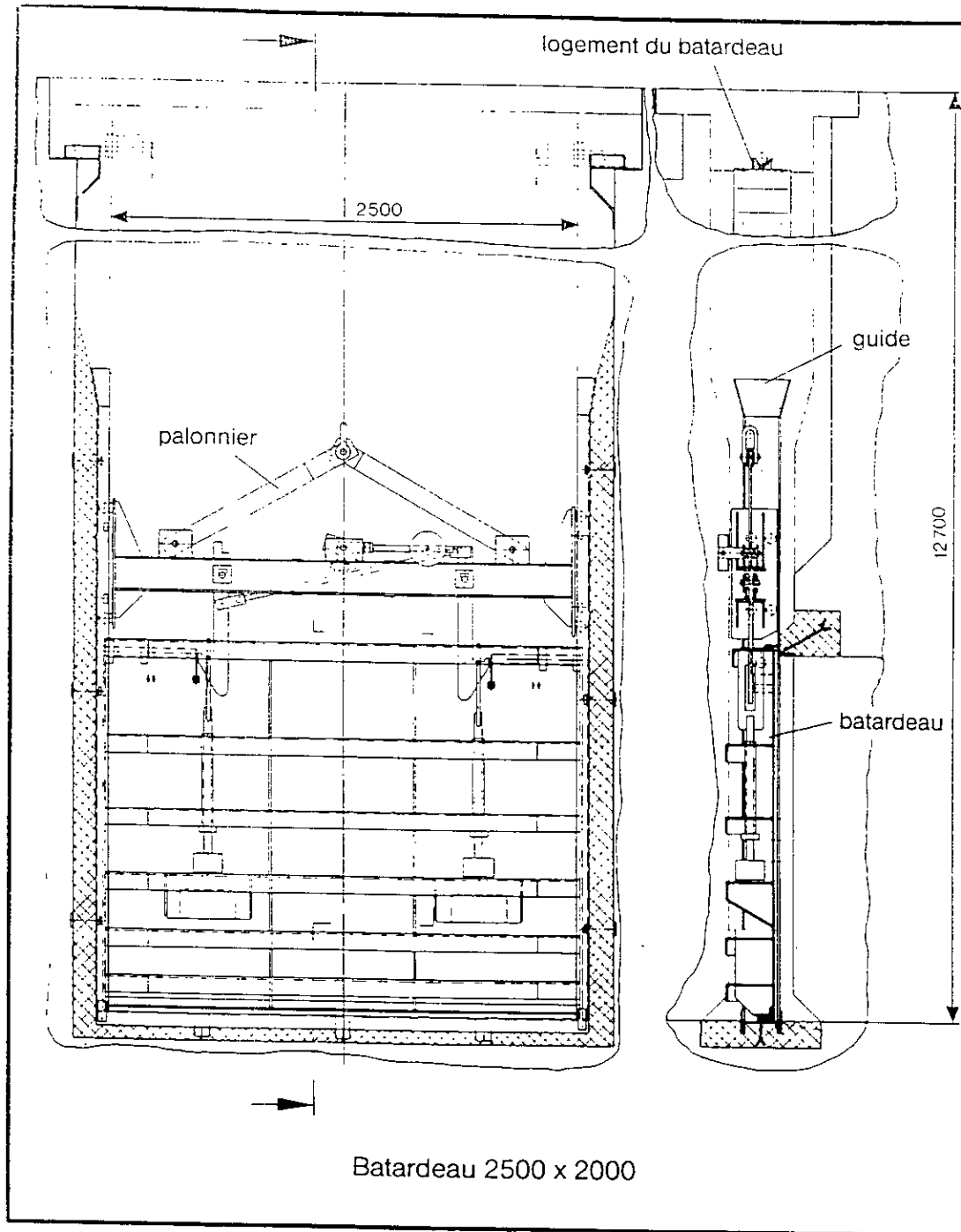
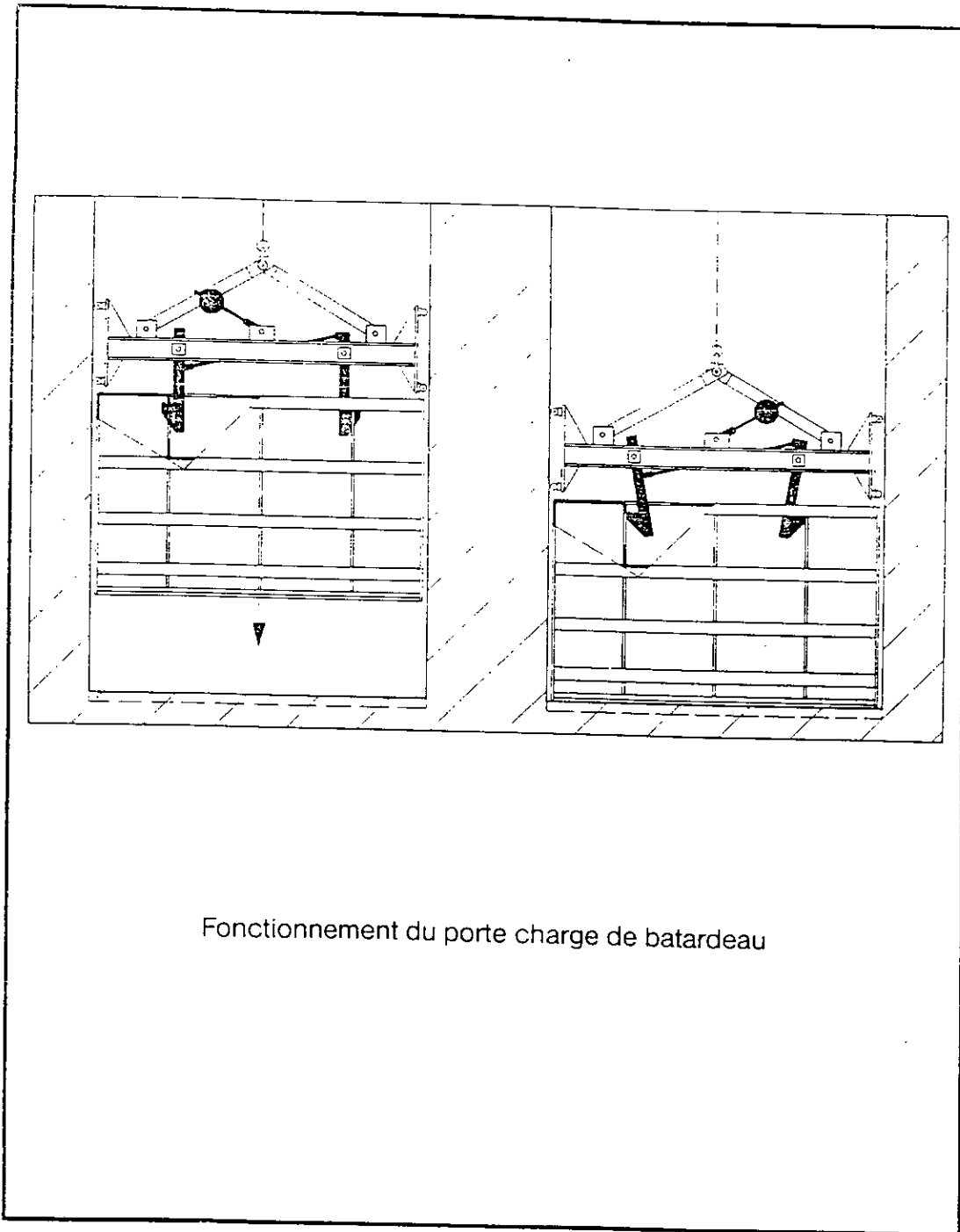


Fig.II.6



Fonctionnement du porte charge de batardeau

Fig.II.7

Pour asseoir ou tirer les batardeaux avec le portique roulant on utilise un palonnier. Il faut prendre en considération que les batardeaux ne peuvent être relevés qu'en position déchargée de la pression d'eau (fig.II.7).

Les vannes d'arrêt sont des vannes murales actionnées au moyen d'une tige de manœuvre filetée. Afin d'atteindre une capacité étanche plus élevée, les vannes sont munies d'un guidage à galets.

La station de pompage est divisée en quatre voies de filtration, qui sont chacune équipées d'une grille avec dégrilleur 10/20/30/40VA10B001 et d'un tambour filtrant 10/20/30/40VA10B002. Les matières retenues par la grille et celles retenues par le tambour filtrant sont amenées par un caniveau de rejet dans le panier de récupération des détrit. Les pompes de circulation principales 10/20/30/40VC08/09D001 sont installées à la fin de des voies de filtration.

Entres ces voies sont disposées les chambres d'aspiration. Les deux chambres extérieures servent à l'alimentation de l'installation de dessalement d'eau de mer par les pompes de transfert WE11/21/31/41D001 et comprennent chacune une pompe d'alimentation de la chloration. Dans la chambre d'aspiration du milieu sont installée la troisième pompe la chloration (réserve) et une pompe d'extinction d'incendie à l'eau de mer.

Pour les révisions, la station de pompage est équipée d'un portique roulant.

Quatre conduites BONNA (VC10) mènent de la côte de refoulement des pompes principales à la salle des machines. A l'entrée du condenseur les conduites de circulation principale (VC20) reliant la salle des machines au canal collecteur sont également des conduites BONNA. Les conduites retour débouchent chacune dans un déversoir d'une hauteur de lame de +4.71m au-dessus du niveau de la mer. Ces déversoirs servent au maintien d'un niveau constant. Les déversoirs sont des constructions en béton armé étanche de 4m sur 4m avec seuil de 3.85m de haut réglant le trop-plein. Par ce seuil le trop-plein se déverse dans le canal collecteur de retour et est dirigée près de la côte dans la mer.

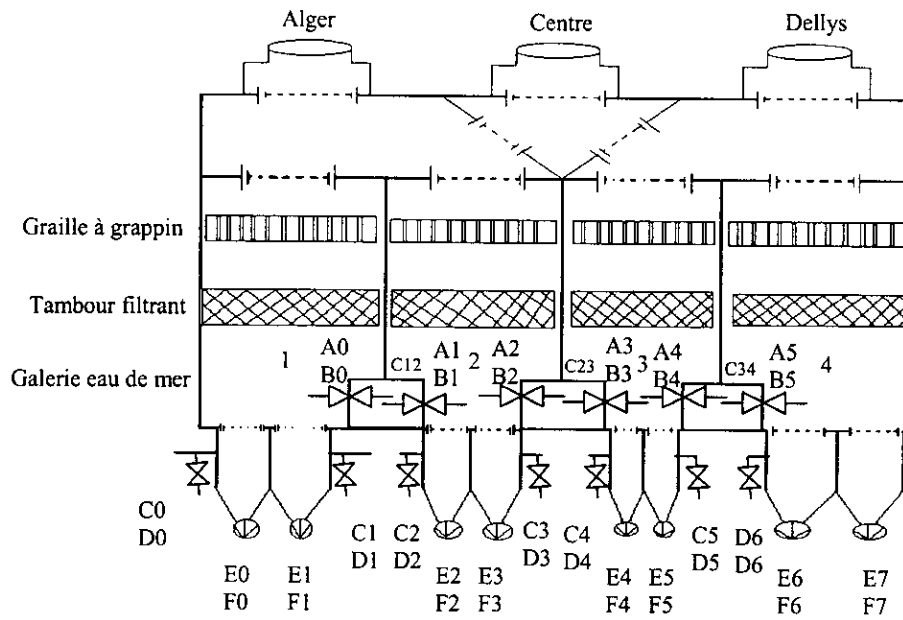
III. Filtration de l'eau de circulation (VA):

Ce procédé sert à l'extraction, par filtrage, des impuretés de l'eau de mer utilisée comme eau de circulation principale et au rinçage des détrit afin qu'ils puissent être transportés dans des paniers de récupérations.

Chaque tranche de la centrale thermique est associée à une voie de filtration qui est équipée d'une grille avec dégrilleur, d'un tambour filtrant, d'un dispositif d'arrosage et d'un appareil de mesure de niveau différentiel de l'eau. Un aperçu de ce procédé est donné par le schéma de principe simplifié (figII.8).

III.1. Grille avec dégrilleur (VA10B001):

Une première filtration de l'eau de mer est effectuée par une installation composée d'une grille fixe et d'un dégrilleur entraîné électriquement. Cette grille dont l'intervalle entre les barreaux est de 40mm est inclinée à 80° par rapport à l'horizontale, et elle est prolongée par un mur en béton. La buté et le bord de déversement sont en acier.



	0	1	2	3	4	5
A	12VA10	12VA20	23VA10	23VA20	34VA10	34VA20
B	5004	5004	5004	5004	5004	5004

	0	1	2	3	4	5	6
C	10V08	10V09	10V08	10V09	10V08	10V09	10V08
D	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400

	0	1	2	3	4	5	6	7
E	10VC08	10VC09	20VC08	20VC09	30VC08	20VC09	40VC08	40VC09
F	D001	D001	D001	D001	D001	D001	D001	D001

C : Chamre

Figure II.8 : schéma simplifié de filtration de l'eau de mer

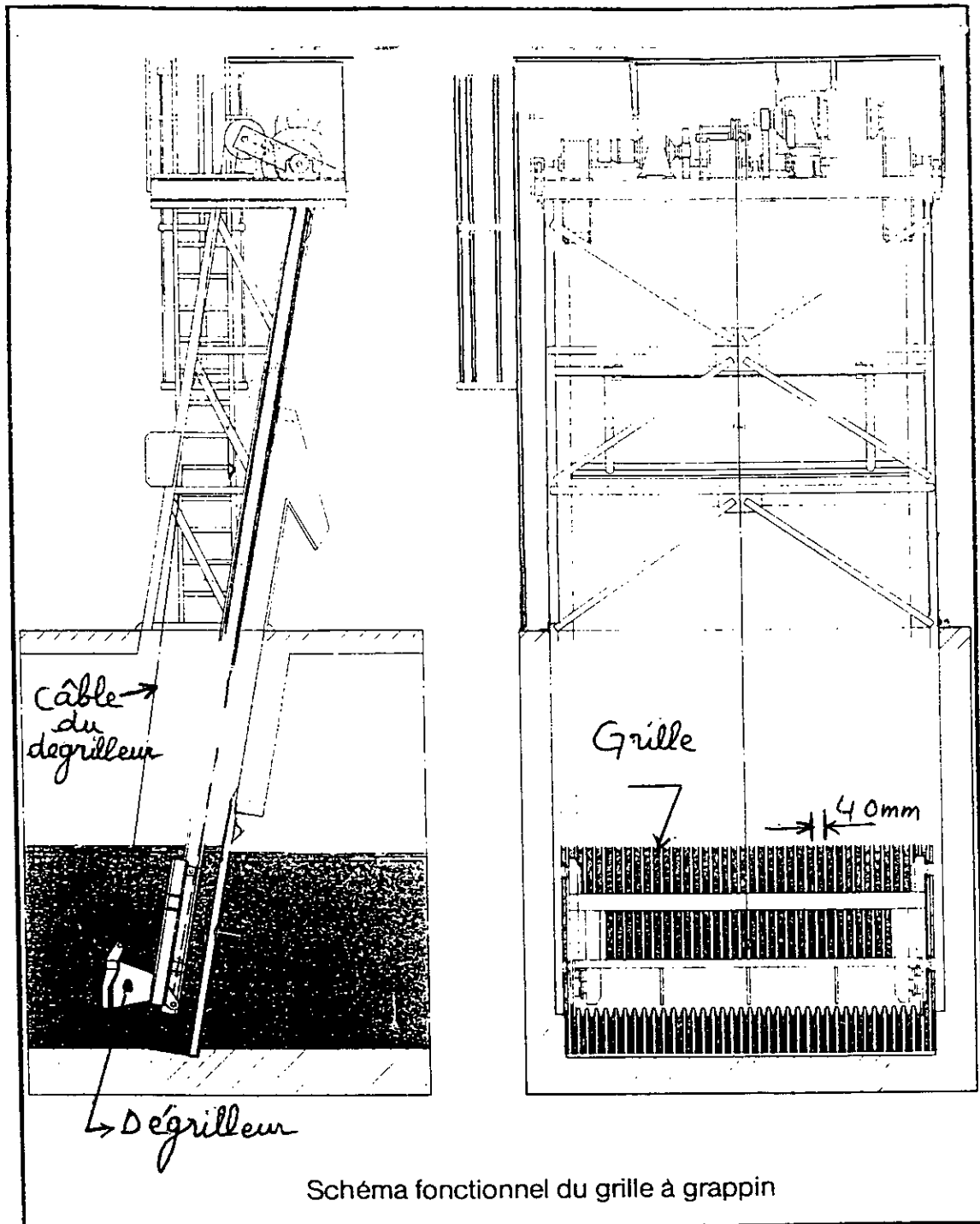


Fig.II.9

Un râteau articulé à un chariot à 4 roues, qui est guidé des deux côtés par des rails constitue le dégrilleur. Deux câbles de levage et un câble de pivotement sont fixés au chariot. Ils sont placés de telle sorte que les câbles de levage pressent, lors de la traction, le dégrilleur vers la grille sans qu'il entre en contact avec les barreaux. L'ouverture et la fermeture sont commandées par le câble de pivotement.

Lors d'un fonctionnement normal du système de filtration, le dégrilleur descend en position ouverte. Lorsque le fond est atteint le dégrilleur commandé par l'interrupteur de fin de course pivote dans la grille. Un autre interrupteur de fin de course déclenche la levée ; de cette façon les matières retenues par la grille, qui sont cumulées, sont soulevées en même temps. Les dents du râteau entraînent les débris retenus contre la grille. Lorsque la hauteur de déversement est atteinte, la barre de butée provoque le basculement des débris par-dessus de bord de déversement et les évacue dans le caniveau. Si le dégrilleur butte sur un obstacle pendant le mouvement descendant, avant d'atteindre le fond, le dégrilleur pivote automatiquement contre la grille pour récupérer l'obstacle et le remonter vers le haut.

La répétition de ce processus peut être réglée sur un compteur de sorte qu'un signal de dérangement se produit, au cas où, après l'expiration de cycle programmé, le dégrilleur n'atteint pas le fond. Le moteur de levage est à nombre de pôles variables, c'est-à-dire que la descente se passe deux fois plus rapide que la montée. Le pivotement est effectué par un moteur séparé. La commande proprement dite à lieu par un interrupteur de fin de course à broche et un autre actionnée par câble détendu. A la fin de cycle, le dégrilleur reste dans sa position finale supérieure.

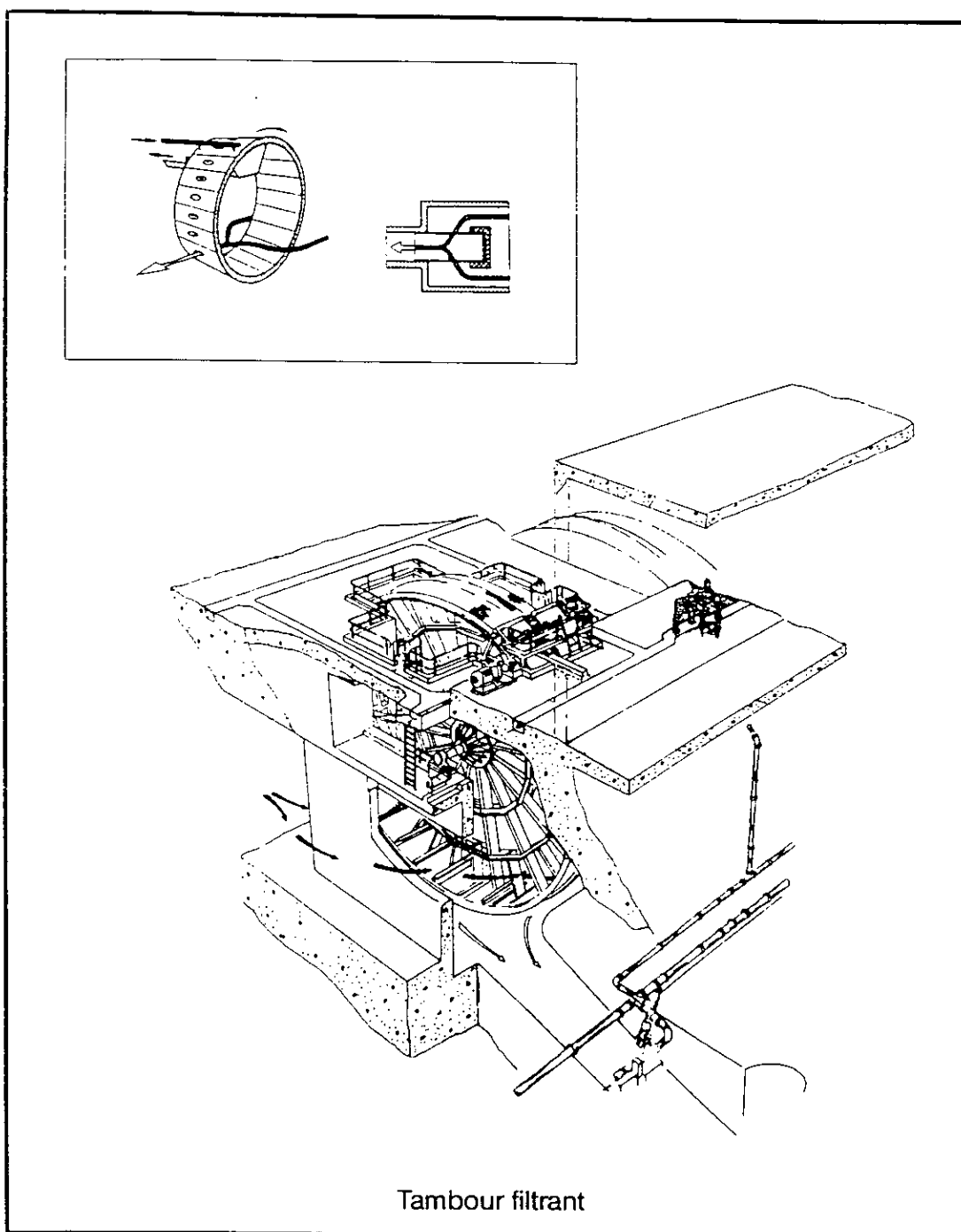
III.2. Tambour filtrant (VA10B002) :

Le nettoyage final se fait par des tambours filtrants. Chaque tambour filtrant consiste à une structure à rotation lente dans laquelle l'eau entre de chaque côté (fig.II.10). Les panneaux filtrants sont montés à la périphérie de la structure tournante ; l'eau est refoulée vers l'extérieur depuis le centre de tambour, à travers les mailles filtrantes (fig.II.11). Tandis que le filtre tourne, les débris adhérents à l'intérieur des panneaux périphériques passent au-dessus des paniers de récupération des déchets placés à l'intérieur du filtre au-dessus du niveau d'eau.

Lorsque les panneaux arrivent au dessus des paniers, ils passent au-dessous des gicleurs d'eau situés à l'extérieur du filtre. L'action combinée de ces gicleurs et de la gravité projette les débris dans les paniers collecteurs des déchets et de là les entraînent vers les caniveaux à débris situés de chaque côté du filtre. Deux rampes de lavage sont montées au dessus du filtre, chacune comprenant 10 gicleurs. Une rampe est en service, l'autre en réserve.

Des élévateurs à plateaux, montés sur les bras horizontaux du filtre lèvent les gros débris ne collant pas aux panneaux filtrants. Les panneaux filtrants sont facilement interchangeables. Les panneaux sont faits des mailles avec des couvertures carrées de 4mm. La structure rotative est faite d'une section en acier laminé supportée par l'arbre principal. L'arbre est porté, à chaque bout, dans des paliers à roulement doublement graissés.

L'espace libre entre le périphérique du filtre et aux parois de la chambre doit être entre 3 et 6m. Un moteur à deux vitesses est prévu pour tourner le filtre, est accouplé à un carter hélicoïdal à double réduction au moyen d'un accouplement de limiteur de couple qui débraye en cas de manque; ce moteur fait tourner le filtre de façon à ce que la moitié inférieure se déplace dans la direction d'affluence de l'eau.



Tambour filtrant

Fig.II.10

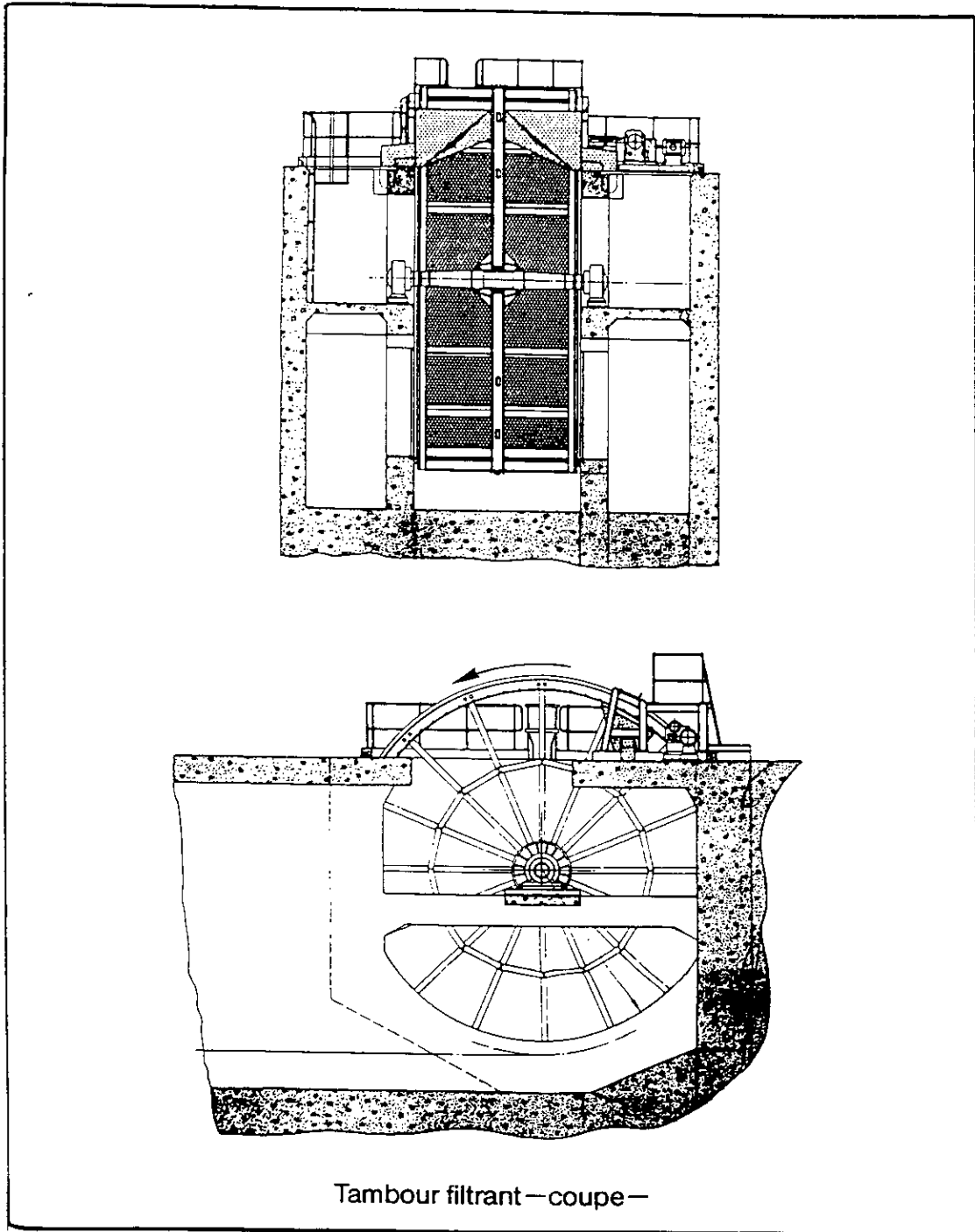


Fig.II.11

Les contrôles automatiques à partir de la perte de charge à travers le filtre peuvent être réglés pour les valeurs suivantes :

- Départ à vitesse lente à 150mm CE,
- Arrêt à vitesse lente à 75 mm CE,
- Départ à grande vitesse à 400mmCE,
- Arrêt à grande vitesse à 250mmCE,
- Alarme différentielle élevée à 600mmCE.

Si la perte de charge à travers le filtre atteint 600mmCE, il faut en trouver la cause, soit :

- Excès de détritits dans l'eau de mer,
- Déclenchement de la commande du filtre,
- Manque d'eau de lavage.

III.3. Contrôle automatique de l'installation de filtration :

La grille et le tambour filtrant sont équipés avec des dispositifs de mesure de niveau différentiel électroniques et pneumatiques. Ces mesures sont utilisées pour contrôler les opérations de la grille à barreaux et du tambour filtrant.

L'installation de mesure de niveau différentiel est la combinaison du système d'injection d'air et d'un capteur de pression électronique. Comme on peut le constater sur le schéma de fonctionnement (fig .II.12), le capteur de pression est monté avant l'appareil qui est à l'origine de la différence de niveau. La pression P_1 s'exerce sur la membrane, à l'arrière de l'appareil est installé une sonde d'injection d'air, qui est située exactement à la même hauteur que la membrane du capteur de pression. Lors du barbotage de l'air, la pression de l'eau P_2 s'exerce dans la sonde d'injection, cette pression est amenée jusqu'à la face arrière de la membrane du capteur de pression par un raccordement pneumatique. La différence entre P_1 et P_2 agit sur la membrane. Le déplacement de la membrane est utilisé comme grandeur mesurée. Lorsque l'air vient à manquer les contacts d'enclenchement et de la signalisation sont activés. La commande automatique du dégrilleur se fait au moyen d'une minuterie. A cette minuterie est ajouté un interrupteur pneumatique de niveau différentiel.

Si en opération automatique l'interrupteur différentiel est actionné, le dégrilleur se met en marche. Il reste en marche jusqu'à ce qu'il n'y est plus de retenue d'eau devant la grille et continue encore à fonctionner jusqu'à ce que le pré-régulé soit écoulé. Une commande manuelle est aussi prévue.

La commande du tambour filtrant peut se faire soit manuellement, soit automatiquement selon la différence de niveau d'eau ou avec une minuterie avec relais temporisé. En opération automatique la commande de niveau différentiel met l'installation en marche « lente ». Une pompe de lavage est également mise en service.

Lorsque la différence de niveau d'eau augmente le deuxième contact de la commande de niveau différentiel est actionnée. Le tambour filtrant passe alors en vitesse de rotation « rapide ».

La troisième position de niveau différentiel sert pour la signalisation « niveau d'eau est très élevé ».

Le relais temporisé doit être réglé de telle manière que le tambour filtrant fasse encore deux à trois tours après la mise hors circuit du contact de différence de niveau d'eau. La minuterie met en marche périodiquement le tambour filtrant en vitesse de rotation lente.

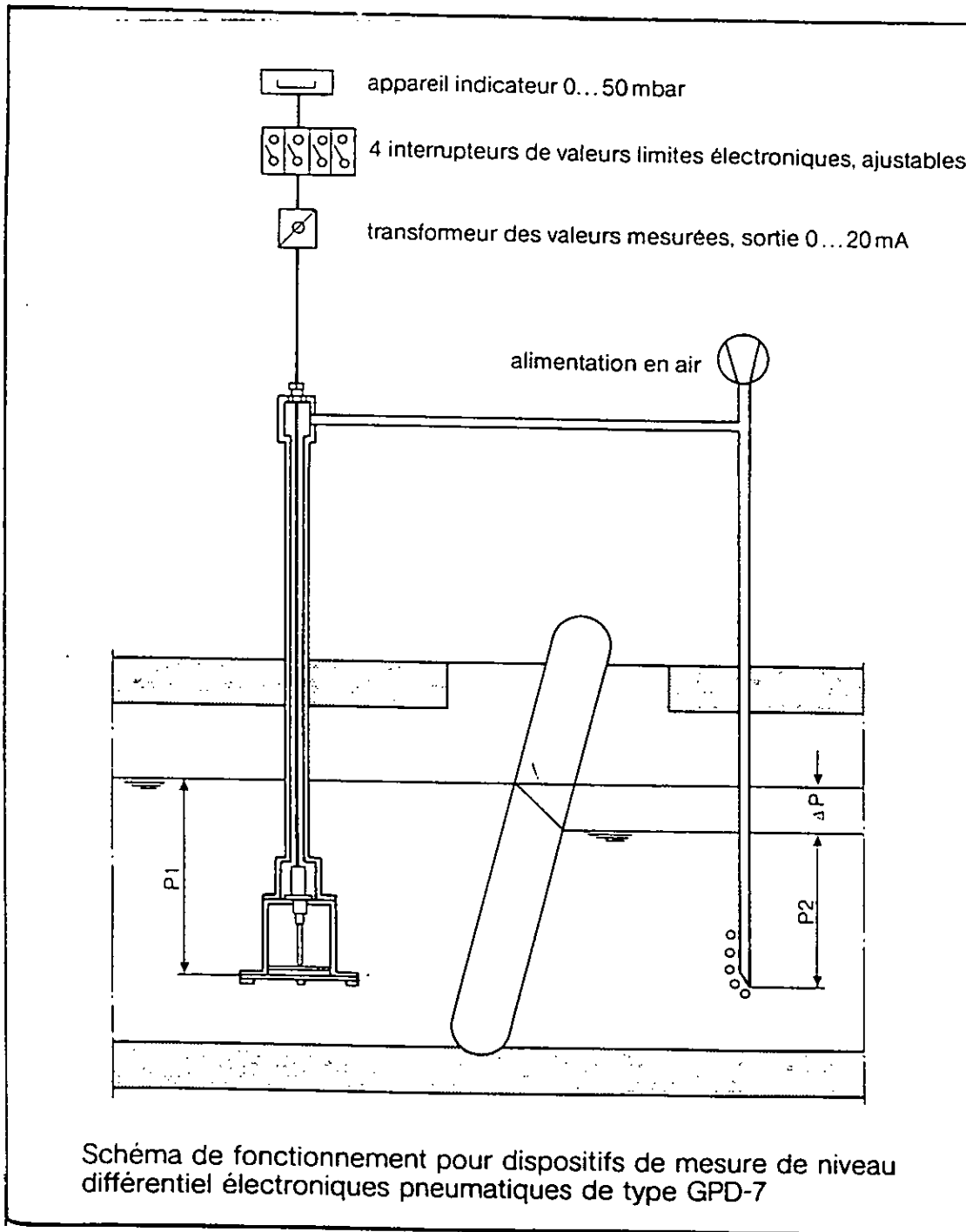


Fig.II.12

III.4. Protection cathodique des installations de filtration :

La corrosion des surfaces métalliques, en particulier de l'acier ou du fer dans l'eau, est d'origine électrique. Elle est favorisée par l'électrolyte ambiant (l'eau de mer). Au point de sortie du courant à l'onde, le métal est enlevé selon la loi de Faraday, il se forme des éléments galvaniques.

La figure II.13 représente l'exécution de base d'une installation de protection contre la corrosion, spécialement pour les installations de filtration d'eau circulation. Les objets à protéger dans l'eau sont reliés les uns aux autres par un conducteur de façon à former une unité métallique qui sera connectée au moyen d'un câble à la borne négative d'un redresseur.

Les anodes au niobium montées sur les machines et sur le génie civil sont raccordées à la borne positive. Conformément aux lois de propagation de courant sur de grande espace, le courant atteint toutes les parties des objets à protéger qui sont en contact avec l'eau conductrice et revient au redresseur par l'intermédiaire du câble d'anode.

En circulant à travers les installations pénétrant dans les objets à protéger, le courant modifie les conditions du potentiel et on obtient les effets suivants :

Affaiblissement ou suppression des courants anodiques provenant des macro-éléments ou des éléments locaux qui provoquent la corrosion.

- Réduction de l'oxygène favorisant la corrosion.
- Elévation de la valeur du facteur PH insignifiante.
- Formation de couches de recouvrement.

L'installation elle-même est composée des éléments suivants :

1. Redresseur pour la production de tension inverse et de courant de protection.
2. Dispositif d'alignement avec rhéostats pour le réglage du courant.
3. Cellule de mesure de potentiel sur l'objet à protéger.
4. Anodes de protection au niobium.

III.5. Installation de chloration électrolytique « VK »:

Afin de prévenir le développement de la faune et la flore dans les installations et les conduites, l'eau de circulation est traitée avec le chlore actif.

L'installation est prévue pour produire 2x150kg/h de chlore actif avec deux unités. La production de chaque unité est obtenue avec quatre électrolyseurs connectés hydrauliquement et électriquement en série en opération jusqu'à 3400A. Le chlore actif est produit sous forme d'hypochlorite de sodium à 2000ppm. La capacité normale d'alimentation en eau de mer aux électrolyseurs est de 75m³/h pour chaque unité.

En condition de chloration continue, 104 000 m³/h d'eau de circulation est continuellement chlorés jusqu'à 1.5ppm. La chloration continue a lieu sur les tuyaux d'eau de circulation. Trois diffuseurs sont placés à la prise d'eau et trois à la station de pompage.

Pendant 15 minutes et toutes les trois heures la concentration totale de chlore actif dans l'eau de circulation est portée à 5ppm. Cette chloration de « choc » démarre et s'arrête automatiquement. La durée est réglée par une minuterie. Elle a lieu à la prise d'eau de mer ou à l'entrée des condenseurs.

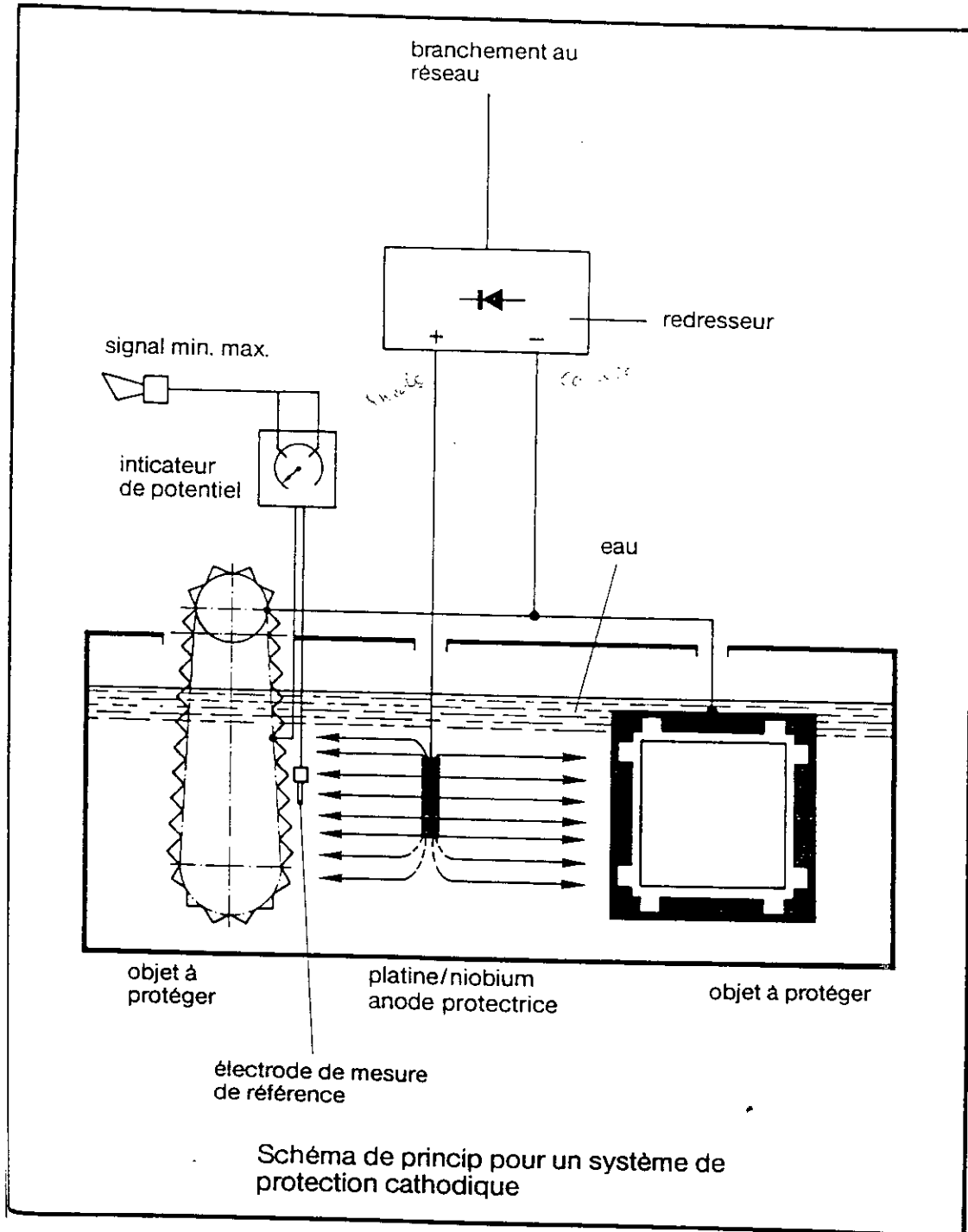


Fig.II.13

III.5.1. Description du procédé de chloration:

Le procédé de la chloration électrolytique continue de l'eau de mer est constitué par les opérations suivantes :

- ◆ Alimentation et filtration de l'eau de mer des deux unités de production d'hypochlorite de sodium,
- ◆ Electrolyse de l'eau de mer sous un courant allant jusqu'à 3400A par unité,
- ◆ Production et stockage d'hypochlorite de sodium dans deux réservoirs,
- ◆ Injection par pompe de l'hypochlorite :
 - a. A la prise d'eau de mer située au large,
 - b. A la station de pompage.

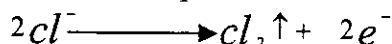
L'eau de mer, contenant des matières en suspension ayant un diamètre maximal de 0.5mm après les filtres auto-nettoyants, est amenée aux électrolyseurs.

Les produits de l'électrolyse sont de l'eau de mer avec un contenu très bas d'hypochlorite de sodium et d'hydrogène qui est dilué et chassé à l'atmosphère afin d'éviter tout danger d'explosion. L'eau de mer chlorée est stockée dans des réservoirs d'où elle est pompée et injectée dans l'eau de circulation.

Le procédé lui-même consiste à une électrolyse partielle du chlorure de sodium dissous dans l'eau de mer, qui circule à travers des couples d'électrodes (anodes et cathodes) assemblés dans une cellule d'un électrolyseur, connecté à une source de courant continu.

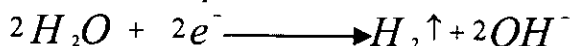
Les réactions chimiques se développent successivement à l'intérieur de la cellule parmi les produits de l'électrolyse :

1. Réaction anodique :



Le chlore gazeux se développe à l'anode.

2. Réaction cathodique :



L'hydrogène gazeux se développe à la cathode avec formation des ions d'hydroxyles.

3. Réaction chimique :



Le chlore et les ions hydroxyles se combinent chimiquement pour produire des ions de chlorure et d'hypochlorite.

Généralement l'hypochlorite est défini sous le terme de chlore actif libre. L'hypochlorite produit par voie électrochimique est suffisamment stable pour supporter les périodes de stockage nécessaires à la chloration de choc. Des périodes de stockage plus longues que 48h doivent être évitées.

III.5.2. Description de l'installation de chloration :

L'eau de mer est envoyée au moyen des pompes d'alimentation VK11/12/13D001 à travers un filtre d'eau de mer (fig.II.14 et fig.II.15).

Les filtres sont du type auto-nettoyant VK21/22B001 actionnés par la perte de charge dans le filtre. L'opération de filtrage limite à 0.5mm de dimension les matières en suspension dans l'eau de mer affluente. L'eau de mer alimente les deux unités d'électrolyse par une répartition automatique à travers un régulateur de pression VK25P001 et un régulateur de débit VK50/60F001. Un faible débit d'eau de mer à une unité provoque un signal d'alarme au tableau de commande et déclenche l'unité.

Les électrolyseurs se composent de cellules à construction modulaire, connectées électriquement et hydrauliquement de façon à former un ensemble d'électrode (fig.II.16). Les électrodes sont bipolaires. Des cathodes sont en titane tandis que les anodes sont en DSA (dimensionally stable anodes), qui gardent leurs caractéristiques géométriques et mécaniques.

L'eau de mer qui entre dans le premier électrolyseur (VK50/60B001) par le bas à travers l'ensemble d'électrode est envoyée aux autres électrolyseurs de la même unité (VK50/60B002, VK52/62B001/2).

Un séparateur d'hydrogène est installé entre le deuxième et le troisième électrolyseur dans la série (VK50/60B003) pour séparer la plupart du gaz produit dans les deux cellules précédentes. De cette façon, les deux électrolyseurs suivants sont alimentés de l'eau de mer dégazée.

Le séparateur d'hydrogène fonctionne comme un bac entièrement rempli d'eau de mer sans poches d'hydrogène. Le gaz d'hydrogène sortant du haut du séparateur entraîne une petite quantité d'eau de mer chlorée. Un tuyauterie qui by-pass les cellules suivantes et rejoint le courant principal d'eau de mer contenant NaOCl et H₂ avant la sortie de l'unité.

Un indicateur de température placé à la sortie de chaque unité donne une alarme si la température dépasse une valeur préétablie.

L'eau de mer contenant les produits de l'électrolyse (NaOCl, H₂) est transférée des unités de production vers deux réservoirs verticaux VK66/67B001. Le gaz d'hydrogène se dégage dans la partie supérieure du réservoir.

La solution de NaOCl est purgée du fond bombé du réservoir. Chaque réservoir peut être isolé du circuit, vidé de l'eau de mer pour l'entretien sans déranger le fonctionnement normal.

Les réservoirs de l'hypochlorite sont pourvus d'indicateurs de niveau qui permettent une marche automatique de l'installation. L'air de dilution d'hydrogène est fourni à chaque réservoir au moyen de deux soufflantes centrifuges VK31/36D001 et VK35/36D001, une en fonctionnement et l'autre en réserve.

Le changement entre les soufflantes a lieu en cas de défiance du moteur de la soufflante en service ou lorsque l'indicateur de débit d'air, placé sur la ligne d'alimentation d'air révèle un débit insuffisant. Si les conditions de débit d'air ne sont pas rétablies normalement dans un temps donné, les unités de production sont déclenchées automatiquement. Dans ce cas le cycle de dosage à choc ne peut pas être exécuté. Ce contrôle est nécessaire pour éviter une formation d'un mélange d'hydrogène (H₂) explosif.

Le système de distribution de l'hypochlorite est prévu pour un dosage « continu » à la prise d'eau de mer et à la station de pompage et pour un dosage de « choc » à la prise d'eau de mer et aux entrées des condenseurs (fig.II.17).

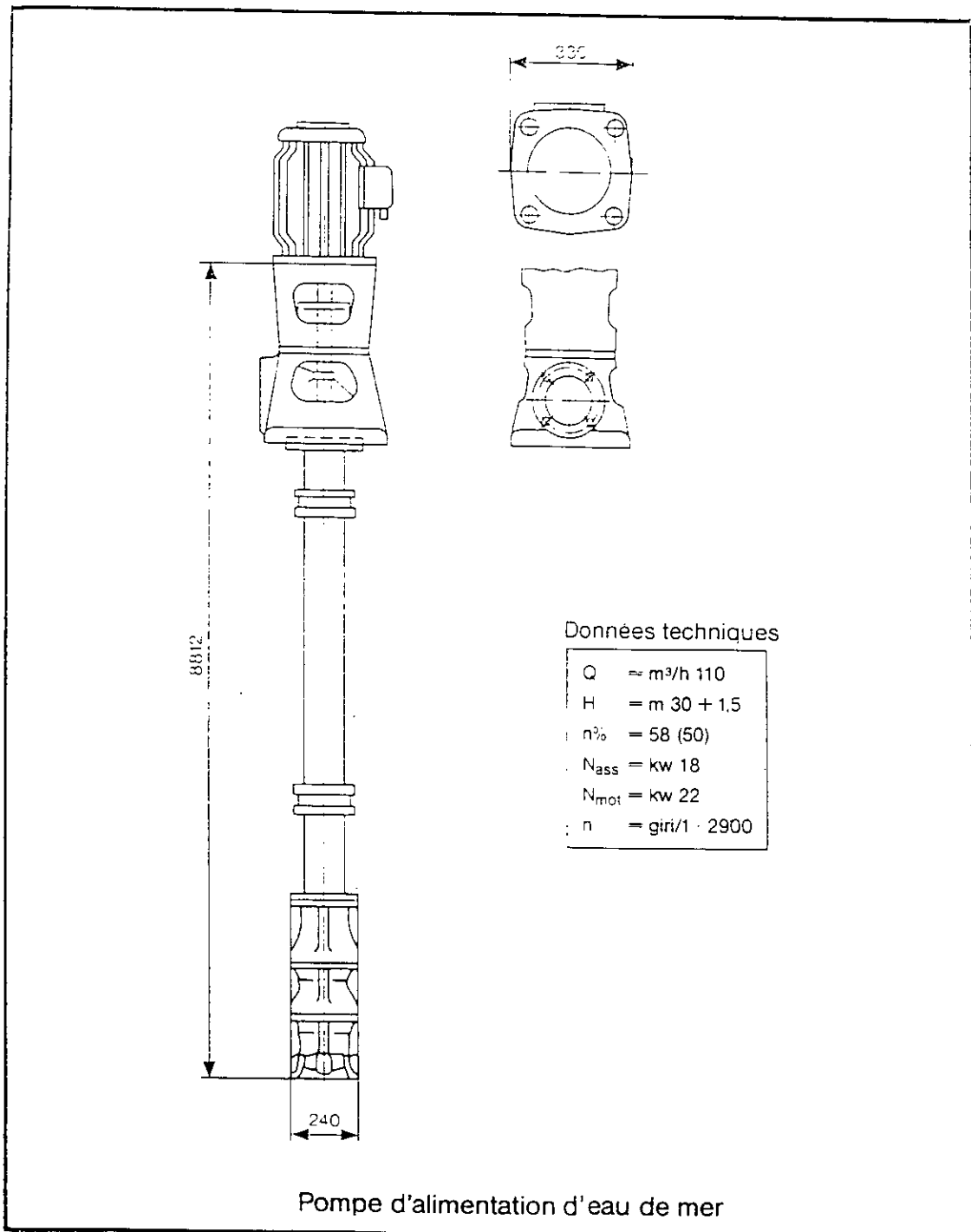
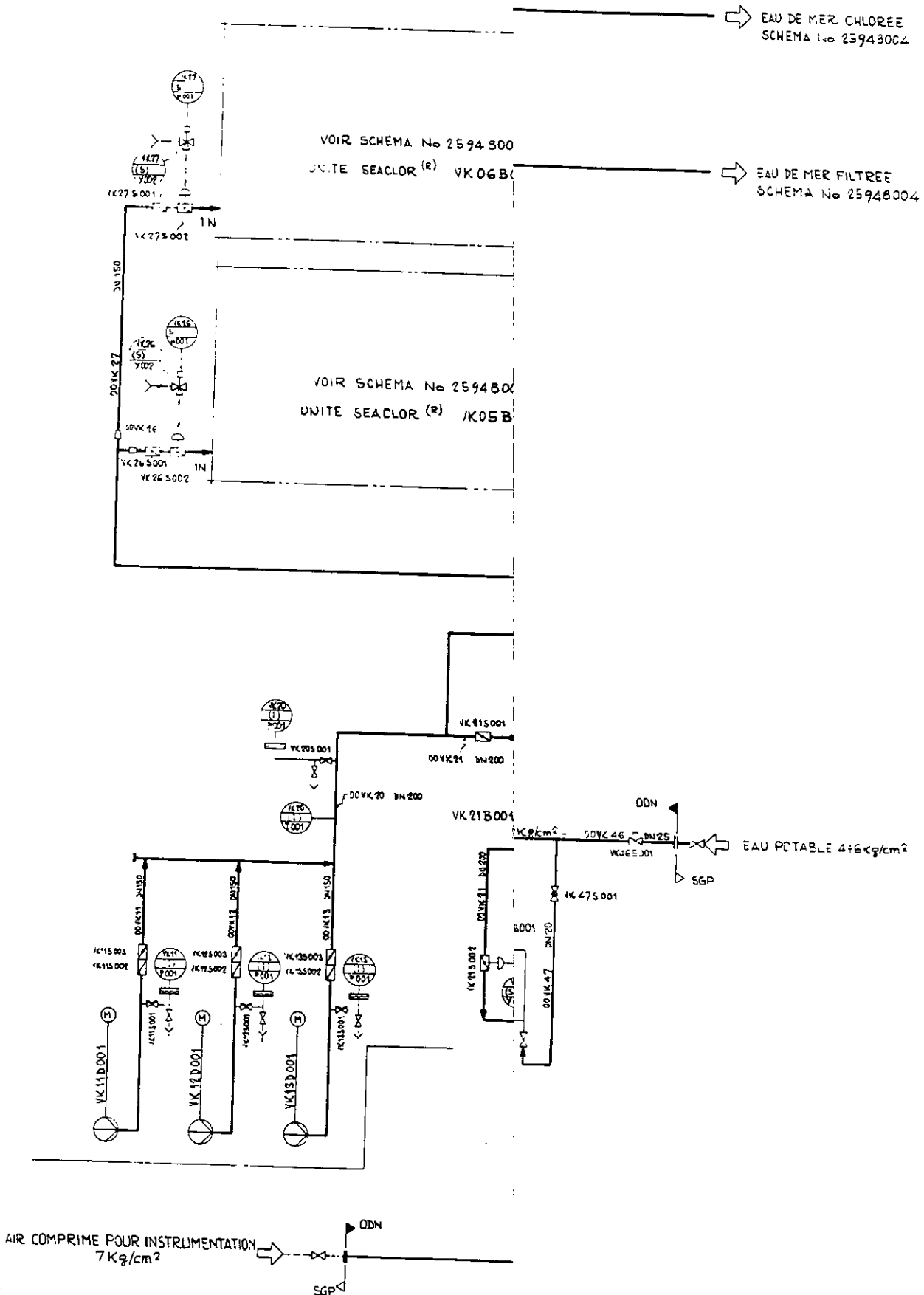


Fig.II.14

circuit d'eau de refroidissement

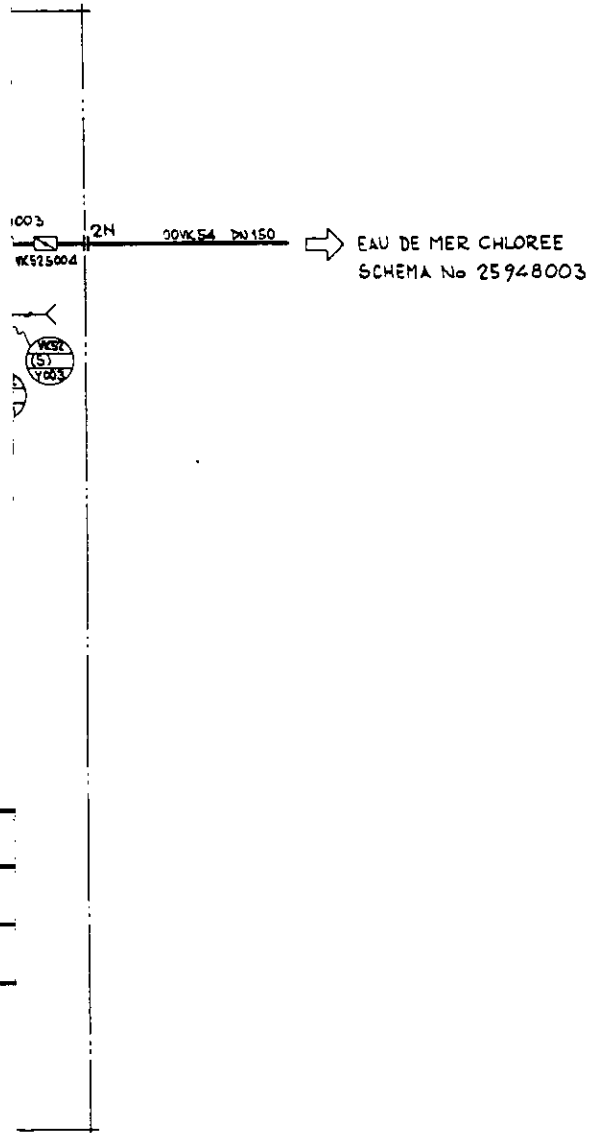
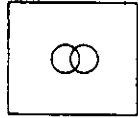


i, schéma

circuit d'eau de refroidissement

VK.01!

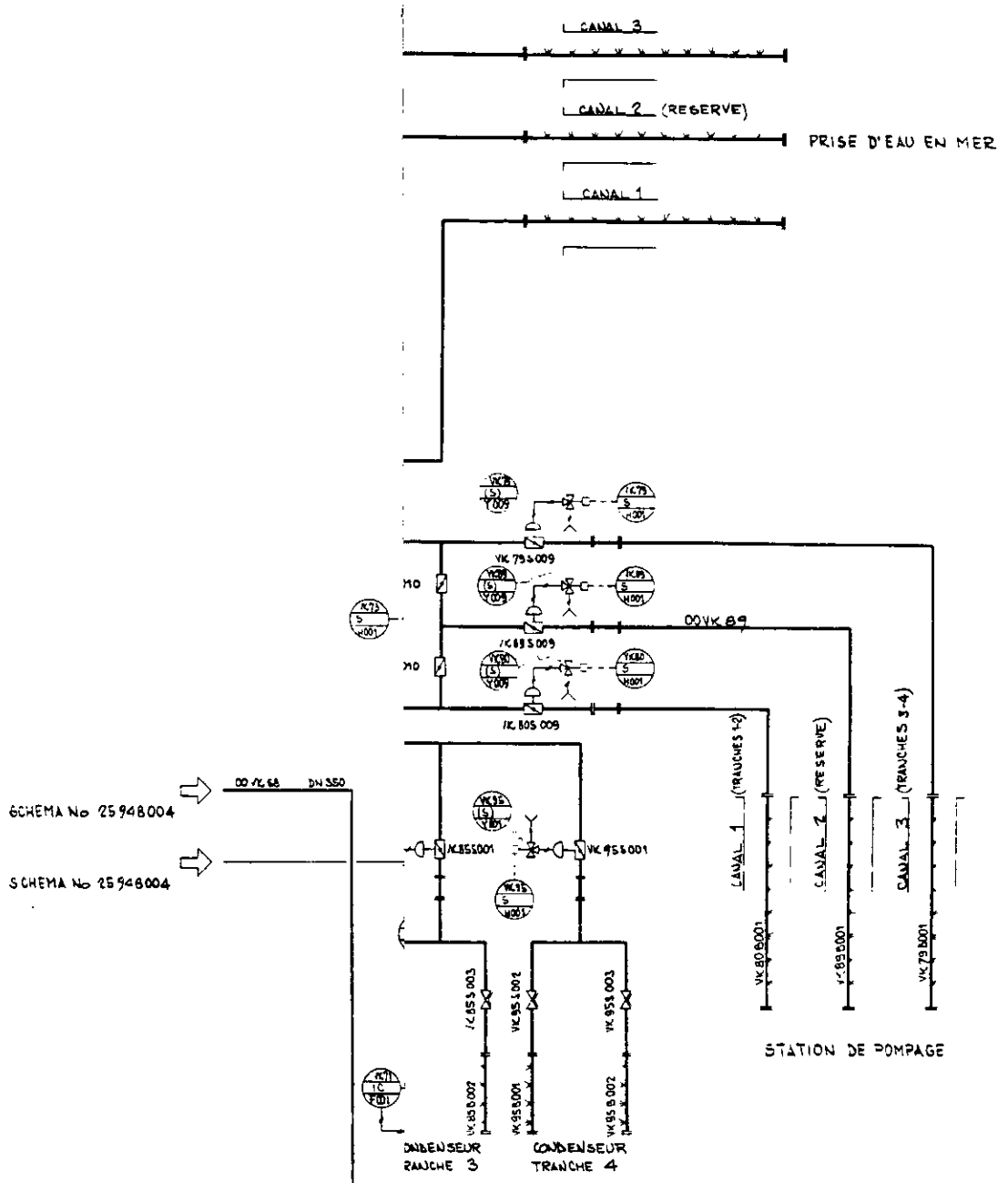
12 CT09



- EAU DE MER FILTREE → 00VK26 DN150
SCHEMA No 25948003
- ALIMENTATION HCE → 00VK42 DN80
SCHEMA No 25948003
- DRAINAGE ← 00VK51 DN80
- RETOUR HCE ← 00VK53 DN80
SCHEMA No 25948003

«SEACLOR»

circuit d'eau de refroidissement



distribution d'hypochlorite

Le traitement en continu est réalisé avec 4 pompes centrifuges VK77/78/79/80D001, et la régulation de débit comprend deux vannes pneumatiques pour la prise d'eau de mer VK77/78S006 et deux vannes pour la station de pompage VK79/80S006. Le débit est maintenu constant par un régulateur et la valeur de consigne peut être modifiée. Les points d'injection sont déterminés au moyen des vannes VK79/80/89S001 et VK83/86/93S001.

Le traitement de « choc » est assuré par deux pompes centrifuges VK71/74D001, la fréquence et la durée des injections sont réglées par un temporisateur (minuterie). La mise en service et l'arrêt des pompes se fait automatiquement. Pendant l'injection de « choc », l'injection « continue » sera interrompue.

Les deux unités de conversion électrique se composent chacune de :

- un transformateur triphasé à sec 12 CT 09 et 34 CT 09 ayant les caractéristiques suivantes :
 - Tension d'alimentation 6.3 KV,
 - Fréquence 50Hz,
 - Puissance normale 800KvA,
- un redresseur au silicium refroidi à air VK50/60D001 ayant les caractéristiques suivantes :
 - Courant continu 3400A,
 - Voltage 180V.

III.5.3. Système de nettoyage des électrolyseurs :

Pendant le fonctionnement les électrodes des cellules s'encrassent de plus en plus. Ces dépôts consistent principalement en hydroxydes et en carbones, qui forment la dureté de l'eau de mer.

Les incrustations sont éliminées périodiquement en les dissolvant dans une solution diluée à 5% d'acide chlorhydrique (HCl), qui est faite circuler à travers les électrolyseurs d'une unité de production au moyen d'une pompe centrifuge VK41D001.

A la fin de cycle de nettoyage, qui se termine après environ 1 heure, la solution d'acide est récupérée dans un réservoir VK40B001. Avant le démarrage, l'unité est soumise à un lavage d'eau de mer pour quelques minutes. La solution acide sa concentration baisse à 2.5%-3%. Cette solution faible peut être reconcentrée à 5% d'HCL par l'addition d'une quantité d'acide chlorhydrique commercial.

IV. Pompes de circulation principale:

L'installation de pompage pour la circulation d'eau de mer pour le refroidissement des condenseurs des quatre (4) turbines de la centrale thermique se compose de 8 groupes de pompage. C'est à dire 2 groupes à 50% (Max 60%) pour chaque turbine (tranche), chacune de ces tranches ayant les mêmes caractéristiques et les mêmes composants suivants (fig.II.18 et fig.II.19):

- 2 pompes principales de type vertical, semi axial à moteur électriques de 6.3 Kv,
- 2 postes de lubrification à l'huile, pourvu de 2 pompes et 2 filtres,
- 2 postes de lubrification à l'eau, pourvu de 2 pompes et 2 filtres,

- 2 vannes papillon pour le sectionnement pompe-conduite avec poste oléodynamique et armoire de commande,
- 2 tuyaux de refoulement à coude,
- 2 joints d'installation,
- 2 tubes courts pour le raccordement vanne papillon-conduite,
- 2 compensateurs,
- tuyauteries intermédiaires pour le raccordement de différentes parties,
- 2 pompes électriques immergées pour l'épuisement des drainages,
- appareillages de contrôle et de protection du système.

La station de pompage est de type ouvert avec moteurs exposés. Toutes les ouvertures prévues pour le démontage des pompes ou des composants sont ouvertes et fermées hermétiquement, pour protéger les pièces au-dessus.

Les composants de chaque groupe de pompe seront rangés aux cotes suivantes :

- les moteurs d'entraînement montés sur basement, à la cote du sol +3.00m,
- les vannes papillons, avec axe, à la cote +1.50m montées sur des basements, à la cote -0.05m,
- les pompes principales s'appuient et sont fixées sur la bague d'ancrage, à la cote -7.700m,
- le plan inférieur de coude d'aspiration se trouve à la cote -9.70m,
- les postes de lubrification des supports combinés sont à la cote -4.50,
- les postes oléodynamiques de commande des vannes papillons sont à la cote -4.50m,
- les groupes de lubrification du support de guide inférieur des pompes principales avec les pompes électriques fixées la cote -7.70m,
- les pompes électriques immergées s'appuient sur le fond du puit à drainage à la cote -11.00m,

Les pompes principales à axe vertical sont de type semi-axial à aubes ajustables. Au milieu de la couronne, trois trous sont prévus pour le goujon d'arrêt et le positionnement après la nouvelle orientation des aubes.

Les données techniques principales sont les suivantes :

- Débit $3.6\text{m}^3/\text{s}$,
- hauteur 13.8m,
- puissance 576.6KW (700KW),
- vitesse 423tpm.

Les courbes caractéristiques de la pompe donnent les changements dans le domaine de fonctionnement (fig.II.20).

Les pompes principales se composent du corps extérieur, en deux parties, et de l'ensemble inférieur comprenant (fig.II.21):

- Le diffuseur,
- Le siège de la roue,
- La couronne,
- L'arbre,
- Le palie de guidage inférieur en caoutchouc,
- L'étanchéité de l'arbre,
- Le joint d'accouplement.

Les éléments constituant la pompe de circulation sont en majorité réalisés avec l'acier inoxydable AISI316L.

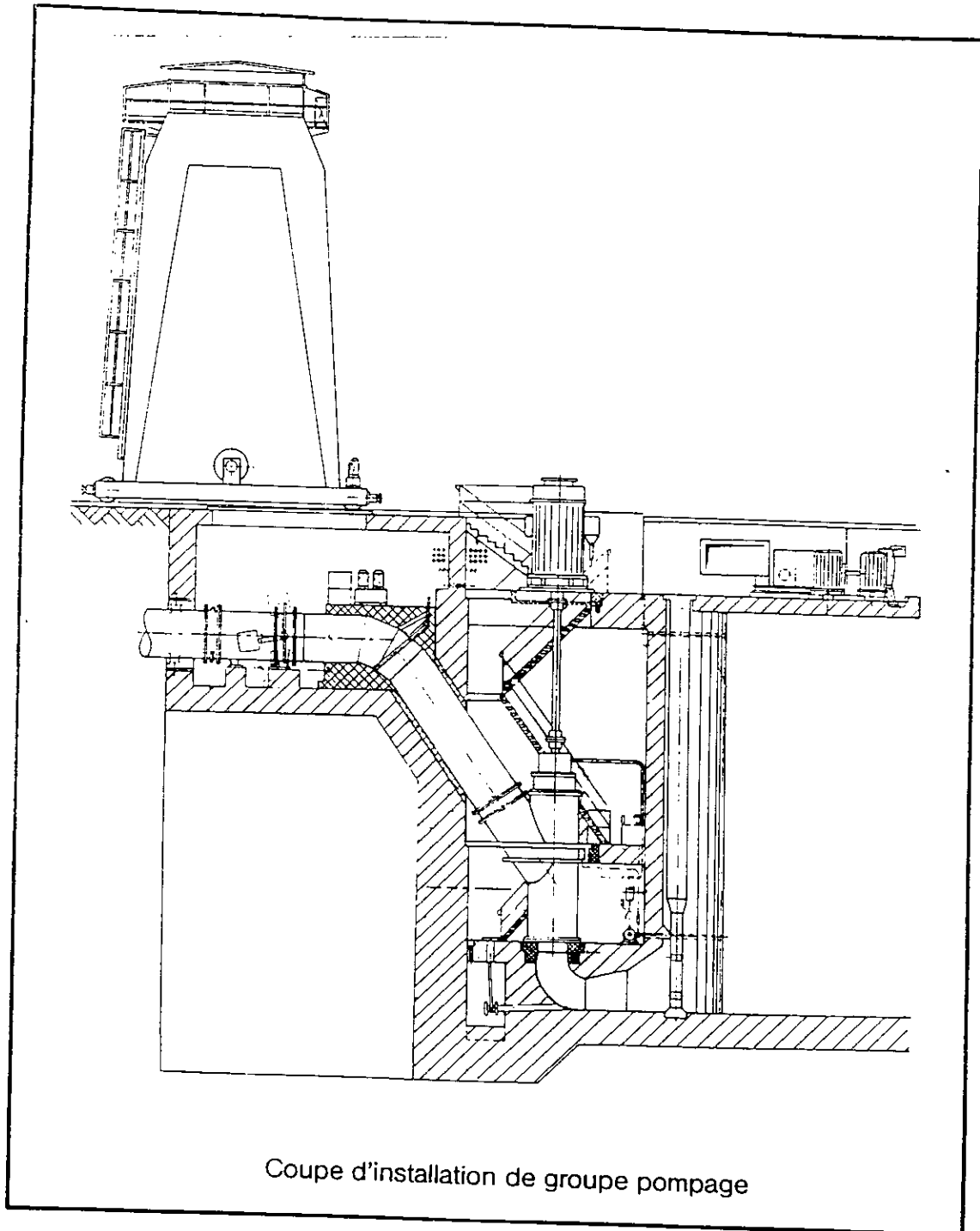


Fig.II.18

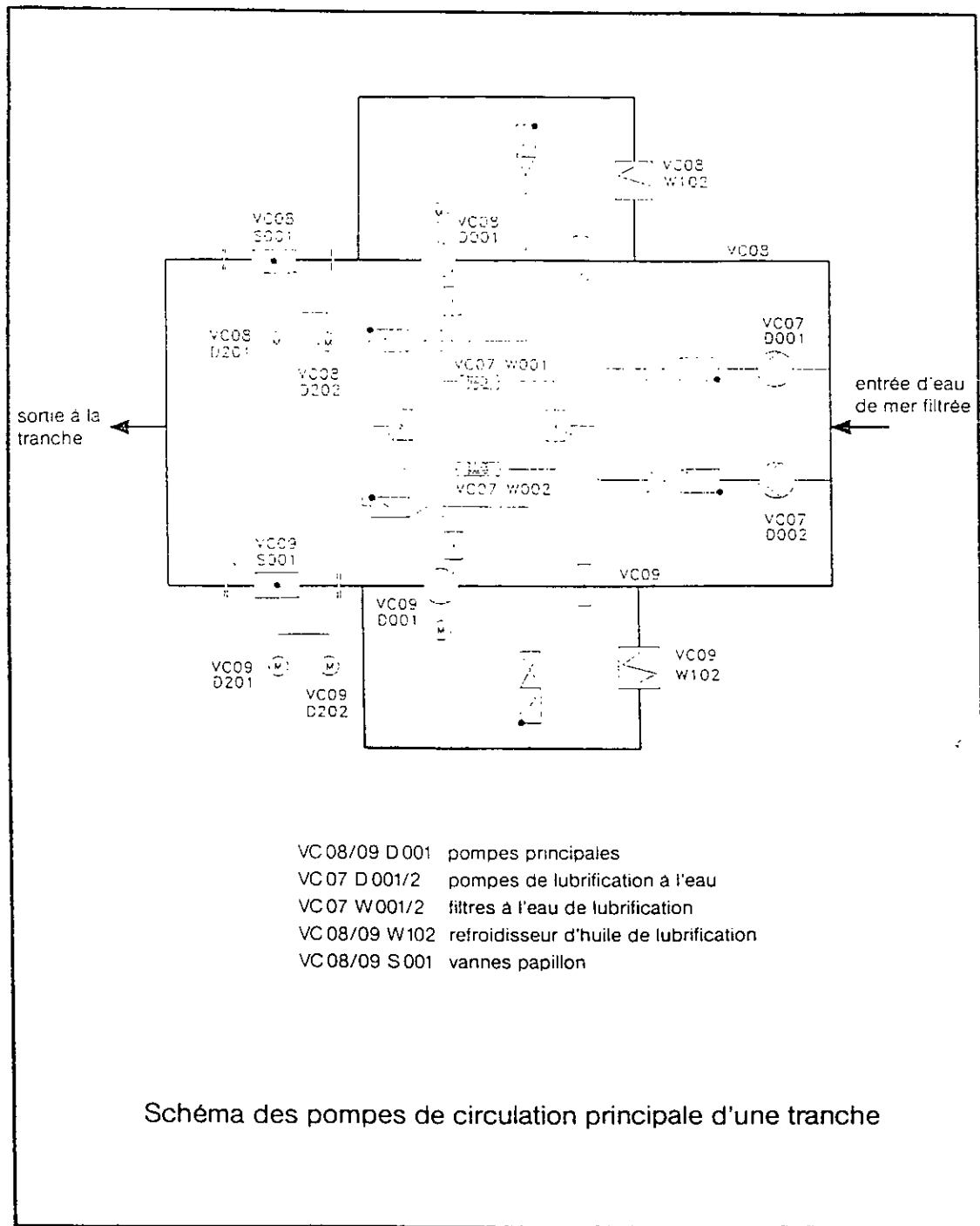


Fig.II.19

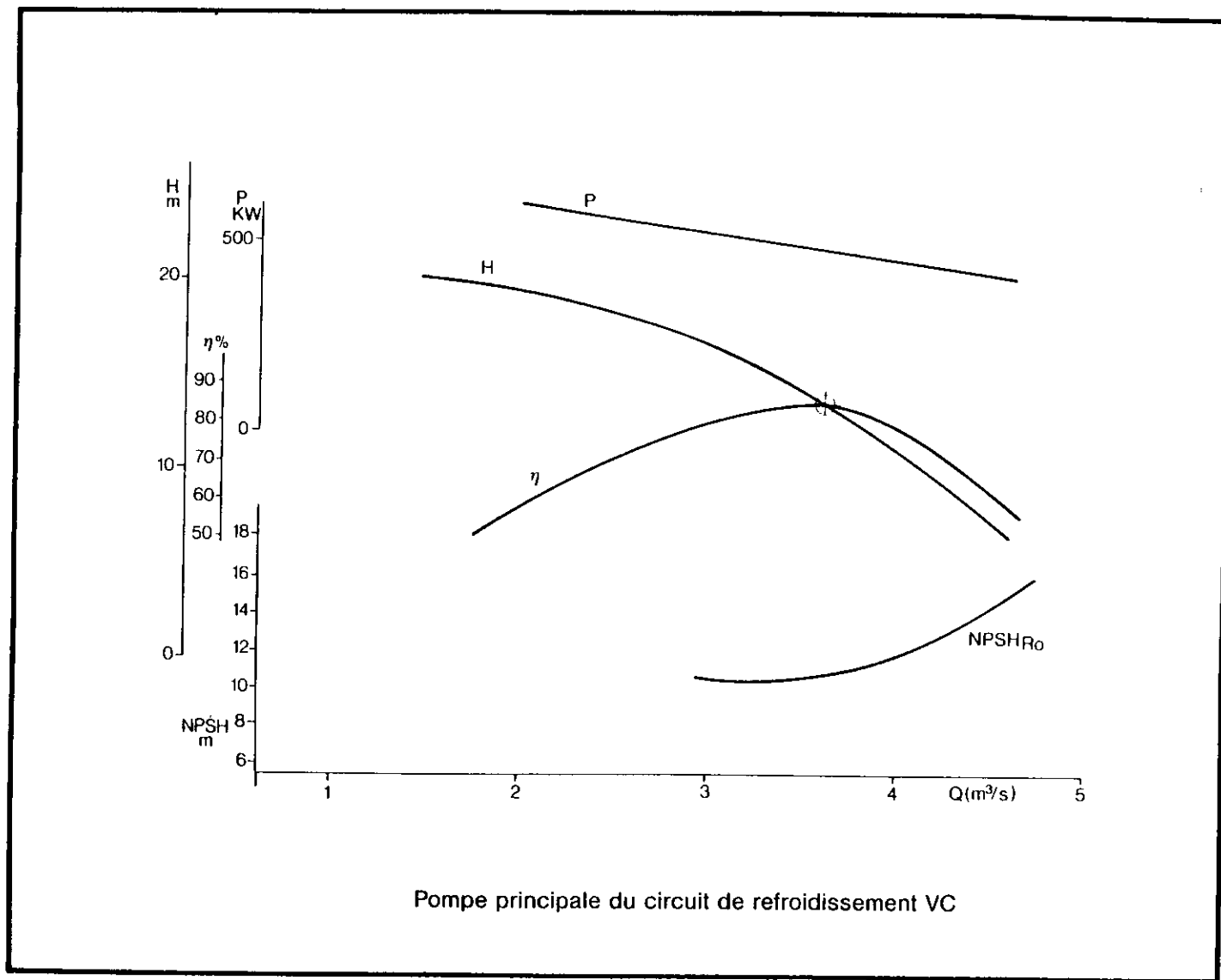


Fig. II.20

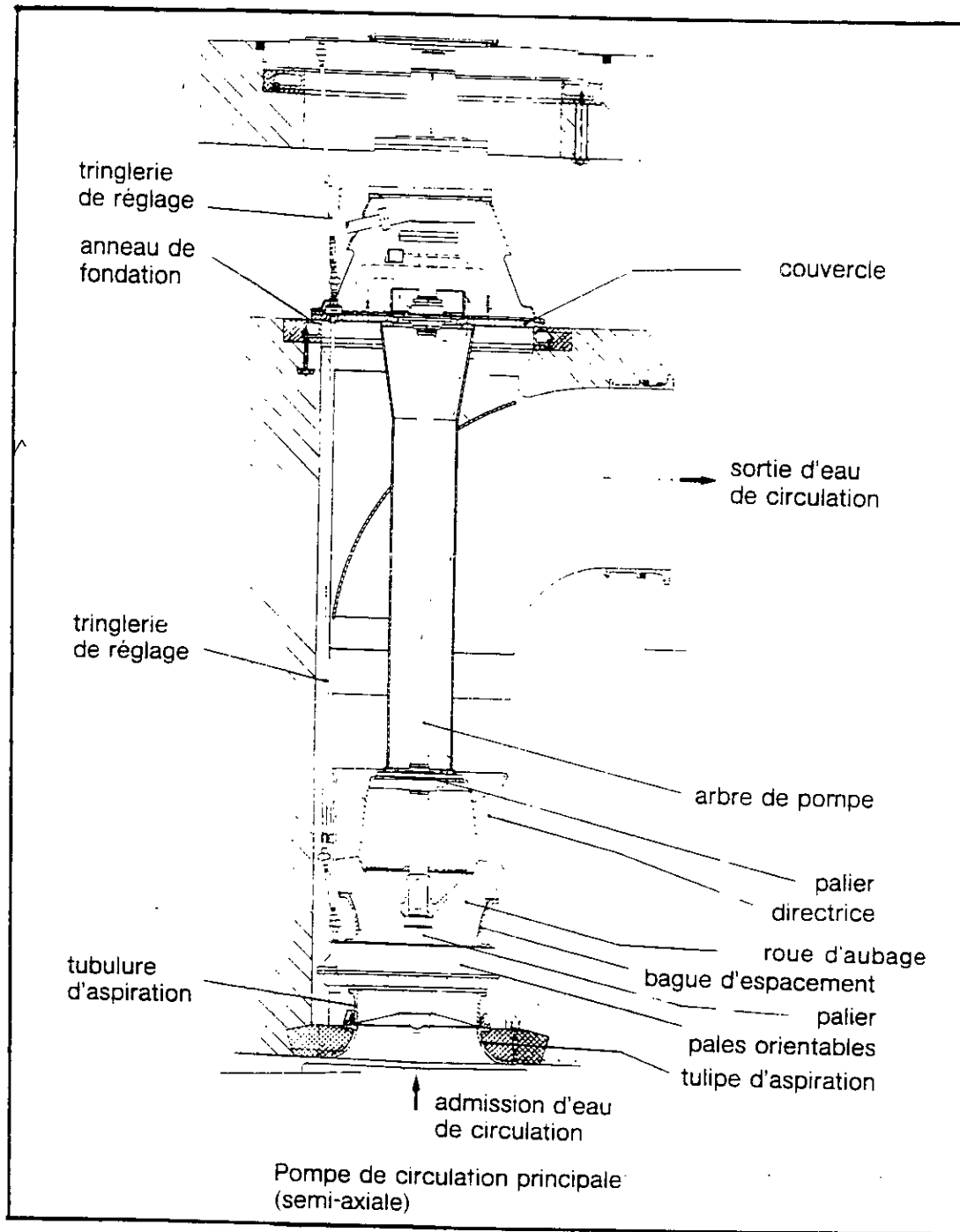


Fig.II.21

IV.1. Les auxiliaires de la pompe :

- Le moteur d'entraînement avec palier et instruments de contrôle,
- Le poste de lubrification du palier combiné (guide et butée),
- Le groupe de lubrification à eau du support guide inférieur de la pompe (un groupe pour les deux pompes de la même tranche),
- Une vanne papillon,
- Un poste oléodynamique pour la commande de la vanne papillon,
- Une armoire de commande de la vanne papillon,
- Une tuyauterie de refoulement en béton armé, avec coude,
- Un joint de dilatation,
- Un compensateur,
- L'instrumentation pour le contrôle et la surveillance.

IV.2. IV.2 fonction de la pompe :

Les deux pompes d'une tranche fonctionnent en parallèle, et débitent dans une tuyauterie commune jusqu'au condenseur. Le fonctionnement avec une seule pompe de circulation est possible, soit avec un seul demi-condenseur, soit avec les deux demi-condenseurs. Dans le cas où le fonctionnement se fait avec tout le condenseur à une seule pompe, le débit d'eau n'est pas suffisant pour la condensation du débit nominal de vapeur, la conséquence est un mauvais vide, et une augmentation de la température de l'eau condensée. Le fonctionnement dans ces conditions est toléré jusqu'à une température de l'eau d'extraction de 48°C.

Dès que l'actionnement du bouton d'arrêt de la pompe, l'ordre de fonctionnement est très rapidement, le disjoncteur s'ouvre et la pompe s'arrête. La fermeture préalable de la vanne papillon empêche l'eau refoulée dans la conduite de revenir brutalement sur la pompe et de le faire tourner en sens inverse.

V. Circuit de circulation de l'eau de mer (VC):

Le circuit d'eau de circulation principale VC sert principalement à l'évacuation de la chaleur résiduelle produite par la condensation de vapeur dans le condenseur.

Comme en ce qui concerne Ras Djinet, l'eau de mer est en quantité suffisante, le procédé refroidissement en circuit ouvert a été retenu. Le principe est le suivant : l'eau de circulation est pompée de la mer, puis refoulée au-travers des condenseurs et ensuite rejetée dans la mer par le canal de rejet (fig.II.22).

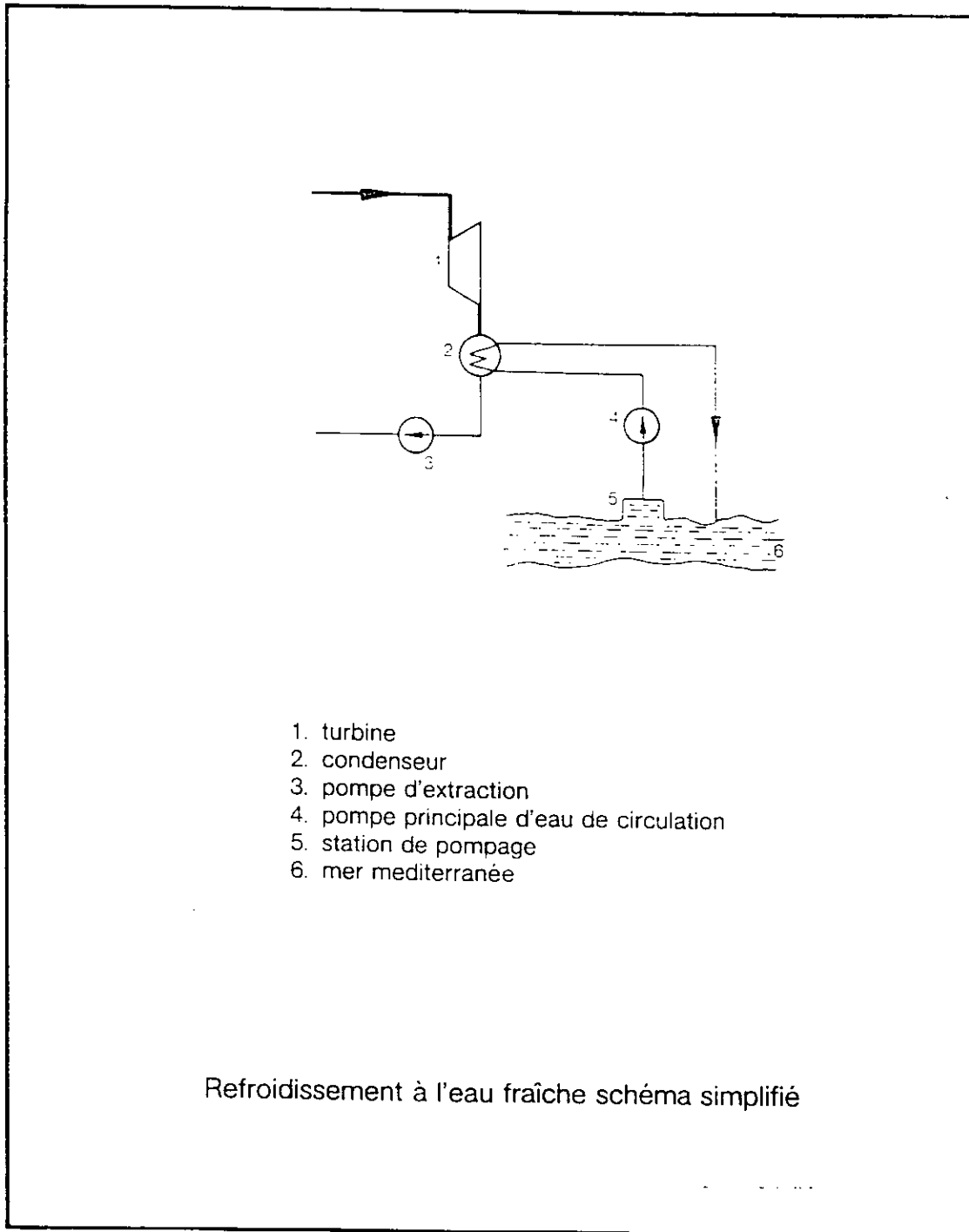
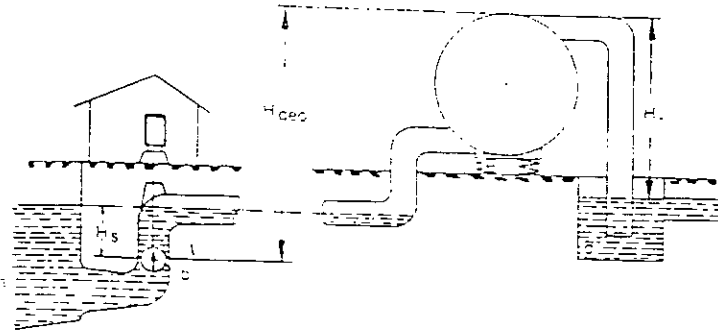


Fig.II.22



- a mer méditerranée, galerie d'aspiration
- b pompe principale d'eau de circulation
- c condenseur
- d réservoir du syphon
- H_{geo} hauteur géodétique
- H_k hauteur du syphon
- H_s hauteur d'aspiration

Systeme en syphon

Fig.II.23

La quantité de vapeur M_D en (kg/h) avant la condensation de capacité thermique h_D (kj/kg) et de température T_V est refroidie par une quantité d'eau de mer M_w en (kg/h) de masse volumique ρ_m de 1030Kg/m^3 et d'une chaleur massique C_p qui pénètre dans le condenseur avec un température T_E et en ressorte avec une température T_A . Cette quantité de vapeur en tant que condensât à la température T_K et une capacité thermique h_K en (kj/kg).

La quantité d'eau de circulation nécessaire pour le refroidissement peut se chiffrer de la manière suivante :

“ La quantité de chaleur absorbée par l'eau de mer est égale à celle qui est cédée par la vapeur “

- La quantité de chaleur cédée par la vapeur est $q_C = M_D \cdot (h_D - h_K)$,
- La quantité de chaleur absorbée par l'eau de mer est $q_A = M_w \cdot C_p \cdot (T_A - T_E)$

$$q_C = q_A$$

$$M_D \cdot (h_D - h_K) = M_w \cdot C_p \cdot (T_A - T_E)$$

$$M_w = \frac{M_D \cdot (h_D - h_K)}{C_p \cdot (T_A - T_E)} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

$$Q_w = \frac{M_w}{\rho_{mer}} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Le réchauffement de l'eau de circulation $T_A - T_E$ est d'environ 8°C .

Afin de réduire la chaleur requise, l'eau sort du condenseur, va être amenée au déversoir dans une tuyauterie qui plonge dans celui-ci. Le niveau dans le déversoir va être régularisé au moyen d'un seuil basé sur un effet de siphon maximal (fig.II.23). Du déversoir, l'eau de circulation retourne dans la mer avec une légère déclivité.

La hauteur manométrique de refoulement des pompes H_M est obtenue ainsi :

$$H_M = H_{geo} + h_w \pm h_s + H_{siphon}$$

Avec :

H_{geo} : Hauteur géométrique de refoulement,

h_s Hauteur d'aspiration,

h_w Perte de charge de circuit,

H_{siphon} Hauteur de siphon,

Le circuit d'eau de circulation principale comprend : le système de refroidissement à deux parcours du condenseur de chaque tranche, les réfrigérants noria et les réfrigérants d'été, les deux pompes de circulation principale, la conduite d'arrivée à la salle des machines et la conduite de sortie de la salle des machines, ainsi que le déversoir.

L'eau de mer nettoyée mécaniquement afflue à travers les canaux d'arrivée VC08 et VC09 aux deux pompes de circulation principale. Les deux pompes pour lubrification à l'eau de mer, aspirent des conduites d'arrivée VC08/09 l'eau qui alimente après un nouveau filtrage fin les paliers inférieurs des pompes. Lors d'une panne du système de lubrification à, l'eau de mer, les paliers des pompes peuvent aussi être desservis temporairement au moyen des conduites retour des tubulures de refoulement des pompes principales aux réfrigérants à huile.

En aval des tubulures de refoulement des pompes de circulation principale, l'eau réfrigérant passe à travers les deux vannes de démarrages commandés électro-hydrauliquement. Les tuyauteries de refoulement VC08 et VC 09 se rejoignent pour former conduite d'arrivée vc10

La conduite d'arrivée vc10 mène l'eau filtrée de la station de pompage à la salle des machines. Là, le flux d'eau de circulation se répartit sur les deux moitiés du condenseur, qui vont chacune être desservies par leurs propre conduite d'arrivée VC11 et VC12.

Avant les clapets d'arrivée motorisés est prévu un dosage de chlore dans les conduites (dosage de choc avec 5ppm). La capacité du circuit s'élève à 11700m³/h par moitié de condenseur. Avant l'entrée dans le condenseur elle est précédée à une analyse de la teneur en chlore, dont les valeurs mesurées s'inscrivent en salle de commande. Sur les conduites d'arrivées sont posées les soupapes de vidange du condenseur VC11S001/2 et VC12S001/2. Les mesures de température et de pression différentielle de l'eau réfrigérante sont coordonnées au condenseur.

L'eau de circulation quitte le condenseur par les conduites sorties VC21 et VC 22 munies des clapets de sortie motorisés VC21S001et VC22S001. Ces conduites débouchent dans la canalisation commune de retour VC20 vers le déversoir.

Pour le nettoyage du système avec de l'eau douce, les prises d'eau de rinçage équipé des organes d'arrêt VC21S003 et VC21S004, VC22S004 et VC22S003 sont prévues. L'eau de rinçage est prélevée du système d'extinction d'incendie. Aux points les plus hauts du circuit d'eau de refroidissement au condenseur se raccordent les conduites d'aspiration d'air et celle de ventilation. Les conduites d'aspiration sont reliées par un vase à vide à 2 pompes à vide, pompes qui aspirent l'air qui se trouve dans les tuyauteries.

Dans les conduites aller et les conduites retour du condenseur sont prévues des pièces d'ajustage, afin de permettre la pose de ultérieure filtres à coquilles et l'installation d'un appareil de nettoyage de condenseur TAPROGGE. Les conduites aller et retour du condenseur sont reliées par les conduites de vidange rapide VC13 et VC14. En fonction normale, les vannes d'arrêt motorisées de ces conduites, VC13S001et VC14S001 sont verrouillées. La fin de la vidange est vérifiée localement par des regards VC13S002et VC14S002.

Les piques VC31 et VC 32 sur les conduites d'arrivées au condenseurs VC11 et VC12 prélèvent chacun une quantité de 945m³ pour le refroidissement des réfrigérants NORIA VC33S001 et VC34S001 et pour les réfrigérants d'été VC53S001 et VC54S001. Les réfrigérants sont montés en parallèle avec les condenseurs et fonctionnent sans pompes supplémentaires. Les clapets de réglages motorisés VC21S003et VC21S003 sont installés aux embranchements.

Les réfrigérants d'été sont alimentés par les conduites VC50, 51, 52,53 et 54 avec 430m³ d'eau de mer du circuit secondaire.

Les réfrigérants NORIA sont des échangeurs de chaleur. Ils desservent le circuit intermédiaire de refroidissement à l'eau déminéralisée (NORIA) VC. Il s'agit d'un appareil à tubes rectiligne mandrinés en titane, dans les plaques tubulaires en métal résistant à la corrosion. L'eau de mer pénètre dans la boîte à eau d'entrée, qui est entièrement caoutchouté, passe par les tubes et quitte l'échangeur de chaleur par la boîte à eau de sortie. L'eau déminéralisée à refroidir arrive radialement dans l'enveloppe du réfrigérant NORIA, se refroidit en baignant les tubes, et quitte l'appareil par la tubulaire radiale. Les conduites sortie VC40, 41, 42,43et44 dirigent l'eau de mer réchauffée vers le tube rejet VC20. Normalement un des réfrigérants NORIA se trouve en réserve. Il est isolé par les clapets VC33S003 et VC34S003 à l'arrivée et VC41S001 et VC42S001 à la sortie.

La vidange côté eau de mer a lieu au moyen des vannes VC33S004. Les soupapes VC42S003 se trouvent à l'endroit le plus haut de la réfrigération et servent à la purge d'air.

Si la pression côté tube vient à dépasser la pression de 4.5 bar, la réduction de pression peut ainsi avoir lieu grâce aux soupapes de sûreté VC33S002 et VC 34S002.

Moyennant l'organe anti-retour VC33S004, le système de réfrigération NORIA est en relation avec l'installation d'extinction d'incendie. Grâce à cette correspondance ainsi qu'aux conduites de raccordement équipées des vannes d'arrêt VC41S002 et VC42S002 le système peut être rincé à l'eau fraîche.

Lors d'une défaillance du circuit d'eau de circulation, les réfrigérants NORIA peuvent être alimentés avec de l'eau d'incendie au moyen de prise d'eau de rinçage et des conduites de raccordement munies de vannes d'arrêt VC33S002 et VC34S002.

La vidange côté eau de mer a lieu au moyen des vannes VC33S001-VC41S004 et VC34S001-VC42S004. Les soupapes VC41S003 et VC42S003 se trouvent à l'endroit le plus haut du réfrigérant et servent à la purge d'air.

Aux points les plus hauts du système se joignent les conduites aspiration d'air par lesquelles l'air produit dans les tuyauteries est aspiré. Ceci est nécessaire, d'une part pour obtenir un maintien de la fonction de siphon et d'autre part pour éviter des poches d'air dans les échangeurs de chaleur. Les deux moitiés du condenseur sont désaérées côté sortie par les conduites VC01 et VC02 munies des électrovannes VC01S001, VC01S002 et VC02S001, VC02S002.

Le système VC n'a aucune commande sauf les mécanismes d'enclenchement et de déclenchement des pompes à vide commandés par le niveau dans le réservoir à vide.

Si l'eau de mer pénètre dans une moitié du condenseur, des sondes de conductibilité déclenchent l'alarme et il faut alors mettre en marche manuellement le contrôle «vidange rapide» VC11U001 et VC12U001. La voie correspondante est alors fermée côté désaériage. La ventilation et la vidange rapide sont ouvertes.

Avant de mettre en service la pompe de circulation principale, le circuit aval doit être libéré manuellement.

VI. **Circuit de réfrigération intermédiaire (VG) :**

Ce système sert à refroidir les consommateurs suivants :

- Réfrigérants d'huile de turbine,
- Réfrigérants d'huile d'étanchéité,
- Réfrigérants de l'excitatrice,
- Enveloppes réfrigérantes de la caméra vidéo,
- Réfrigérations des pompes alimentaires (il s'agit des garnitures mécaniques et des réfrigérants d'huile de commande),
- Réfrigérants de prélèvement d'échantillons,
- Réfrigérants de ventilateur de recirculation,
- Réfrigérants d'air des compresseurs.

Le milieu réfrigérant est de l'eau totalement déminéralisée, qui est, selon le besoin, automatiquement réalimentée depuis le système UD (alimentation en eau déminéralisée).

Les composants principaux du système VG sont les trois pompes NORIA, le réservoir surélevé NORIA, les réfrigérants NORIA, ceux-ci sont associés au circuit principal d'eau de circulation VC et les consommateurs nommés ci-dessus.

Chapitre III :

Exploitation du circuit

CHAPITRE III

Exploitation du circuit

I. INTRODUCTION

L'histoire du développement industriel s'est construite en partenariat avec l'eau. Les usages de l'eau sont extrêmement variés dans l'industrie en général, ce qui entraîne des contraintes de qualité très diverses, de la vaporisation ou de l'échange thermique...

De toutes les substances, c'est l'eau qui présente l'enthalpie de vaporisation la plus élevée et si cette caractéristique constituait le seul critère déterminant dans le choix d'un fluide frigorigène, c'est bien l'eau qui serait le plus approprié.

II. Besoin en eau de refroidissement :

La perte la plus importante d'une centrale à vapeur reste toujours la perte au condenseur, qui présente d'ailleurs un autre aspect néfaste, puisqu'elle entraîne comme conséquence la nécessité de faire circuler dans celui-ci une grande quantité d'eau. Celle-ci est déterminée en fonction de la chute d'enthalpie dans la turbine.

La quantité de vapeur M_D en (kg/h) avant la condensation de capacité thermique h_D (kJ/kg) et de température T_V est refroidie par une quantité d'eau de mer M_w en (kg/h) de masse volumique ρ_m de 1030 Kg/m^3 et d'une chaleur massique C_p de 4.1855 Kj/Kg.K qui pénètre dans le condenseur avec une température T_E et en ressort avec une température T_A . Cette quantité de vapeur en tant que condensât à la température T_K et une capacité thermique h_K en (kJ/kg).

La quantité d'eau de circulation nécessaire pour le refroidissement peut se chiffrer de la manière suivante :

“ La quantité de chaleur absorbée par l'eau de mer est égale à celle qui est cédée par la vapeur ”

• La quantité de chaleur cédée par la vapeur est $q_c = M_D \cdot (h_D - h_K)$,

• La quantité de chaleur absorbée par l'eau de mer est $q_a = M_w \cdot C_p \cdot (T_A - T_E)$

$$q_c = q_a$$

$$M_D \cdot (h_D - h_K) = M_w \cdot C_p \cdot (T_A - T_E)$$

$$M_w = \frac{M_D \cdot (h_D - h_K)}{C_p \cdot (T_A - T_E)} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

$$Q_w = \frac{M_w}{\rho_{mer}} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Q_w : Débit d'eau de mer.

Le réchauffement de l'eau de circulation $T_A - T_E$ est d'environ 8°C .

D'après le diagramme thermique de la centrale (annexe IV) on a les données suivantes :

Les données :**a) A l'échappement de turbine basse pression (avant la condensation) :**

$$\begin{aligned}M_D &= 98.25 \text{ kg/s,} \\h_D &= 2664.8 \text{ kJ/kg,} \\P_V &= 0.05 \text{ bar,} \\T_V &= 33^\circ\text{C.}\end{aligned}$$

b) Au condenseur (après la condensation) :

$$\begin{aligned}M_D' &= 114.415 \text{ kg/s,} \\h_D' &= 137.80 \text{ kJ/kg,} \\P_V' &= 0.05 \text{ bar,} \\T_V' &= 32.9^\circ\text{C.}\end{aligned}$$

AN:

$$M_w = \frac{98.25 \times (2664.8 - 137.80)}{4.1855 \times 8} = 7414.82 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

$$Q_w = \frac{7414.82}{1030} \approx 7.2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Le débit de chaque groupe est de 7.2 m³/s.

III. description de circuit de refroidissement :

L'exploitation d'une centrale thermique à grande puissance demande pour réduire la chaleur résiduelle une importantes quantités d'eau de refroidissement. Dans le cas de RAS DJINET, le besoin s'élève à 30m³/s environ.

Cette eau est prélevée de la Méditerranée à 7m de profondeur. La prise d'eau est située à 900m de la côte. L'amenée de la prise d'eau à la station de pompage se fait par trois (3) conduites en béton résiste à l'eau de mer de $\Phi 2700\text{mm}$.

Après un nettoyage mécanique dans la station de pompage, l'eau passe par le circuit principal, les condenseurs, les réfrigérant pour y dissiper la chaleur qui représente de l'énergie perdue. L'eau est ensuite rejetée dans la mer par l'intermédiaire d'un canal de rejet.

Les figures (III : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8et9) sur lesquelles est représentée le circuit de refroidissement de la centrale de RAS DJINET (tranche4), on peut avoir l'ensemble des ouvrages et équipement concernés par le circuit de circulation depuis la prise d'eau immergée dans le lit de la mer jusqu'à l'ouvrage de rejet en traversant :

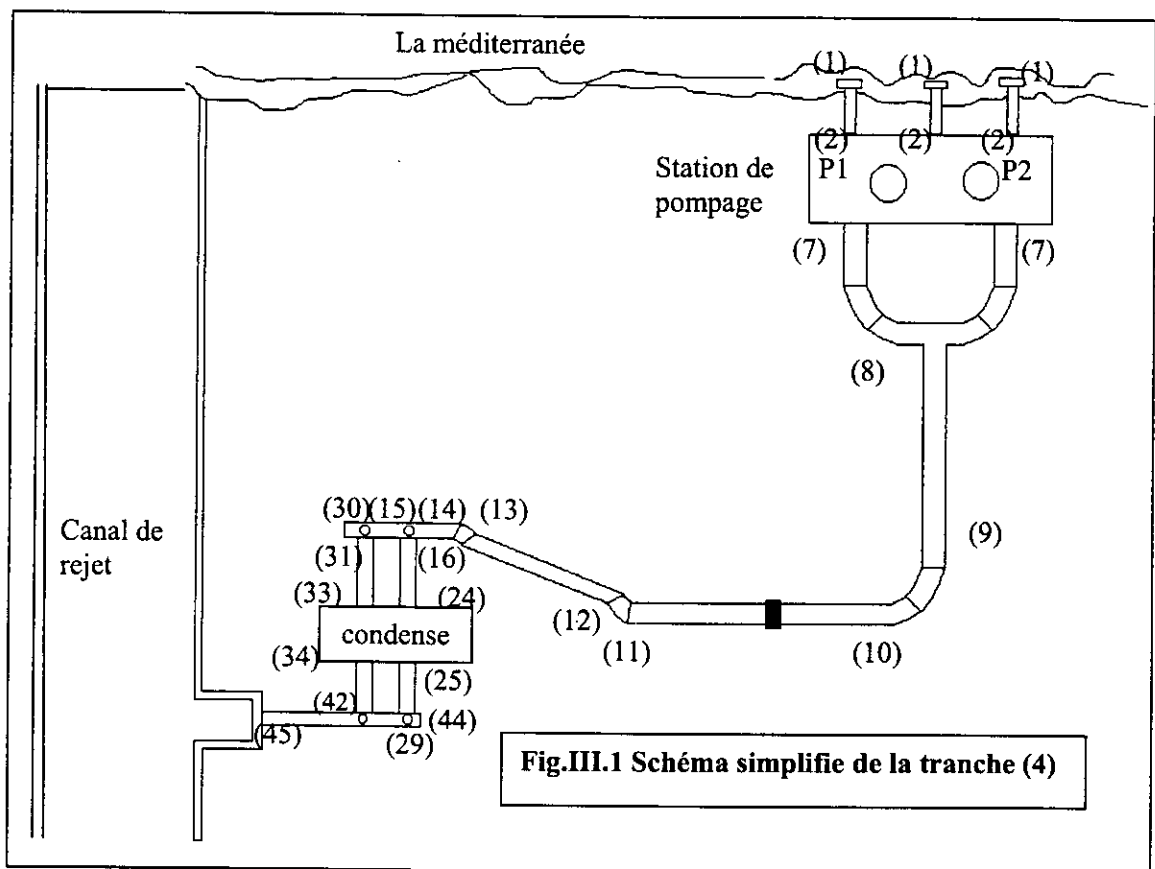
- les conduites gravitaires d'amenée en béton de la société des tuyaux BONNA de diamètre nominal DN2700mm et de longueur L=900m dont l'axe est à la côte (-7.65m) et transporte l'eau de mer de masse volumique de $\rho=1030 \text{ kg/m}^3$ et de viscosité v de $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à une température de 22°C.
- le bassin de réception sur le quel le niveau d'eau reste constant à une côte de +0.0m et peut atteindre un niveau minimal de (-4.5m) par rapport au niveau de la mer. le rétrécissement en A occasionne une perte de charge de coefficient K_A et l'élargissement brusque en B d'une perte de charge de charge de coefficient K_B à l'entrée de réception.
- la station de pompage qui est devisée en quatre(4) chambres, chacune comporte deux pompes identiques dont les conduites d'aspiration sont en béton de section variable dans chaque tronçon (c : convergeant de section d'entrée de $2.2 \times 2.5 \text{ m}^2$ et section de sortie de $1.6 \times 1.2 \text{ m}^2$; d : convergeant de section d'entrée de $1.6 \times 1.2 \text{ m}^2$ et section de sortie de $1 \times 1 \text{ m}^2$; E : coude de rayon de courbure de $R_0 = 1.2 \text{ DN}$ avec

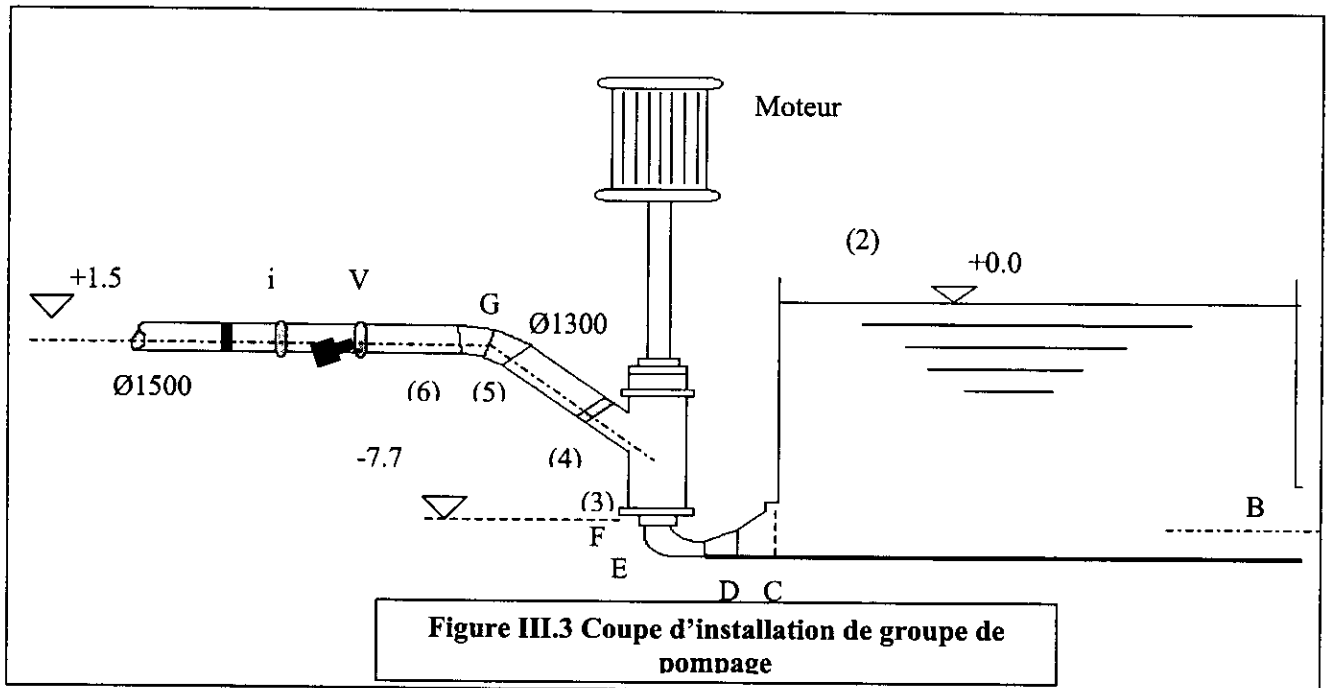
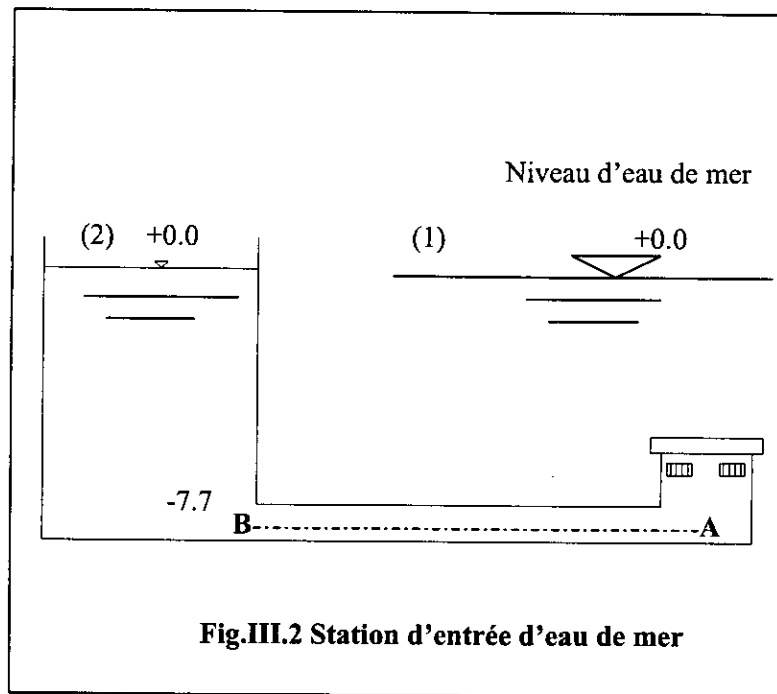
DN1000 et d'une angle $\theta=90$; F : un cône de diamètre DN1000/800 et de longueur $l=0.30$ m).

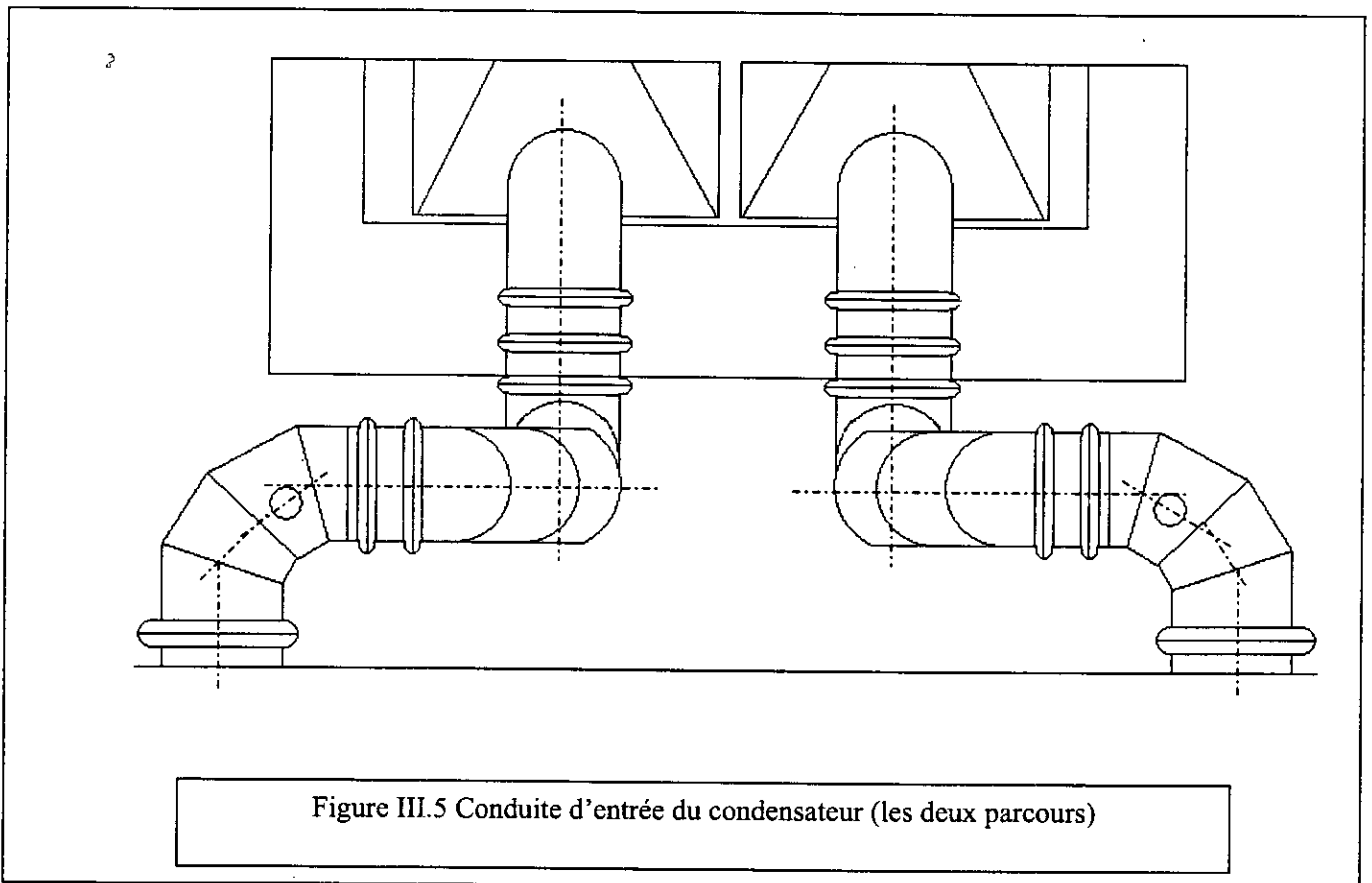
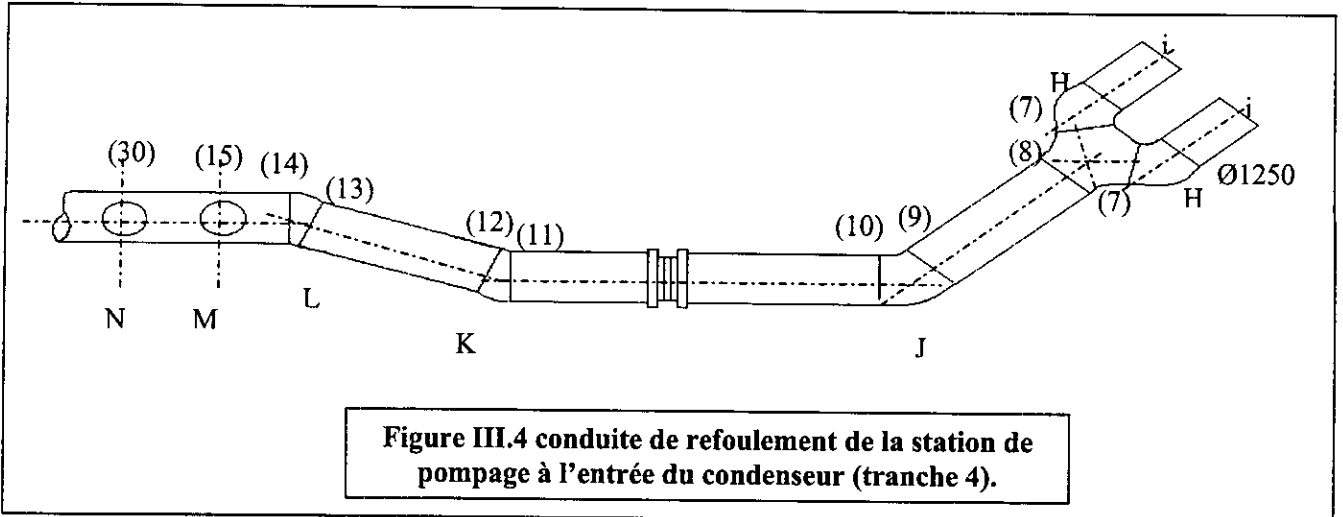
La sortie de chaque pompe équipée en DN13000 d'une vanne papillon complètement ouverte et un clapet dont le coefficient de perte de charge singulière est K_v , un joint de raccordement de deux tronçons de diamètre $\Phi 1250$, $\Phi 1300$ occasionne une perte de charge de coefficient K_l et d'un coude en T de raccordement qui rejoint les deux tronçon de diamètre $\Phi 1250$ à une conduite de diamètre $\Phi 1800$ sur laquelle est implanté le condenseur.

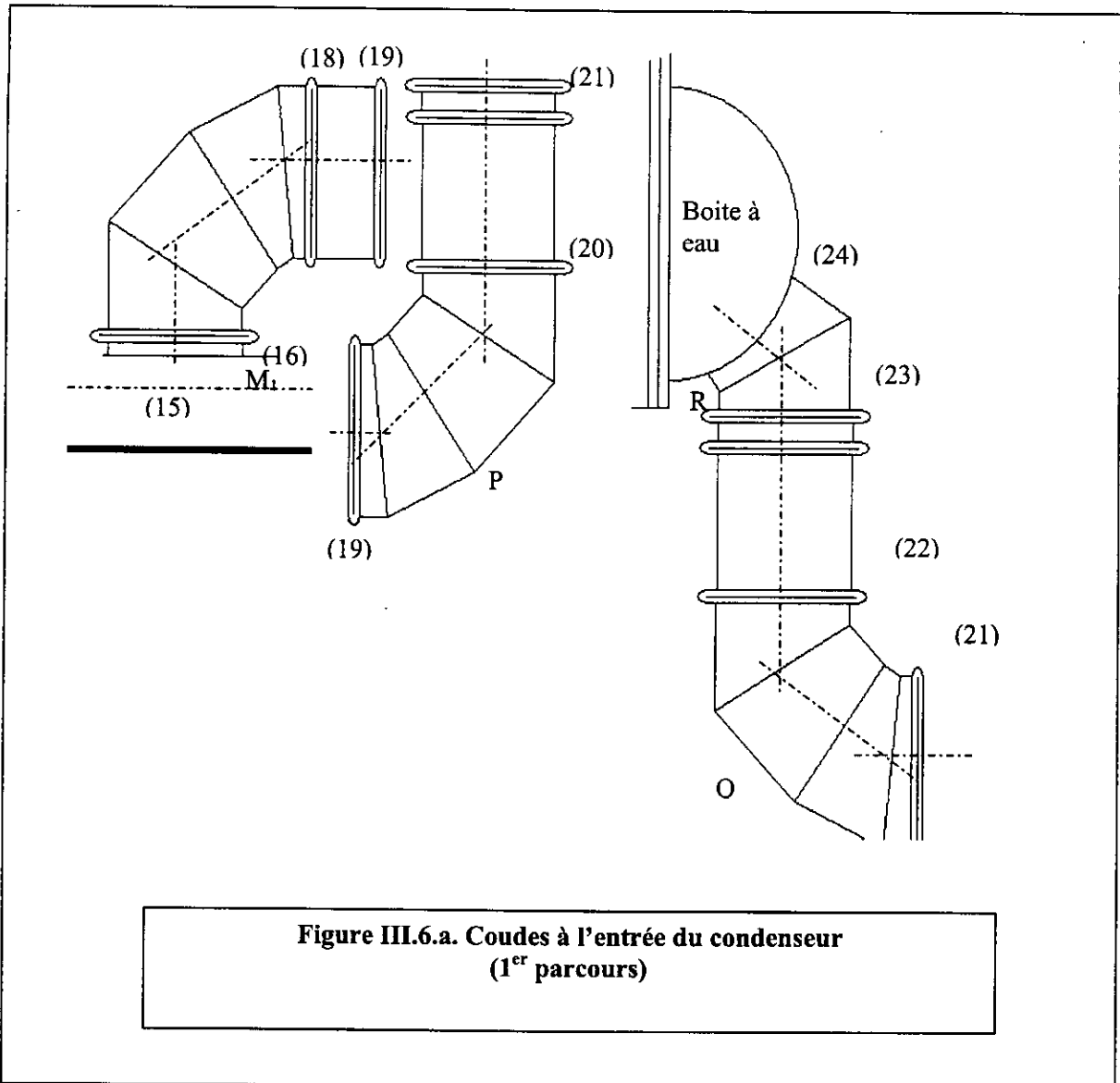
En aval du condenseur, les conduites de circulation principale comportes des coudes de différents rayons de courbure R_0 et différents angles θ .

Les conduites de retour débouchent chacune dans un déversoir d'une hauteur de lame de (+4.71m) au dessus du niveau de la mer. Ces déversoirs ont un seuil de 3.5m servant à maintenir d'un niveau constant et par laquelle le trop-plein se déverse dans le canal collecteur de retour et est dirigée près de la côte dans la mer.

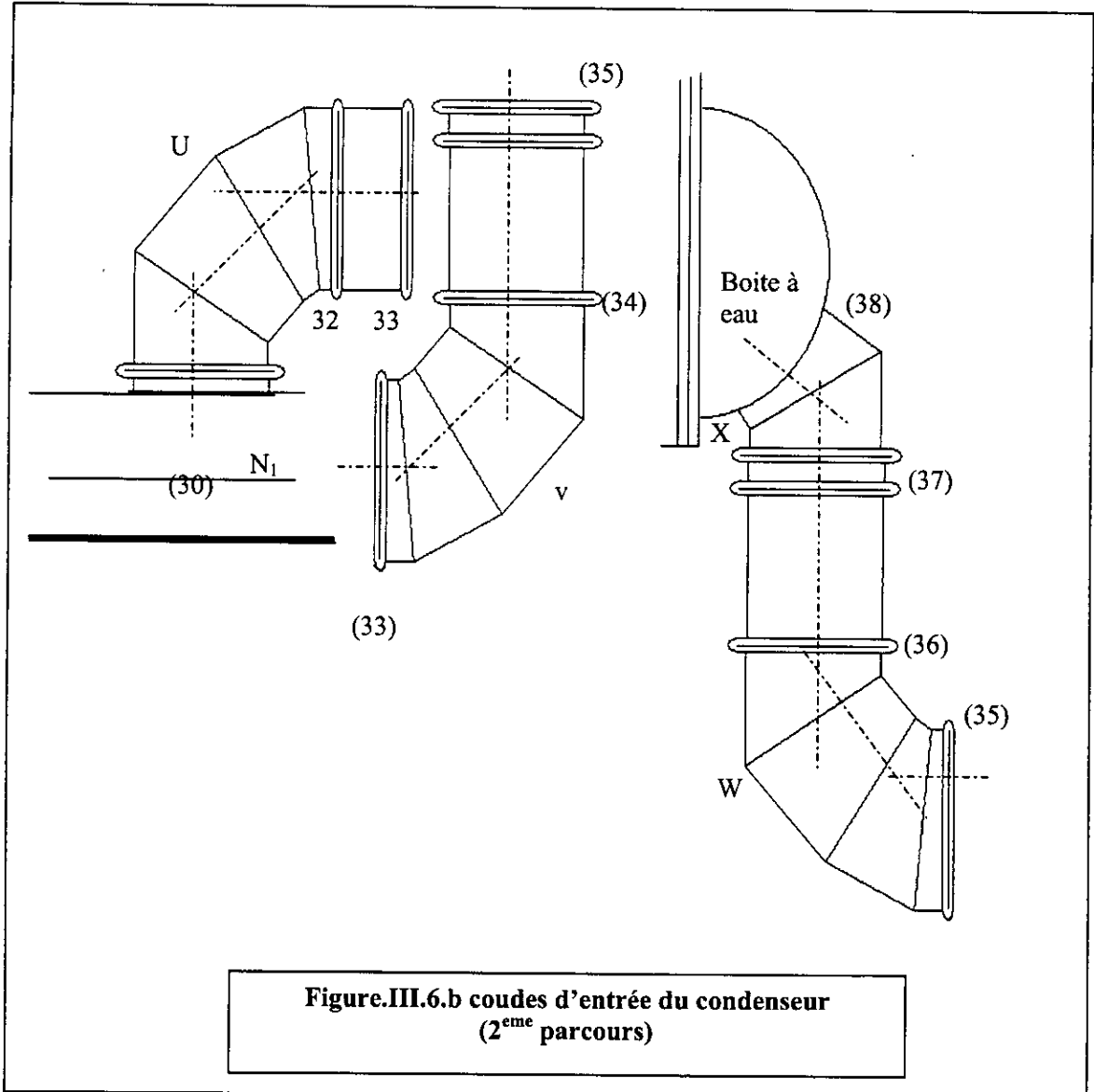




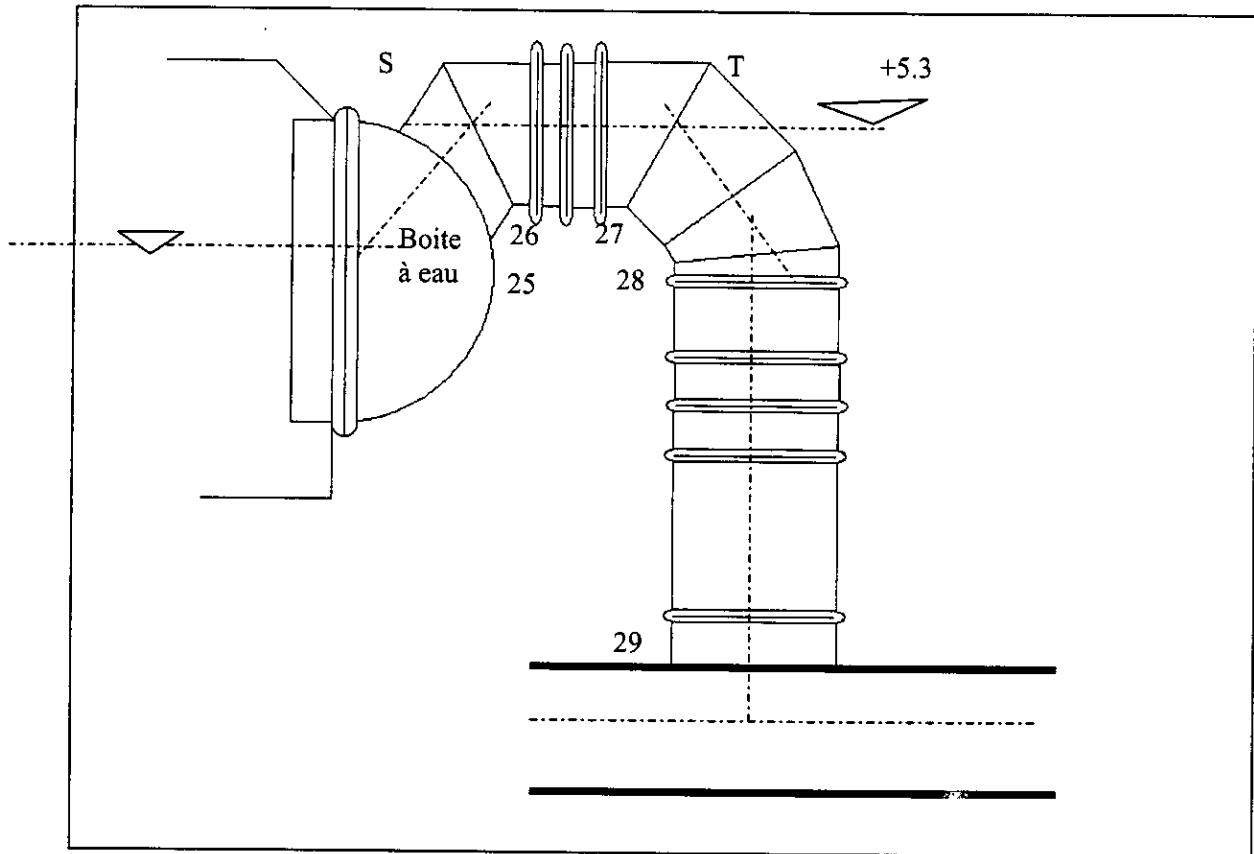




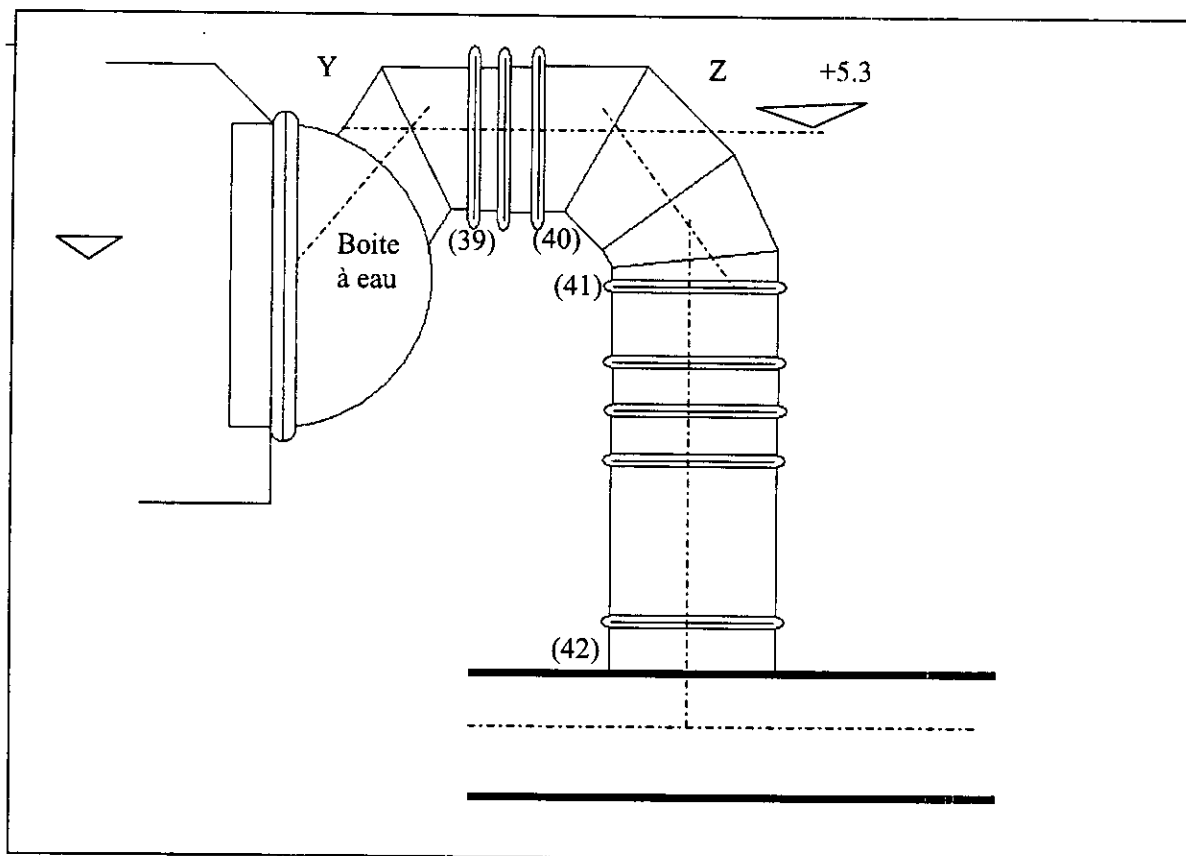
**Figure III.6.a. Coudes à l'entrée du condenseur
(1^{er} parcours)**



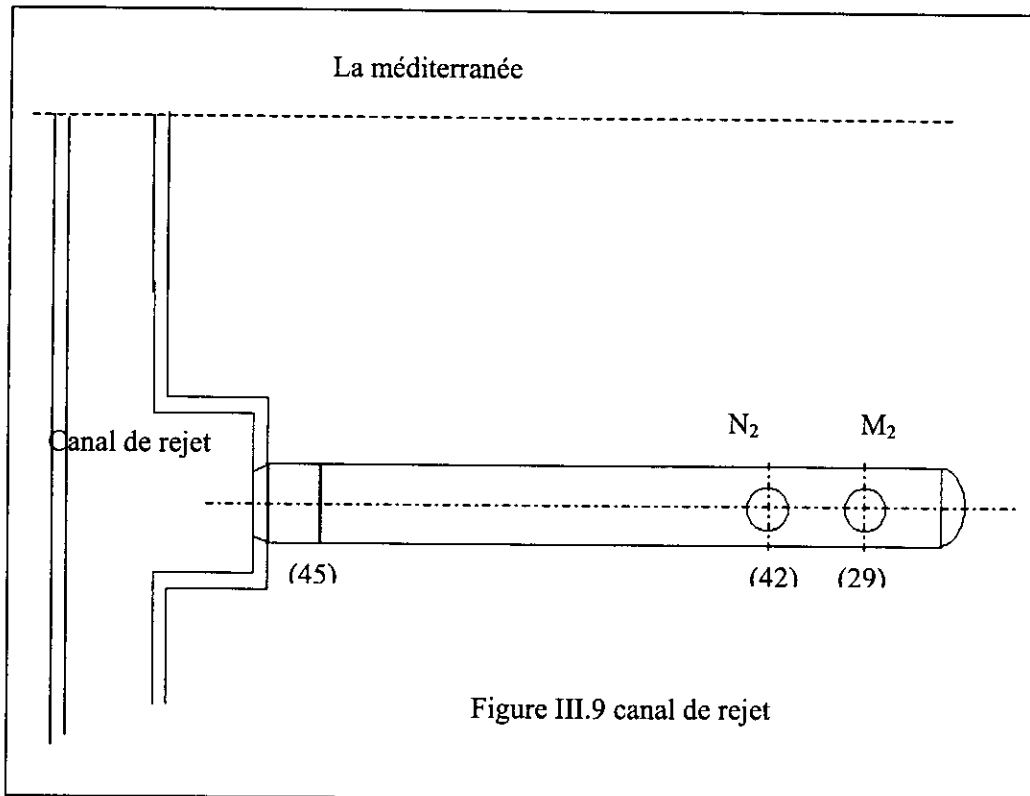
**Figure.III.6.b coudes d'entrée du condenseur
(2^{ème} parcours)**



**Figure III.7 conduite de sortie du condenseur
(1^{er} parcours)**



**Figure III.8 conduite de sortie du condenseur
(2^{eme} parcours)**



IV. Calcul de débit Q_g de chaque conduite d'amenée:

D'après la figure III.2, l'eau part du point (1) à la surface de l'eau de mer et par l'intermédiaire de la conduite d'amenée arrive au point (2) à la surface de l'eau dans le réservoir de réception.

Si le niveau d'eau reste constant dans le réservoir, c'est-à-dire que le débit gravitaire qui arrive est égal au débit refoulé qui part.

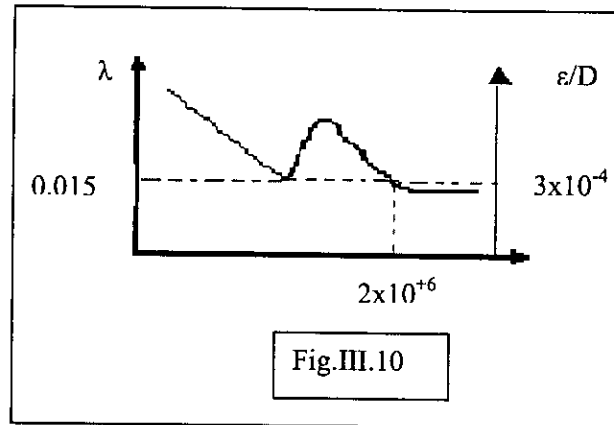
Nous allons calculer le débit à l'aide de la conduite gravitaire.

Appliquons le théorème de Bernoulli entre (1) et (2) en faisant l'hypothèse que le régime d'écoulement est turbulent et nous le vérifions par la suite.

λ est une constante qui ne dépend que de ε / D .

La conduite gravitaire est usée de rugosité $\varepsilon = 0.8\text{mm}$,

D'où $\varepsilon / D = 0.8/2700 \approx 2,962 \times 10^{-4}$ et nous aurons d'après la courbe de COLEBROK (Annexe I)



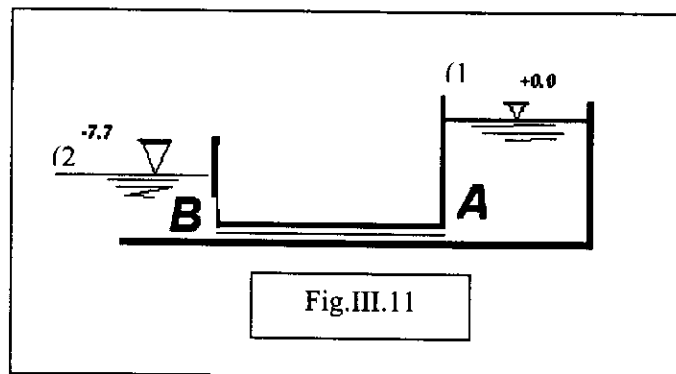
$\lambda=0.015$ si $IR_e > 2.10^6$.

C'est donc cette condition que nous devons vérifier lorsque nous aurons calculé le débit en utilisant $\lambda=0.015$.

La centrale a besoin d'une quantité d'eau de refroidissement d'environ $30 \text{ m}^3/\text{s}$, qui est amenée par trois conduites identiques de diamètre de 2700mm , donc nous devons maintenant vérifier la possibilité d'avoir un débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ par chacune.

IV. Possibilité du débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ d'une conduite d'amenée:

Le débit maximal possible est le débit de la conduite gravitaire. Imaginons que cette conduite arrive à un réservoir où la cote serait à -7.70m (la cote équivalant à la cote de la pompe principale) figure III.11.



Appliquons le théorème de Bernoulli avec charge moyenne entre les points (1) et (2):

$$H_1 = \alpha \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1$$

$$H_2 = \alpha \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2$$

Avec : $v_1=0$; $P_1=P_{atm}$; $v_2=0$; $P_2=P_{at}$.

Pour un écoulement dans les canalisations de diamètre supérieur à 1m , nous aurons $\alpha \approx 1.02$, on prend $\alpha \approx 1.0$ pour simplifier les calculs.

$$H_1 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_1.$$

$$H_2 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2.$$

$$H_1 - H_2 = Z_1 - Z_2 = \Delta h_{1,2} = j.L.$$

Mais $H_1 - H_2$ c'est également la somme des pertes de charge entre (1) et (2) :

$$H_1 - H_2 = Z_1 - Z_2 = \Delta h_{1,2}$$

Sur un circuit, toutes les pertes de charge sont à la suite les unes des autres. Il nous suffit donc, en suivant le chemin de fluide, d'additionner les pertes de charge qu'elles soient régulières ou singulières.

Le raccordement saillie conduite- réservoir (départ) en (A) occasionne une perte de charge de coefficient $K_A \approx 1$ (d'après l'annexe II), et le raccordement brusque (arrivée) en (B) avec une section élargie très supérieurs à la section de la conduite gravitaire occasionne une perte de charge de coefficient $K_B \approx 1$ (d'après l'annexe II).

$$H_1 - H_2 = Z_1 - Z_2 = \underbrace{\frac{\lambda.L}{D} \cdot \frac{V_g^2}{2g}}_{\text{Perte de charge régulière}} + \underbrace{(K_A + K_B) \frac{V_g^2}{2g}}_{\text{Perte de charge singulière}}$$

Avec :

V_g : vitesse moyenne du fluide dans la conduite gravitaire AB.

K_A : coefficient de perte de charge de la singularité A.

K_B : coefficient de perte de charge de la singularité B.

D'où

$$Z_1 - Z_2 = \frac{\lambda.L}{D} \cdot \frac{V_g^2}{2g} + (K_A + K_B) \frac{V_g^2}{2g}$$

$$V_g = \sqrt{2g \frac{(Z_1 - Z_2)}{\left(\frac{\lambda.L}{D} + (K_A + K_B)\right)}}$$

$$V_g = \sqrt{2 \times 9.81 \times \frac{(0 - (-7.7))}{\left(\frac{0.015 \times 900}{2.7} + (1+1)\right)}} = 4.65 \text{ m/s.}$$

AN :

$$Q_g = V \times S = \frac{4.65 \times \pi \times (2.7)^2}{4} = 26.60 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Le débit d'amenée possible par une seule conduite est de 26.60 m³/s.

Vérification :

$$IR_c = V \times D/\nu = 4.65 \times 2.7 / 10^{-6} = 12.555 \times 10^6.$$

Ce qui est supérieur à 2.10⁶ donc l'écoulement est bien turbulent.

V. Calcul des pertes de charge :

Toutes les calculs sont faites par rapport au (4) quatrième groupe (tranche) car il est le plus long, donc automatiquement il occasionne la plus grande perte de charge.

Nous allons calculer, à l'aide du théorème de Bernoulli avec charge moyenne de chaque côté de la pompe:

- la charge à l'entrée de la pompe au point 3 en passant par le point 2.
- La charge à la sortie de la pompe au point 4 passant par le point 45.

L'écoulement se faisait des fortes charges vers les faibles charges, nous avons :

$$H_2 > H_1 \text{ et } H_4 > H_8 > H_{45}.$$

a) H₃

$$H_2 = \alpha \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 \quad \text{avec : } V_2 \approx 0 \text{ et } P_2 \approx P_{atm}.$$

$$H_2 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2$$

-

$$\underline{H_3}$$

$$H_2 - H_3 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2 - H_3 = \Sigma \Delta h_{2,3} = (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g}.$$

Avec :

V_a : vitesse d'aspiration moyenne du fluide.

K_C : coefficient de perte de charge au niveau de la convergent C.

K_D : coefficient de perte de charge au niveau de la convergent D.

K_E : coefficient de perte de charge au niveau de coude E.

K_F : coefficient de perte de charge au niveau de cône F.

$$H_3 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2 - (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g}. \quad (1)$$

b) H₄

$$H_4 = H_8 + \Delta h_{4-8} = \left[\frac{\lambda_1}{D_1} (L_{4-5} + L_{6-1}) \right] \frac{V_1^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_2}{D_2} (L_{1-7} + l) + K_i + K_8 + K_H \right] \frac{V_2^2}{2g}$$

(2)

Avec :

V₁ : vitesse de refoulement moyenne du fluide dans la conduite de DN1300 de caractéristiques (D₁, L₁, λ₁),

V₂ : vitesse de refoulement moyenne du fluide dans la conduite de DN12500 de caractéristiques (D₂, L₂, λ₂),

V₃ : vitesse de refoulement moyenne du fluide dans la conduite de DN1800 de caractéristiques (D₃, L₃, λ₃),

V_4 : vitesse de refoulement moyenne du fluide dans la conduite de DN1400 de caractéristiques (D_4 , L_4 , λ_4).

$$H_8 = H_{14} + \Delta h_{8-14} = H_{14} + \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{8-9} + L_{10-11} + L_{12-13}) + K_J + K_K + K_L \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (3)$$

Au niveau de point (8) on a le coude en T de raccordement des deux conduites de refoulements qui sont identiques :

$$Q_3 = 2 Q_2 \text{ et } Q_4 = Q_5$$

$$H_{14} = H_{15} + \Delta h_{14-15} = H_{15} + \left[\frac{\lambda_3}{D_3} L_{14-15} + K_{M_1} \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (4)$$

$$Q_3 = Q_4 + Q_5 = 2 Q_4 = 2 Q_5$$

Q_4 et Q_5 : débit de chaque entrée du condenseur.

$$H_{15} = H_{30} + \Delta h_{15-30} = H_{30} + \left[\frac{\lambda_3}{D_3} L_{15-30} + K_{N_1} \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (5)$$

$$H_{15} = H_{29} + \Delta h_{15-29} = H_{29} + \left[\begin{array}{l} \frac{\lambda_4}{D_4} L_{16-17} + K_o + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{18-19} \\ + K_p + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{20-21} + K_q + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{22-23} + K_r \\ + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{26-27} + K_s + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{28-29} + K_t + 2 K_v \end{array} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \Delta h_{24-25} \quad (6)$$

$$H_{30} = H_{42} + \Delta h_{30-42} = H_{42} + \left[\begin{array}{l} \frac{\lambda_4}{D_4} L_{30-31} + K_u + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{32-33} \\ + K_v + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{234-35} + K_w + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{36-37} + K_x \\ + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{39-40} + K_y + \frac{\lambda_4}{D_4} L_{41-42} + K_z + 2 K_v \end{array} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \Delta h_{38-39} \quad (7)$$

Avec $\Delta h_{24-25} = \Delta h_{39-40}$: perte de charge a travers le demi condenseur.

$\Delta h_{24-25} + \Delta h_{39-40} = \Delta h_{con}$: pertes de charge dans le condenseur.

$$H_{29} = H_{42} + \Delta h_{29-42} = \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{29-42}) + K_{M_2} \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (8)$$

$$H_{42} = H_{45} + \Delta h_{42-45} = \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{42-45}) + K_{N_2} \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (9)$$

De l'équation (4) + (6) on obtient :

$$H_{14} - H_{29} = \left[\frac{\lambda_3}{D} (L_{14-15}) \right] \frac{V_3^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_4}{D_4} (L_{16-29}) + K_{17-28} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \Delta h_{24-25} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{telque : } l_{16-29} &= l_{16-17} + l_{18-19} + l_{20-21} + l_{22-23} + l_{24-25} + l_{26-27} + l_{28-29} \\ K_{17-28} &= K_O + K_P + K_Q + K_R + K_S + K_T + 2K_v \end{aligned}$$

De l'équation (5) + (7) on obtient :

$$H_{15} - H_{42} = \left[\frac{\lambda_3}{D} (L_{15-30}) + K_{N_1} \right] \frac{V_3^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_4}{D_4} (L_{30-42}) + K_{31-41} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \Delta h_{38-39} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{telque : } l_{30-42} &= l_{30-31} + l_{32-33} + l_{34-35} + l_{36-37} + l_{39-40} + l_{41-42} \\ K_{31-41} &= K_u + K_v + K_w + K_x + K_y + K_z + 2K_v \end{aligned}$$

De l'équation (2) + (3) on obtient :

$$\begin{aligned} H_{14} - H_{15} &= \left[\frac{\lambda_1}{D_1} (L_{4-i} + K_G + K_v) \right] \frac{V_1^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_2}{D_2} (L_{i-7} + l) + K_8 + K_H \right] \frac{V_2^2}{2g} \\ &+ \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{8-13}) + K_J + K_K + K_L \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{telque : } l_{3-13} &= l_{8-9} + l_{10-11} + l_{12-13} \\ L_{4-i} &= L_{4-5} + L_{6-i} \end{aligned}$$

De l'équation (13) + (4) on obtient :

$$\begin{aligned} H_4 - H_{15} &= \left[\frac{\lambda_1}{D_1} (L_{4-i}) + K_G + K_v \right] \frac{V_1^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_2}{D_2} (L_{i-7} + l) + K_8 + K_H \right] \frac{V_2^2}{2g} \\ &+ \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{8-15}) + K_J + K_K + K_L + K_{M_1} \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (14) \\ L_{8-15} &= L_{8-13} + L_{14-15} \end{aligned}$$

De l'équation (6) + (8) on obtient :

$$H_{15} - H_{42} = \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{29-42}) + K_{M_2} \right] \frac{V_3^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_4}{D_{34}} (L_{16-29}) + K_{17-28} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \Delta h_{24-25} \quad (15)$$

$$\text{telque : } l_{16-29} = l_{16-17} + l_{18-19} + l_{20-21} + l_{22-23} + l_{24-25} + l_{26-27} + l_{28-29}.$$

$$K_{17-28} = K_O + K_P + K_Q + K_R + K_S + K_T.$$

De l'équation (11) + (15) on obtient:

$$H_{42} - H_{45} = \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{42-45}) + K_{N_2} + k_{45} \right] \frac{V_3^2}{2g} \quad (16)$$

$$H_{15} - H_{42} = \frac{1}{2} \left[\left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{29-42}) + K_{M_2} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{15-30}) + K_{N_1} \right] \frac{V_3^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_4}{D_{34}} (L_{16-29}) + K_{17-28} + \frac{\lambda_4}{D_4} (L_{30-42}) + K_{31-41} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \Delta h_{con} \right] \quad (17)$$

Des équations (14) + (16) + (17) on obtient :

$$\begin{aligned} H_4 - H_{45} = & \left[\frac{\lambda_1}{D_1} (L_{4-i}) + K_G + K_V \right] \frac{V_1^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_2}{D_2} (L_{i-7} + l) + K_8 + K_H \right] \frac{V_2^2}{2g} \\ & + \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{8-15}) + K_J + K_K + K_L + K_{M_1} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{42-45}) + K_{N_2} + k_{45} \right] \frac{V_3^2}{2g} \\ & + \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{29-42}) + K_{M_2} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{15-30}) + K_{N_1} \right) \\ & + \frac{1}{2} \left[\frac{\lambda_4}{D_{34}} (L_{16-42}) + K_{17-28} + K_{31-41} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \frac{\Delta h_{con}}{2} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\text{avec : } L_{16-42} = L_{16-29} + L_{30-42}.$$

Calculons la charge H_{45} :

Appliquons Bernoulli entre le point 45 et surface libre au dessus de déversoir.

On :

$$H_{45} = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} + Z_{dev}$$

Avec :

$$P_{dv} = P_{atm} \text{ et } Z_{dev} = +4.71 \text{ m.}$$

Z_{dev} : l'altitude de lame de déversoir.

Le rôle de déversoir est de maintenir d'un niveau constant

$$\Rightarrow V_0 \approx 0 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow H_{45} = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_{dev} \quad (19)$$

De l'équation (19) + (18) on obtient :

$$H_4 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_{dev} + \Delta h_{circuit} \quad (20)$$

Avec $\Delta h_{circuit}$ = pertes de charge dans le circuit de refoulement qui est égal au pertes de charges dans les conduites + les pertes de charge dans le condenseur.

$$\Delta h_{circuit} = [H_4 - H_{45}]$$

$$H_4 = \left[\frac{\lambda_1}{D_1} (L_{4-1}) + K_G + K_V \right] \frac{V_1^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_2}{D_2} (L_{1-7} + l) + K_8 + K_H \right] \frac{V_2^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{8-13}) + K_J + K_K + K_L + K_{M_1} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{42-45}) + K_{N_2} + k_{45} \right] \frac{V_3^2}{2g} + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{29-42}) + K_{M_2} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{15-30}) + K_{N_1} \right) \right] \frac{V_3^2}{2g} + \frac{1}{2} \left[\frac{\lambda_4}{D_{34}} (L_{16-42}) + K_{17-28} + K_{31-41} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \frac{\Delta h_{con}}{2} + \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_{dev} \quad (21)$$

V.1 Les pertes de charge dans le condenseur :

La perte de charge côté eau de circulation, s'il n'a pas d'influence sur le fonctionnement du condenseur, a une grande influence sur le coût de l'installation (puissance des moteurs et des pompes de circulation) et également une influence sur les effets de fond dans le cas où le condenseur est soudé à la turbine. Il apparaît donc au constructeur des condenseurs de calculer ces efforts et, s'ils sont trop importants, de les compenser.

Les pertes à travers le condenseur dues à ce que la densité dans la colonne de sortie est inférieure à la densité de l'eau froide par suite de la température plus élevée et surtout de la présence de bulles d'air qui se forment dans la partie supérieure du fait du dégagement de l'air dissous dans l'eau.

Les pertes de charge dans un condenseur dans les tubes et les boîtes à eau qu'ils faut additionner pour obtenir la perte de charge totale peuvent être calculées par la formule de Williams et Hazen [17]:

- Les pertes de charges dans les tubes peuvent être calculées par :

$$h_1 = 2.54 \times \frac{W^{1.85}}{d^{1.16}} \quad \text{m d'eau par m.}$$

Avec :

W : la vitesse dans les tubes est exprimée en m/s,

d : diamètre intérieur en mm.

Pour les pertes de charge dans les boîtes terminales, comprenant la mise en vitesse, on peut adopter la formule :

$$h_2 = 0.143 \times W^{1.45} \text{ en metre d'eau.}$$

h_2 est évaluée en mètres d'eau à multiplier par le nombre de passage (n).

D'après le manuel de SONELGAZ :

$$W=1.8\text{m/s,}$$

La longueur des tubes est de 16 m,

$$d=18.3 \text{ mm,}$$

n : le nombre de passage est 2 (les deux moitiés de condenseur).

AN :

$$h_1 = 2.54 \times \frac{1.8^{1.85}}{18.3^{1.16}} = 0.258 \text{ m d'eau par m}$$

$$h_2 = 0.143 \times 1.8^{1.45} = 0.335 \text{ metre d'eau.}$$

$$\Delta h_{\text{condenseur}} = h_1 \times 2 + h_2 \times l = 0.258 \times 16 + 0.335 \times 2 = 4.79 \text{ m d'eau,}$$

$$\Delta h_{\text{condenseur}} \approx 4.8 \text{ m.}$$

V.2 Calcul de puissance ;

Pour calculer la puissance de pompage, il faut ajouter à les pertes de charge du condenseur celle des conduites d'aspiration et de retour à compter la hauteur statique d'élévation de l'eau en règle générale, l'écoulement de l'eau se fait par siphonage (figIII.12) dans le condenseur, qui constitue le point le plus haut du circuit.

Si ce dernier compte des galeries à l'air libre, les pertes de charge dans ces galeries se traduit par une différence de niveau H_s (figIII.12) qui s'ajoute aux pertes de charges propres au circuit de chaque condenseur pour déterminer la hauteur manométrique de la pompe.

Appliquant maintenant le théorème de Bernoulli généralisée aux bornes de la pompe : De l'équation (20)-(3) on obtient :

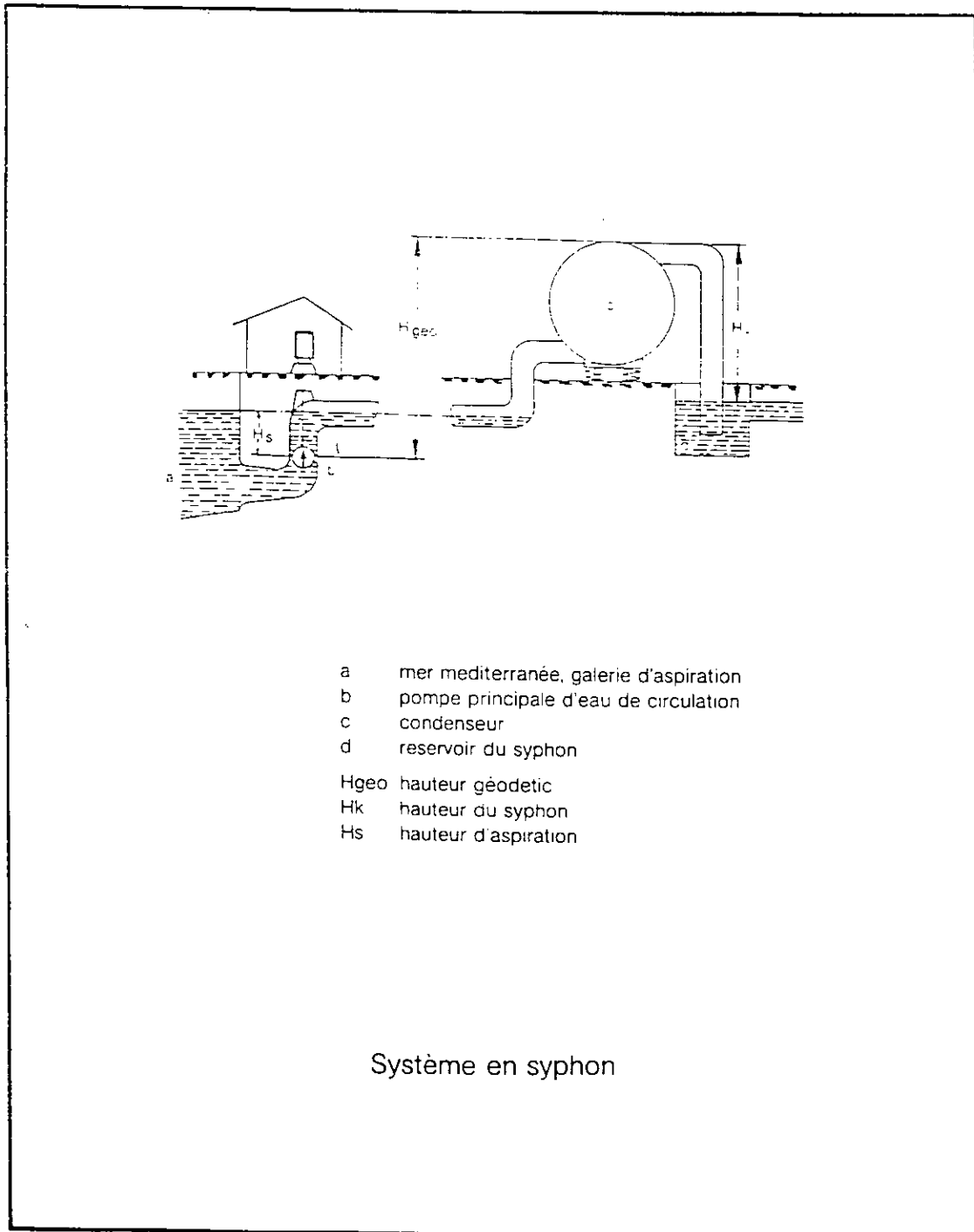


Figure.III.12

$$\begin{aligned}
 H_4 - H_3 &= \frac{E}{g}, \quad E : \text{energie par unité de masse en } \frac{j}{kg} \\
 H_4 - H_3 &= \left[\frac{\lambda_1}{D_1} (L_{4-1}) + K_G + K_V \right] \frac{V_1^2}{2g} + \left[\frac{\lambda_2}{D_2} (L_{i-7} + l) + K_8 + K_H \right] \frac{V_2^2}{2g} \\
 &+ \left[\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{8-15}) + K_J + K_K + K_L + K_{M_1} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{42-45}) + K_{N_2} + k_{45} \right] \frac{V_3^2}{2g} \\
 &+ \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_3}{D_3} (L_{29-42}) + K_{M_2} + \frac{\lambda_3}{D_3} (L_{15-30}) + K_{N_1} \right) \frac{V_3^2}{2g} \\
 &+ \frac{1}{2} \left[\frac{\lambda_4}{D_{34}} (L_{16-42}) + K_{17-28} + K_{31-41} \right] \frac{V_4^2}{2g} + \frac{\Delta h_{con}}{2} + \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_{dev} - \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2 \\
 &- (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g} = \frac{E}{g}, \quad E > 0 \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$\text{avec : } L_{16-42} = L_{16-29} + L_{30-42}.$$

$$Z_{dev} - Z_2 = +4.71 - (0) = 4.71 \text{ m.}$$

Il faut donc fournir au fluide une énergie capable de lui faire vaincre la différence de côte et toutes les pertes de charge du circuit P_u (puissance utile) :

$$P_u = \rho \times g \times q_v \times H_{MT} \quad (23)$$

La puissance absorbée par la pompe P_a (puissance fournie sur l'axe de la pompe) est :

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_p} \quad (24)$$

η_p : Rendement de la pompe,

$$P_a = \frac{\rho \times g \times q_v \times H_{MT}}{\eta_p} \quad (25)$$

V.3 Calcul des coefficients de perte de charge :

Des considérations théoriques issues de la mécanique avait en général suggéré les formes mathématiques des lois de pertes de charge et les recherches expérimentales étaient venues préciser la valeur des coefficients numériques à introduire dans les formules théoriques.

La société des tuyaux BONNA entant qu'industriel, leur attention s'est portée sur les recherches expérimentales et principalement sur celles concernant les conduites en service, de tracés variés et de grande longueur.

Ses étude et observations ont portée sur les quatre formules les plus utilisées : la formule de COLEBROOK est la mieux adaptée aux tuyaux fabriqués suivant ses techniques

modernes, et qui s'applique en outre à toutes gammes de diamètre et de débit ; celles de WILLIAM et HAZEN, de SCOBAY et de STRICKIER.

Formule de COLEBROOK : elle s'écrit :

$$j = \lambda \frac{V^2}{2gD},$$

Avec :

J = perte de charge en mètre par mètre de conduite,
 V = vitesse de l'eau en mètre par seconde,
 g = accélération de la pesanteur = 9.81 m/s²,
 λ = coefficient tiré de l'expression :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51}{\frac{VD}{\nu} \sqrt{\lambda}} \right).$$

Où :

K = épaisseur des rugosités de la paroi en m,
 ν = viscosité cinématique de l'eau en m²/s.

Pour déterminer les coefficients des pertes de charge singulière on a utilisé (Annexe II) et (l'annexe III) [16].

- C : rétrécissement (on le assimile à une contraction continue), d'après l'annexe III

$$\frac{A_2}{A_1} = 0.6 \text{ correspond à } K_c = 0.06$$

- D : rétrécissement (on le assimile à un rétrécissement progressif), d'après l'annexe III

$$\frac{A_2}{A_1} = 0.7 \text{ correspond à } K_D = 0.04$$

- E : Coude 90°, R₀ = 1DN avec DN = 1000mm

Nous utilisons la formule de weisbach (Annexe II):

$$K_E = \left[0.131 + 1.847 \left(\frac{DN}{2R_0} \right)^{1/2} \right] \cdot \frac{\theta}{90^\circ} \Rightarrow K_E = 0.30.$$

- F : Contraction convenue (d'après annexe III) $\frac{A_2}{A_1} = 0.8 \Rightarrow K_F = 0.02$,

- G : Un coude de deux éléments à angles vifs, ce coude est caoutchouté à l'intérieur, donc on peut le assimiler à un coude lisse de 90°, R₀ = 2DN avec DN = 1300mm

Nous utilisons la formule de weisbach :

$$K_G = \left[0.131 + 1.847 \left(\frac{DN}{2R_0} \right)^{1/2} \right] \cdot \frac{\theta}{90^\circ} \Rightarrow K_G = 0.0755.$$

- V : Vanne papillon DN1300 complètement ouverte α = 5° (d'après annexe II) ⇒ K_v = 0.24.

- i : contraction brusque à bords arrondis : d'après l'annexe III
 $\alpha=0.90$,

$$A_2/A_1=1250/1300 :$$

$$K_i = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^2 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right), m = \frac{1250}{1300} = 0.00047 \Rightarrow K_i = 4.7 \times 10^{-4}$$

- H₁, H₂ : coude 45°, R₀=1.6DN avec DN=1000 :
 Nous utilisons la formule de Weisbach :

$$K_{H_1} = K_{H_2} = \left[0.131 + 1.847 \left(\frac{DN}{2R_0} \right)^{3/2} \right] \cdot \frac{\theta}{90^\circ} \Rightarrow K_{H_1} = K_{H_2} = 0.081.$$

- Point 8 : bifurcation de section en T (d'après annexe III) $\theta = 45^\circ \Rightarrow K_8 = 0.7$.
- J : Coude 60°, R₀=2.5DN, Nous utilisons la formule de Weisbach : $\Rightarrow K_J = 0.092$.
- K, L : Coudes identiques à angle vifs, $\theta = 13.7^\circ$, R₀ = 2DN avec DN = 1800 mm,
 Nous utilisons la formule de Weisbach : $\Rightarrow K_K = K_L = 0.022$.

- K_{M1}, K_{M2}, K_{N1} et K_{N2} : Branchements et dérivations identiques,
 D'après Scmem (Annexe II) $\Rightarrow K_{M_1} = K_{M_2} = K_{N_1} = K_{N_2} = 1.5$,

- O, P, Q, U, v et W : coudes de trois éléments à angles vifs, ces coudes sont caoutchoutés à l'intérieur, donc on peut les assimiler à un coude lisse de 90°, R₀ = 1DN avec DN = 1400mm

Nous utilisons la formule de Weisbach :

$$K_{O,P,Q,U,v,X} = \left[0.131 + 1.847 \left(\frac{DN}{2R_0} \right)^{3/2} \right] \cdot \frac{\theta}{90^\circ} \Rightarrow K_{O,P,Q,U,v,X} = 0.294.$$

- R, S, x et Y : : coudes de deux éléments à angles vifs, ces coudes sont caoutchoutés à l'intérieur, donc on peut les assimiler à un coude lisse de 30°, R₀ = 1260 avec DN = 1400mm Nous utilisons la formule de Weisbach :

$$K_{R,S,x,Y} = 0.122$$

- Z et T : coudes de deux éléments à angles vifs, ces coudes sont caoutchoutés à l'intérieur, donc on peut les assimiler à un coude lisse de 90°, R₀ = 1850 avec DN = 1400mm

Nous utilisons la formule de Weisbach : $\Rightarrow K_Z = K_T = 0.192$.

- Le point 45 : Raccordement conduit- réservoir :

Nous utilisons la formule de l'annexe II :

$$K_{45} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9} \left[\frac{S_1}{S_2} \right]^2, \text{ Avec } S_2 \gg S_1 \Rightarrow K_{45} \approx 1.$$

a). Dimensions des conduites :

D'après les plans topographiques de la centrale on a déterminé les longueurs et les diamètres des conduites : [18]

$L_{4-i} = 9.5\text{m}$ de diamètre 1300mm,

$L_{i-7+l} = 8.35$ de diamètre 1250 et 1800mm successivement,

$L_{8-15} = 210.637\text{m}$ de diamètre 1800mm,

$L_{42-45} = 21.16\text{m}$ de diamètre 1800mm

$L_{15-30} = 10.14\text{m}$ de diamètre 1800mm

$L_{29-42} = 3.48\text{m}$ de diamètre 1800mm

$L_{16-42} = 10.62\text{m}$ de diamètre 1800mm.

b). Calcul des Q_i :

• Calculons le débit dans chaque conduite :

Le débit de refoulement de chaque pompe est $Q_V = 3.6\text{m}^3/\text{s}$,

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4/2 = Q_r = 3.6\text{m}^3/\text{s}$,

• Calculons les vitesses dans chaque conduite:

$$Q_1 = V_1 \cdot S_1 \Rightarrow V_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{4 \times Q_1}{\pi \times D_1^2} = \frac{4 \times 3.6}{\pi \times 1.3^2} = 2.71 \text{ m/s},$$

$$Q_2 = V_2 \cdot S_2 \Rightarrow V_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{4 \times Q_2}{\pi \times D_2^2} = \frac{4 \times 3.6}{\pi \times 1.25^2} = 3.18 \text{ m/s},$$

$$Q_3 = V_3 \cdot S_3 \Rightarrow V_3 = \frac{Q_3}{S_3} = \frac{4 \times Q_3}{\pi \times D_3^2} = \frac{4 \times 7.2}{\pi \times 1.8^2} = 3.24 \text{ m/s},$$

$$Q_4 = V_4 \cdot S_4 \Rightarrow V_4 = \frac{Q_4}{S_4} = \frac{4 \times Q_4}{\pi \times D_4^2} = \frac{4 \times 3.6}{\pi \times 1.4^2} = 2.34 \text{ m/s},$$

• **Calculons λ_i :**

a) λ_1

$$IR_{e1} = \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{2.71 \times 1.3}{10^{-6}} = 3.523 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s},$$

$$\frac{\varepsilon}{D_1} = \frac{0.8}{1300} = 4.77 \times 10^{-4}$$

D'après l'abaque de COLEBROOK (Annexe I) on trouve $\lambda_1 = 0.0170$.

b) λ_2

$$IR_{e2} = \frac{V_2 D_2}{\nu} = \frac{3.18 \times 1.25}{10^{-6}} = 4.77 \times 10^{+6} m^2/s,$$

$$\frac{\varepsilon}{D_2} = \frac{0.8}{1250} = 6.4 \times 10^{-4}$$

D'après l'abaque de COLEBROOK (Annexe I) on trouve $\lambda_2=0.0175$.

c) λ_3

$$IR_{e3} = \frac{V_3 D_3}{\nu} = \frac{3.24 \times 1.8}{10^{-6}} = 5.832 \times 10^{+6} m^2/s,$$

$$\frac{\varepsilon}{D_3} = \frac{0.8}{1800} = 4.44 \times 10^{-4}$$

D'après l'abaque de COLEBROOK (Annexe I) on trouve $\lambda_3=0.0160$.

d) λ_4

$$IR_{e4} = \frac{V_4 D_4}{\nu} = \frac{2.34 \times 1.4}{10^{-6}} = 3.276 \times 10^{+6} m^2/s,$$

$$\frac{\varepsilon}{D_4} = \frac{0.8}{1400} = 5.71 \times 10^{-4}$$

D'après l'abaque de COLEBROOK (Annexe I) on trouve $\lambda_4=0.0165$.

D'après l'équation (18) la perte de charge totale de circuit de refoulement (de la station de pompage jusqu'à le déversoir) égale à :

$$H_4 - H_{45} = \left[\frac{0.017 \times 9.5}{1.3} + 0.0755 + 0.24 \right] \times \frac{2.71^2}{19.62} + \left[0.0175 \times \frac{8.35}{1.25} + 0.113 + 0.7 + 0.081 \right] \times \frac{3.18^2}{19.62}$$

$$+ \left[\frac{0.016 \times (210.63 + 21.16)}{1.8} + 0.092 + 0.022 + 0.022 + 1.5 + 1.5 + 1 + \frac{1}{2} \times \left[\frac{0.016}{1.8} (10.14 + 3.48) + 3 \right] \right] \times \frac{3.24^2}{19.62}$$

$$+ \frac{1}{2} \left[\frac{0.0165 \times 10.62}{1.4} + 1.61 + 1.71 \right] \times \frac{2.34^2}{19.62} + \frac{4.8}{2} = 7.74 m,$$

VI. Calcul de la hauteur manométrique :

La hauteur manométrique correspond à un débit de $3.6 m^3/s$ est calculée par la formule suivante :

$$H_M = H_{geo} + h_w \pm h_s + H_{siphon},$$

Avec :

H_{geo} : Hauteur géométrique de refoulement,

h_s Hauteur d'aspiration,

h_w Perte de charge de circuit,

H_{siphon} Hauteur de siphon,

D'après les figures qui montrent la ligne d'eau de circulation de la centrale de RAS DJINET :

$$H_{geo} = 5.3 + 7.7m; H_s = -7.7m; H_{siphon} = 5.3 - 4.71m.$$

La perte de charge dans les conduites d'aspiration :

$$\Delta h_{2-3} = \Delta h_{asp} = (K_c + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g}$$

$$\text{Avec : } V_a = \frac{Q_v}{S_a}$$

$$S_a = \frac{(1)^2 \times \pi}{4}$$

$$\underline{\text{AN : }} \Delta H_{asp} = (0.06 + 0.07 + 0.30 + 0.02) \frac{(3.6 \times 2)^2}{\pi^2 \times 2 \times g} = 0.12m.$$

$$\underline{h_w = 7.74 + 0.12 \approx 7.86m.}$$

$$H_M = 5.3 + 7.7 + 7.86 - 7.7 + 5.3 - 4.71 \approx 13.65m$$

Puissance de la pompe :

D'après l'équation (22), (23) et (24)

$$P_u = \rho \times g \times q_v \times H_{MT} = 1030 \times 9.81 \times 3.6 \times 13.75 = 500.162KW$$

D'où pour un rendement de 0.866 la puissance absorbée est de :

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_p} = \frac{500.162}{0.866} = 577.55KW$$

Cette puissance est supérieur à celle conçue par le fabricant (576.6KW), donc il a conçu une pompe, qui est avec une puissance inférieur à 577.55KW peut atteindre une hauteur manométrique supérieur à 13.75 m.

VII. Choix du type de pompe :

Les turbopompes sont actuellement parmi les plus employées. Les principales raisons de ce choix sont les suivants : Ces appareils étant rotatifs et ne comportant aucune liaison articulée, leurs entraînements, par un moteur électrique ou à combustion interne, ne présente aucune difficulté. D'autre part, l'encombrement de la turbopompe est environ 8 fois moindre que celui des pompes volumétriques, et peut être encore réduit en adoptant une disposition à axe vertical. Ce moindre encombrement est aussi un poids plus faible permettant de réaliser

d'appréciables économies sur les bâtiments habitant les installations. De plus, les frais d'entretien d'une turbopompe sont peu élevés.

Suivant le type de rotor et son mode d'action il faut distinguer dans la catégorie des turbopompes :

- Les pompes centrifuge ;
- Les pompes hélices ;
- les pompes hélico - centrifuges.

Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe.

A titre indicatif il faut signaler qu'il existe un certain nombre d'autre classification des turbopompes, reposant sur les critères suivants :

- Disposition de l'axe (horizontal, vertical, incliné) ;
- Nombre de rotors (monocellulaire, multicellulaire) ;
- Importance de la pression produite (basse, moyenne, haute) ;
- Utilisation (irrigation, eaux chargées, forages).

D'un point de vue qualitatif :

- Les pompes centrifuges sont utilisées pour des hauteurs d'élévations importantes (plusieurs dizaines de mètres) ;
- Les pompes hélices sont utilisées pour élever des débits importants (plusieurs centaines de l/s) à des hauteurs faibles (quelques mètres).

Le choix d'un type d'une pompe doit être fait en accord, avec les caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée : débit, hauteur manométrique...et les conditions particulières d'utilisation : puits, eau sale...

Le choix d'un type de pompe en fonction des considérations ci-dessus est orienté en fonction :

1. Des caractéristiques hydrauliques :

D'une façon générale :

- Hauteur manométrique $> 15 \text{ m}$
Débit $> 100 \text{ l/s}$ } pompes hélices ou hélico -centrifuges,
- Hauteur manométrique $> 15 \text{ m}$
• Débit : tous débits } pompes centrifuges,
- Zone intermédiaire : seules les comparaisons économiques permettent de choisir les pompes.

Remarques :

La pompe choisie devra être telle que son point de fonctionnement se situe dans la zone de rendement maxima, même si on doit pour cela choisir un type de pompe très cher.

2. Des conditions particulières d'utilisation :

Les critères hydrauliques de choix d'une pompe, dans la pratique, s'avèrent insuffisants. En effet, en fonction des conditions particulières d'utilisations (susceptibles de découler du pompage d'eau chargées, d'exploitation d'une nappe d'eau souterraine ou d'une retenue à fort marnage...) il faudra déterminer (cas des pompes centrifuges) si la pompe doit être : verticale ou horizontale, immergée ou à l'air libre, monocellulaire ou multicellulaire...

a) Pompe à piston et pompe centrifuge avec hydro-éjecteur :

Ces types de pompe sont utilisés pour pomper l'eau dans des puits profonds. Ils se prêtent à l'élévation de modestes quantités d'eau.

- Les pompes à piston sont d'un coût élevé et nécessitent un montage et une manutention soignés. En outre, elles ne conviennent pas pour les eaux chargées.
- Les pompes avec hydro-éjecteur sont d'un coût plus faible que celui des pompes à piston, leur manutention est faible, le principal avantage de ce dispositif est de pouvoir fonctionner avec des eaux chargées. Cependant leur rendement peut être assez faible. En effet, une partie de l'eau fournie par la pompe est recyclée dans l'hydro-éjecteur, cette quantité pouvant atteindre la moitié du débit de la pompe.

b) Pompes à ligne d'axe – groupe immergé :

Ces pompes ont un domaine d'utilisation beaucoup plus étendu que celui des pompes à piston ou des pompes hydro-éjecteur.

Les problèmes d'étanchéité et de longévité des moteurs électriques des groupes ont longtemps freiné leur utilisation. Cependant, les progrès techniques ont permis de les utiliser en toute sécurité dans le domaine traditionnellement réservé aux pompes à ligne d'axe où le moteur est installé au niveau du sol.

c) Pompes monocellulaires et multicellulaires :

La hauteur de refoulement d'une pompe varie avec sa vitesse de rotation. Si par exemple pour une pompe monocellulaire fournissant un débit voisin de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ à 1450 T/mn la hauteur d'élévation est inférieure à 60m, à 2900T/mn la hauteur d'élévation sera inférieure à 100m environ. Pour obtenir des hauteurs d'élévation supérieures aux valeurs précédentes il faudra utiliser des pompes multicellulaires (équivalentes à plusieurs pompes monocellulaires en série).

De façon à bien connaître l'incidence du choix d'une option il sera intéressant d'effectuer les comparaisons suivantes :

Pompes		Frais d'investissement	Frais d'entretien
Monocellulaire 2900T/mn	à	Plus faibles	Plus grands
Multicellulaire 1450T/mn	à	Plus élevés	Plus faibles

Pour une comparaison entre _ pompe monocellulaire à 1450T/mn,
_ Pompe multicellulaire à 1450T/mn.

A titre d'exemple : pour un débit de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ élevé à 55m le coût d'une pompe multicellulaire est d'environ le double de celui d'une pompe monocellulaire.

Lorsque les pompes seront entraînées par moteur thermique, dans les pays chauds, la pompe multicellulaire sera toujours préférable en raison des d'entretien des moteurs thermiques à grande vitesse.

En conclusion :

- Pour des hauteurs d'élévation inférieures à 60 m on utilisera en principe une pompe monocellulaire.
- Pour des hauteurs d'élévation comprises entre 60 et 90 m :
 - Si le moteur est électrique :
On fera une étude économique entre la pompe monocellulaire à vitesse élevée (2900T/mn) et la pompe multicellulaire tournant à vitesse faible (1450T/mn).
 - Si le moteur le moteur est thermique :
Préférer a priori la solution multicellulaire à faible vitesse.
- Pour des hauteurs d'élévation supérieures à 90m utiliser des pompes multicellulaires.

d) Pompe à axe horizontal ou pompe à axe vertical :

Les pompes centrifuges à axe horizontal ou les pompes centrifuges à axe vertical (pompe à ligne d'axe) conviennent pour des nombres spécifiques N_s faible. La première disposition sera utilisée toutes les fois que l'alimentation de la pompe pourra se faire en charge, ou que les conditions d'aspiration (hauteur d'aspiration inférieure à 6 ou 7 m) et d'amorçage se trouveront satisfaites sans des frais importants de génie civil (approfondissement de la station). La deuxième disposition conviendra pour des retenus à fort marnage, pour les puits ou forages. Dans le cas d'utilisation de moteurs thermiques, le moteur horizontal sera raccordé à la pompe verticale par renvoi d'angle onéreux.

Dans tous les cas le choix d'une disposition devra résulter d'une étude économique portant sur l'ensemble de la station, le génie civil est les dimensions de la station étant fort différent suivant l'une ou l'autre des solutions adoptés [17]

VIII. Vérification de choix des pompes principales :

D'après les calculs qu'on a fait, on a trouvé les caractéristiques hydrauliques suivantes :

$$H_{mt} = 13,5 \text{ m,}$$

$$Q = 3.6 \text{ m}^3/\text{s,}$$

Pour cela on propose de choisir :

- 1- une pompe hélico-centrifuge par ce que H_{mt} calculée est inférieur à 15m pour un débit très important de 3600 (l/s).
- 2- cette pompe est du type vertical: pour le moindre encombrement et aussi le poids le plus faible permet de réaliser d'appréciables économies sur les bâtiments abritants les installations.

Selon le catalogue [21], les grosses pompes confirme le choix à une pompe à hélico-centrifuge à roue semi-axiale.

La pompe est entraînée par un moteur électrique car la disponibilité de l'énergie électrique ainsi le coût devient moins chère par rapport à un moteur diesel ou essence (les frais de transport du combustible).

D'après la courbe caractéristique de la pompe choisie, le rendement est de 86.6 %. La puissance absorbée sur l'arbre de la pompe est de 576.6 (KW). La vitesse de rotation est de 423 (Tr/min).

Conclusion :

La pompe choisie pour la circulation de l'eau de refroidissement satisfait toutes les contraintes imposées par le circuit, donc on estime quelle convient à notre problème.

Le montage de deux pompes en parallèles qui fonctionnent à 60% avec un débit de 3,6(m³/s) pour chacune au lieu d'utiliser une pompe de 7.2 (m³/s) à 100% convient à notre système en cas d'isolement d'un demi-condenseur ou pour éviter le déclenchement de tout le groupe en cas d'une panne de la pompe.

IX. Vérification de choix de l'installation des pompes principales :**Capacité pratique d'aspiration :**

La conduite d'aspiration d'une pompe est symbolisée sur la figure III.3

Appliquons le théorème de Bernoulli avec charge moyenne entre (2) et (3) :

$$H_2 = \alpha \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 \quad \text{avec: } V_2 \approx 0 \text{ et } P_2 \approx P_{atm}.$$

$$H_2 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2$$

-

$$H_3 = \alpha \cdot \frac{V_3^2}{2g} + \frac{P_3}{\rho g} + Z_3$$

$$H_2 - H_3 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2 - H_3 = \Sigma \Delta h_{2-3} = (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g}$$

$$\frac{V_3^2}{2g} + \frac{P_3}{\rho g} + Z_3 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2 - (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g}$$

$$\frac{P_3}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_2 - (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g} - \frac{V_3^2}{2g} - Z_3$$

$$\frac{P_3}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \left[\frac{V_3^2}{2g} - (Z_2 - Z_3) + (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g} \right]$$

Pour obtenir la pression en 3, nous devons retrancher à la pression atmosphérique de départ, l'énergie cinétique dans la conduite, toutes les pertes de charge, la hauteur géométrique d'aspiration h_{ga} et la tension de vapeur de l'eau de mer. Nous obtenons, en fonction du débit, une courbe dite NPSH disponible (net Positive Suction Head).

Dès que la pression P_3 au point 3 atteindra la pression de vapeur saturante P_s du fluide, nous aurons la cavitation dans la conduite d'aspiration en 3, (à l'entrée de la pompe). Le phénomène est symbolisé sur le graphique figure (III.13) par le point K.

Si par exemple nous augmentons la hauteur géométrique d'aspiration h_{ga} , la courbe NPSH disponible va descendre et le point K se déplacera sur la gauche.

Dans les machines : l'apparition de cavitation est due au mauvaise installation de la pompe et aux écoulement avec une grande vitesse d'entraînement.

Pour ne pas avoir de cavitation, il faut que l'aspiration doive être correcte.

L'équation de la NPSH disponible est sous la forme :

$$NPSH_d = \frac{P_3}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \left[\frac{V_3^2}{2g} - (Z_2 - Z_3) + (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g} \right] - \frac{P_s}{\rho g},$$

La pression atmosphérique $\frac{P_{atm}}{\rho g} = 10.33 + 0.0012 \times \text{Alt mètre d'eau}$, avec *Alt.* : l'altitude par rapport au niveau de la mer (au niveau de la mer *Alt.* = 0

$$\frac{P_{atm}}{\rho g} = 10.33 + 0.0012 \times 0 = 10.33 \text{ m d'eau},$$

D'après la courbe de tension de vapeur de l'eau de mer (fig III.14) pour une température de 22°C est de 19.8 mm de Hg (mercure).

$$\frac{P_s}{\rho g} = 0.0198 \text{ m de Hg} \Rightarrow \frac{P_s}{\rho g} = 0.0198 \times \frac{13600}{1030} = 0.27 \text{ m d'eau},$$

d'où :

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \left[\frac{V_3^2}{2g} - (Z_2 - Z_3) + (K_C + K_D + K_E + K_F) \frac{V_a^2}{2g} \right] - \frac{P_s}{\rho g} \text{ m d'eau},$$

$$Q_v = V_3 \times S_3 = V_a \times S_a,$$

AN :

$$S_3 = \frac{\pi \times 0.8^2}{4}$$

$$S_a = \frac{\pi \times 1^2}{4}$$

$$NPSH_d = 10.33 + 7.7 - 0.27 - 0.16 Q_v^2 = 17.76 - 0.16 Q_v^2,$$

La condition pour ne pas avoir de cavitation est : $NPSH_d \geq NPSH_r$,

$NPSH_r$: est donnée par le constructeur,

Pour un débit de 3.6 m³/s :

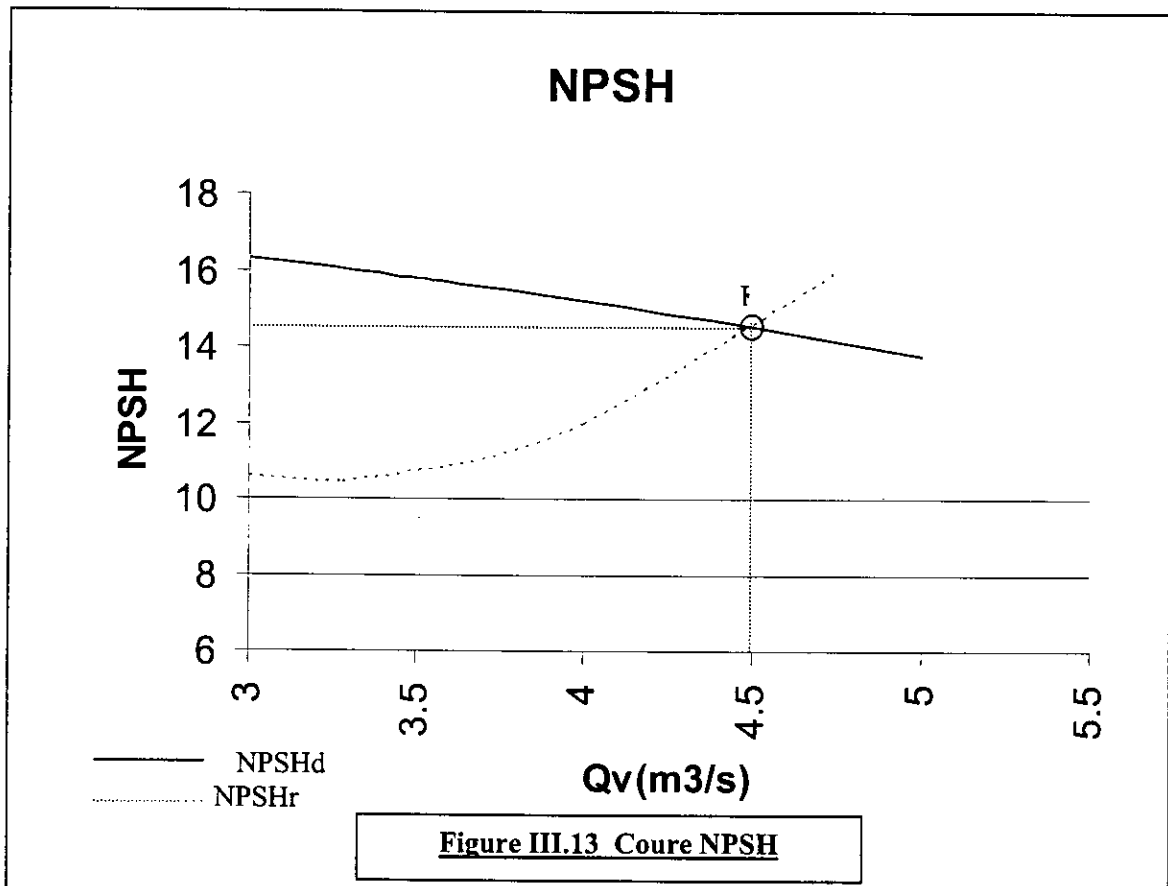
$$NPSH_d = 15.70 \text{ m d'eau},$$

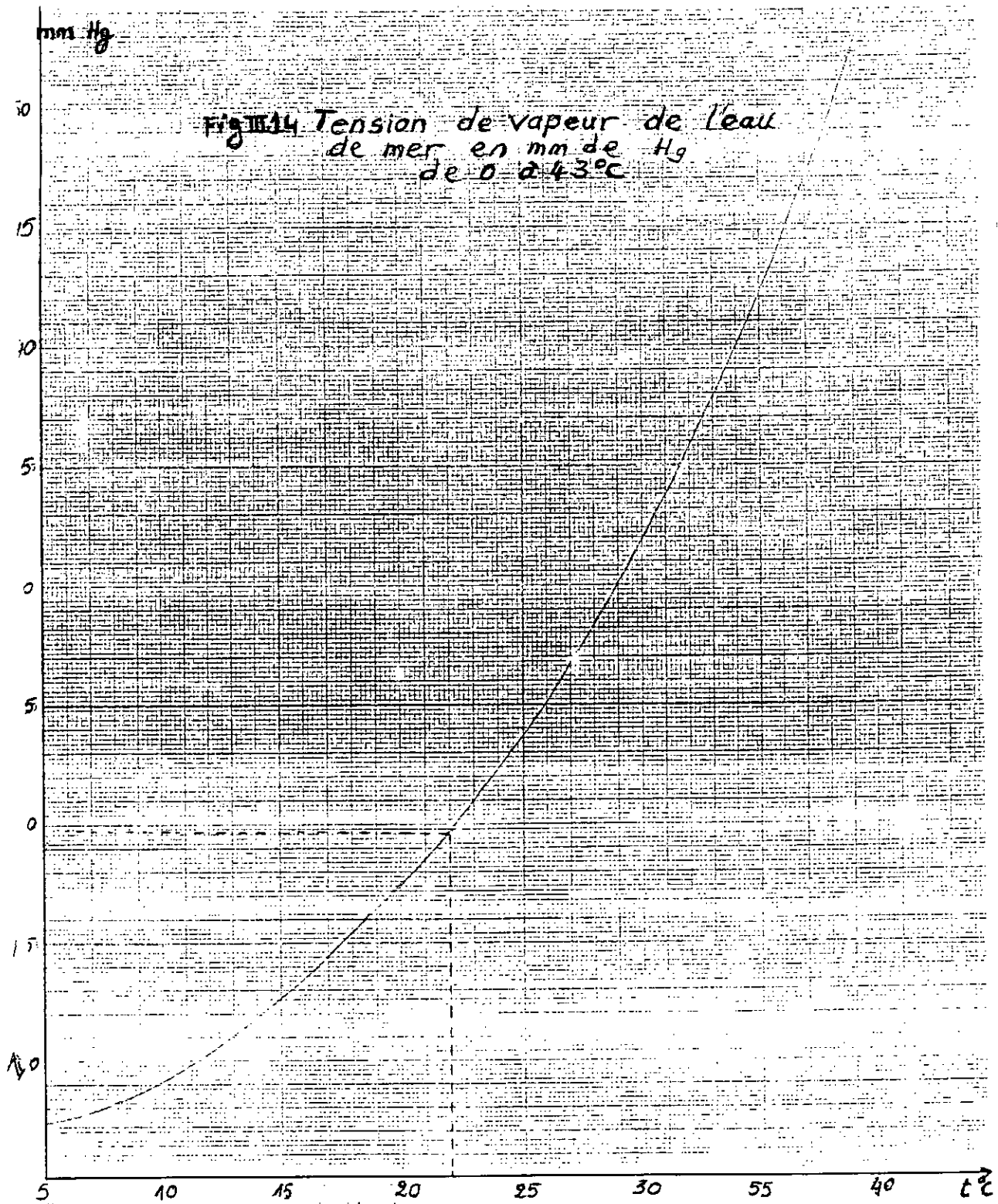
$$NPSH_r = 10.86 \text{ m d'eau},$$

Donc la condition pour ne pas avoir une cavitation est vérifiée pour un débit de 3.6 m³/s.

Calculons maintenant la hauteur géométrique maximale d'aspiration pour ce même débit de fonctionnement:

Traçons les courbes $NPSH_d$ et $NPSH_r$, puis on détermine le point d'intersection qui est le point critique pour lequel ($NPSH_r = NPSH_d$), c'est à cet point (K) corresponde au point de fonctionnement optimal, correspondent aux coordonnées suivantes ($4.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 14.57m).





X. Analyse des résultats et impact sur les moyens de production :

D'après les calculs effectués on a abouti que le débit d'une seule conduite d'amenée est de $26.60 \text{ m}^3/\text{s}$ et que le besoin total de la centrale est de $30 \text{ m}^3/\text{s}$

1. Fonctionnement avec trois (3) conduites d'amenées :

Le débit qui arrive à la station de pompage par trois conduites est de $79.8 \text{ m}^3/\text{s}$ et le débit nécessaire pour le refroidissement des quatre condenseurs de la centrale est de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, donc il y'a un excès de $49.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (c'est une quantité suffisante pour le refroidissement d'une autre centrale de même capacité ou possibilité d'extension de même capacité).

La production de la centrale (par les quatre groupes) est de : $4 \times 176 = 704 \text{ MW}$ qui représente la pleine charge.

2. Fonctionnement avec deux conduites d'amenées :

Le débit qui arrive à la station de pompage par deux conduites est de $53.20 \text{ m}^3/\text{s}$ et le débit nécessaire pour le refroidissement des quatre condenseurs de la centrale est de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, donc il y'a un excès de $23.20 \text{ m}^3/\text{s}$ (c'est une quantité suffisante pour le refroidissement d'une extension de trois groupes à 100%).

La production de la centrale (par les quatre groupes) est de : $4 \times 176 = 704 \text{ MW}$ qui représente la pleine charge.

3. Fonctionnement avec une seule conduite d'amenée :

Le débit qui arrive à la station de pompage par une seule conduite est de $26.60 \text{ m}^3/\text{s}$ et le débit nécessaire pour le refroidissement des quatre condenseurs de la centrale est de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, donc il y'a un manque de $3.40 \text{ m}^3/\text{s}$ (qui est équivalent au débit d'une seule pompe), donc il est obligatoirement d'arrêter une pompe d'un seul groupe qui va provoquer une perte de charge de 60% équivalent à 108 MW.

La production de la centrale est donc par les trois groupes à 100% est de : $3 \times 176 = 528 \text{ MW}$ et un groupe à 60% est de 108 MW, donc la production de la centrale est de 636 MW équivalent un taux de $\frac{636}{704} \times 100 = 90.34 \%$ de la charge.

Conclusion:

Conclusion :

Selon les calculs théoriques, on remarque que le fonctionnement avec les trois conduites d'amenée en parallèle permet de satisfaire les besoins en eau de refroidissement de la centrale constituée de quarts tranches (4x176Mw) et les prévisions en eau pour une éventuelle extension d'une même capacité.

Actuellement, l'exploitation de la centrale à pleine charge exige pour son refroidissement un débit estimé à 30 m³/s. Ce débit sera réparti au niveau des trois conduites travaillant en parallèle.

Compte tenu des conséquences de l'utilisations de l'eau de mer, la section de passage des conduites est exposée à des obstructions (réduction) dues à l'installation des moules sur les parois internes des conduites en béton.

Cette réduction de section va donc réduire le débit d'eau et de ce fait la capacité de chaque conduite d'amenée sera affectée.

Lors des visites des conduites en services (par des plongeurs), il a été constaté des dépôts de 200 à 350 tonnes de moules par conduite.

Ces dépôts vont constituer une réduction de la section de passage équivalente à long terme à une conduite d'amenée au plus.

De ce fait, la capacité disponible sera celle de deux conduites d'amenée.

Et pour cette réseau, suite aux études réalisée lors du projet et compte tenu des possibilités des entraves (dépôts excessif des moules), le constructeur a surdimensionné la prise d'eau qui à long terme et avec des conditions de réduction des sections des conduites, les besoins en eau de refroidissement seront satisfaites.

Et pour maintenir les conduites d'amenées, il est nécessaire de prévoir leur nettoyage lors des révisions générales.

Bibliographie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

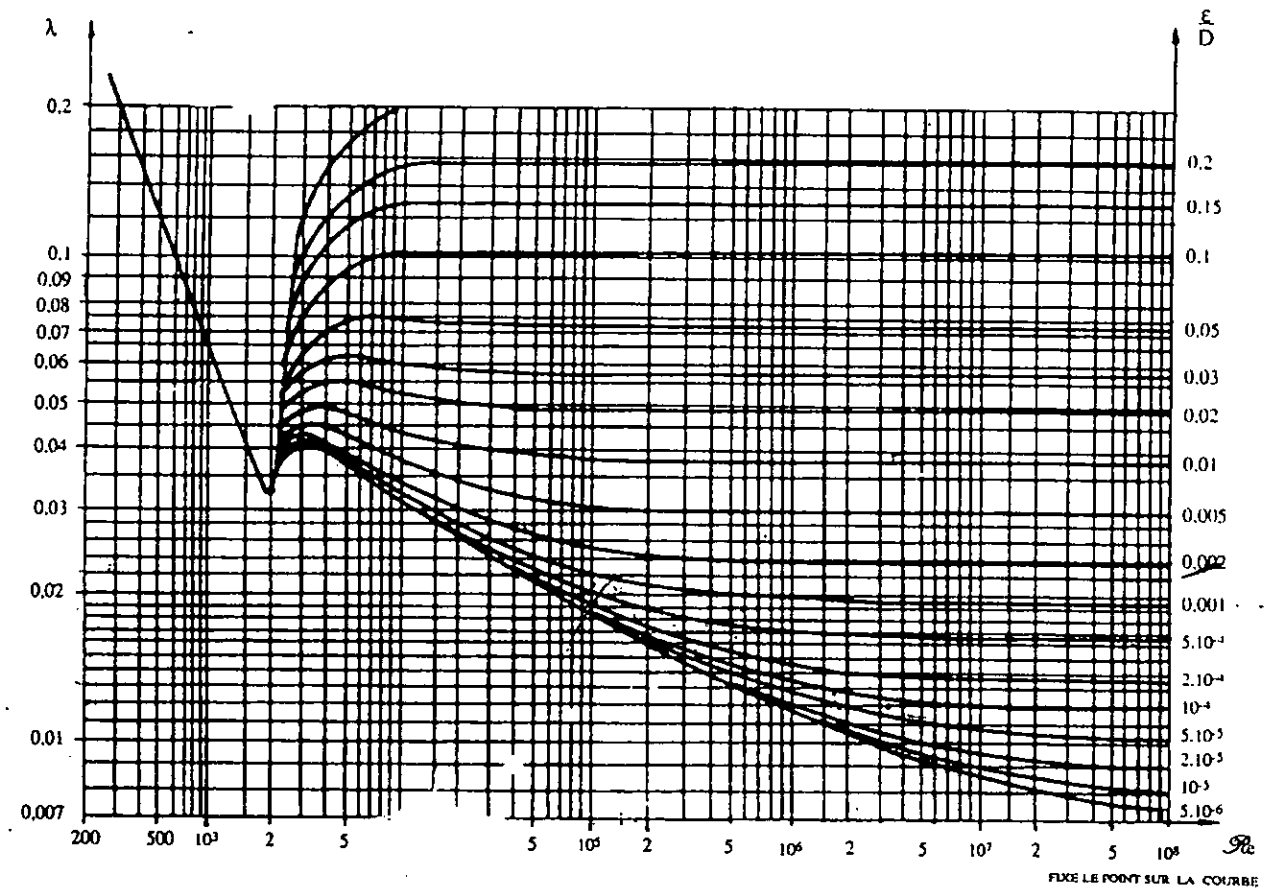
- [1] A. GHERSALLAH. *Le système d'eau de circulation*.
- [2] A. THYMA — *Machine hydraulique*. OPU 1990
- [3] A. DUPONT. — *Hydraulique urbaine*. EYROLLS 1979.
- [4] B. MACRASSOV — *Cours d'hydraulique*. MOSCOU
- [5] C. BOLARD ET J.P. METZ. — *centrales de production d'énergie électrique*.
Technique de l'ingénieur
- [6] C. BOLARD ET J.P. METZ. — *Les centrales thermique*. Technique de l'ingénieur
- [7] COMMISSARIA — *les sources froides des centrales électrique*. EYROLLS 1979
- [8] F. VALIRON — *La réutilisation des eaux usées*. DUBREGAM 1983
- [9] H. NOACK. — *Pratique des installations frigorifique*. PYC 1991
- [10] L. VIVIER. — *Turbine à vapeur et à gaz*. SALIN MICHEL 1965.
- [12] LENASON. — *Machines transformatrice d'énergie*. DELAGRAVE 1963.
- [13] LVIANT. — *Aménagement hydraulique*. DUNOD 1950.
- [14] M. Carlier — *Hydraulique générale et appliquée*. EYROLLS.
- [15] M. PLUVIOSE. — *Turbos machines hydraulique et thermique*. EYROLLS 1992
- [16] M.A. MOREL ET J.P. LABORDE. — *Mécanique des fluids (Tome 1 et 2)*. ELLEROYS
1992
- [17] M.J. RECARD — *Equipment thermique des centrales électrique*. DUNOD 1962.
- [18] Manuels établis par de la centrale de RAS DJINET. — *Description et exploitation*.
Volume 1.01.
- [19] RECKANGEL. — *Manuel pratique du génie climatique*. PYC Livres 1990
- [20] SOCIETE GENERALE D'ETUDE ET D'APPLICATION HYDRAULIQUE. — *les pompes et les petites stations de pompage*. SOGREAH 1978.
- [21] Catalogue des pompes ESSA-MICO

Annexes

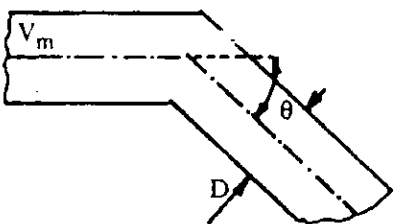
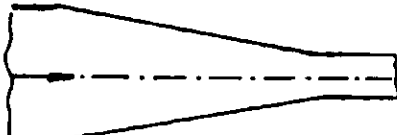
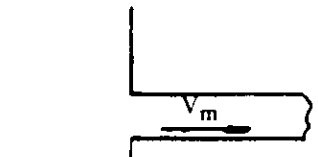
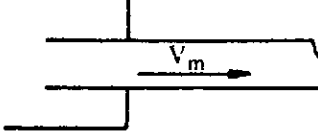
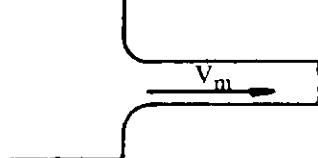
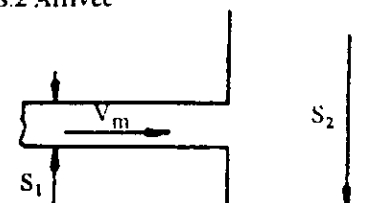
LU
HORIZONTALEMENT
EN FACE DU POINT.

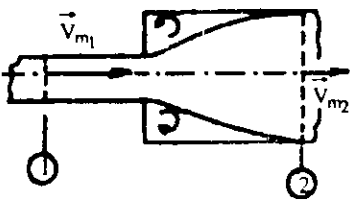
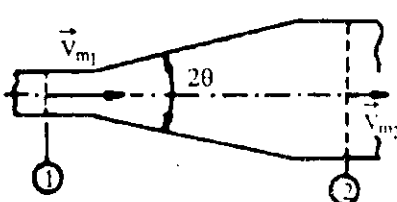
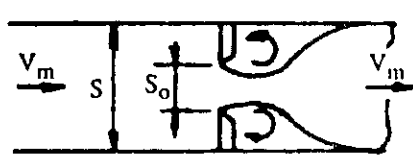
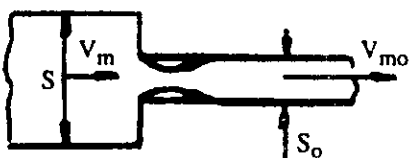
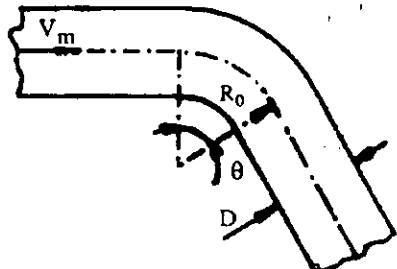
TRADUCTION GRAPHIQUE DE LA FORMULE DE COLEBROOK




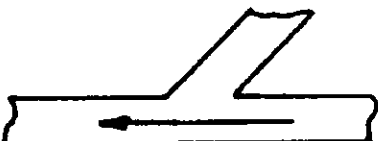



FIXE LA COURBE

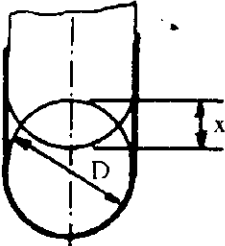
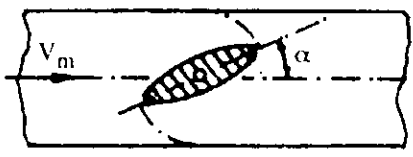
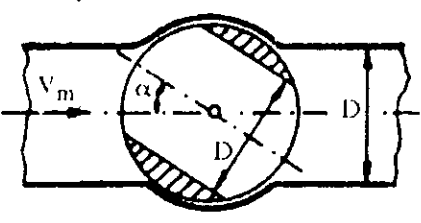
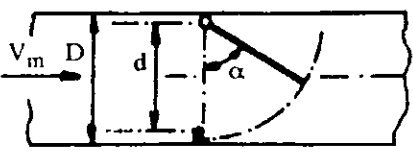



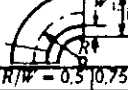

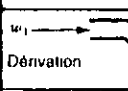
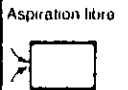

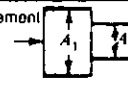
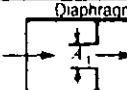
Annexe 1

SINGULARITE	PERTE DE CHARGE	VALEUR DE K
6) Coude à angles vifs 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	Formule de Weisbach $K = 0,947 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2}$
7) Rétrécissement progressif 	négligeable	
8) Raccordements Conduite-Réservoir 8.1 Départ a) brusque 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 0,5$
b) saillie 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 1$
c) profilé 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 0,05$
8.2 Arrivée 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9} \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 \text{ avec } S_2 \gg S_1$ $K \approx 1$ valable quelle que soit la forme d'arrivée

SINGULARITE	PERTE DE CHARGE	VALEUR DE K																								
1) Elargissement brusque 	$K \frac{V_{m1}^2}{2g}$	Formule de Barré de St Venant $K = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9} \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2$																								
2) Elargissement progressif 	$K \frac{V_{m1}^2}{2g}$	$K = b \left(\frac{d^2}{D^2} - 1\right)^2$ avec <table border="1" data-bbox="813 806 1324 1030"> <tr> <td>2θ</td> <td>5°</td> <td>6°</td> <td>7°</td> <td>8°</td> <td>10°</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>0.049</td> <td>0.062</td> <td>0.075</td> <td>0.088</td> <td>0.119</td> </tr> <tr> <td>2θ</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>0.245</td> <td>0.307</td> <td>0.389</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> </tr> </table> <p>Si 2 θ > 40°, il y a décollement du fluide; comportement comme un élargissement brusque</p>	2θ	5°	6°	7°	8°	10°	b	0.049	0.062	0.075	0.088	0.119	2θ	16	18	20	30	40	b	0.245	0.307	0.389	0.8	0.9
2θ	5°	6°	7°	8°	10°																					
b	0.049	0.062	0.075	0.088	0.119																					
2θ	16	18	20	30	40																					
b	0.245	0.307	0.389	0.8	0.9																					
3) Diaphragme 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = \left(\frac{S}{m S_0} - 1\right)^2 + \frac{1}{9}$ avec m = 0.62																								
4) Rétrécissement de Longueur L 	$K \frac{V_{m0}^2}{2g}$	$K = \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2 + \frac{1}{9}$ avec m = 0.62 K = 0.49 ; on prend K = 0.5 valable pour S suffisamment différent de S0																								
5) Coude 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	Formule de Weisbach $K = \left[0.131 + 1.847 \left(\frac{D}{2 R_0}\right)^{\frac{7}{2}} \right] \frac{\theta}{90^\circ}$ θ en degrés																								

SINGULARITE	PERTE DE CHARGE	VALEUR DE K
9) Branchements et dérivations de mêmes diamètres (d'après SCIMEMI)		
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 0,5$
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 1$
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 3$
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 0,05$
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 0,15$
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 1,5$
	$K \frac{V_m^2}{2g}$	$K = 0,10$

SINGULARITE	PERTE DE CHARGE	VALEUR DE K																														
ROBINETTERIES																																
<p>10) Vanne opercule</p> 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\frac{x}{D}$</th> <th>$\frac{1}{8}$</th> <th>$\frac{2}{8}$</th> <th>$\frac{3}{8}$</th> <th>$\frac{4}{8}$</th> <th>$\frac{5}{8}$</th> <th>$\frac{6}{8}$</th> <th>$\frac{7}{8}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0,07</td> <td>0,26</td> <td>0,81</td> <td>2,06</td> <td>5,52</td> <td>17</td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table> <p>La réduction du débit est sensible en fin de course.</p>	$\frac{x}{D}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$	K	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17	98														
$\frac{x}{D}$		$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$																								
K	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17	98																									
<p>11) Vanne papillon</p> 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0,24</td> <td>0,52</td> <td>0,90</td> <td>1,5</td> <td>3,9</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>40</th> <th>45</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>33</td> <td>118</td> <td>750</td> </tr> </tbody> </table>	α°	5	10	15	20	30	K	0,24	0,52	0,90	1,5	3,9	α°	40	45	50	60	70	K	11	19	33	118	750						
α°		5	10	15	20	30																										
K	0,24	0,52	0,90	1,5	3,9																											
α°	40	45	50	60	70																											
K	11	19	33	118	750																											
<p>12) Robinet à Boisseau</p> 	$K \frac{V_m^2}{2g}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0,05</td> <td>0,29</td> <td>0,75</td> <td>1,6</td> <td>3,1</td> <td>5,5</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> <th>50</th> <th>55</th> <th>60</th> <th>65</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>9,7</td> <td>17</td> <td>31</td> <td>53</td> <td>110</td> <td>206</td> <td>490</td> </tr> </tbody> </table>	α°	5	10	15	20	25	30	K	0,05	0,29	0,75	1,6	3,1	5,5		35	40	45	50	55	60	65	K	9,7	17	31	53	110	206	490
α°		5	10	15	20	25	30																									
K	0,05	0,29	0,75	1,6	3,1	5,5																										
	35	40	45	50	55	60	65																									
K	9,7	17	31	53	110	206	490																									
<p>13) Clapet à battant</p>  <p>$d = 0,73 D$</p>	$K \frac{V_m^2}{2g}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>90</td> <td>62</td> <td>42</td> <td>30</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>40</th> <th>45</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>14</td> <td>9,5</td> <td>6,6</td> <td>3,2</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table>	α°	15	20	25	30	45	K	90	62	42	30	20	α	40	45	50	60	70	K	14	9,5	6,6	3,2	1,7						
α°		15	20	25	30	45																										
K	90	62	42	30	20																											
α	40	45	50	60	70																											
K	14	9,5	6,6	3,2	1,7																											
<p>La Société PONT A MOUSSON donne les valeurs de K pour le clapet positionné horizontalement, comme sur le schéma alors que M. CARLIER (Hydraulique générale et appliquée) donne les mêmes valeurs pour le clapet positionné vericalement.</p>																																

<p>Coude</p> 		<p>aube directrice</p> 																																																																
<p>$R/D = 0.5 \quad 0.75 \quad 1.0 \quad 1.5 \quad 2$</p> <p>$\zeta = 0.9 \quad 0.43 \quad 0.33 \quad 0.24 \quad 0.19 \quad 0.17 \quad 0.15$</p>		<p>$R/D = 0.5 \quad 0.75 \quad 1.0 \quad 1.5 \quad 2$</p> <p>3 élém. $\zeta = 1.3 \quad 0.8 \quad 0.5 \quad 0.3 \quad 0.25$ 5 élém. $\zeta = 1.1 \quad 0.6 \quad 0.4 \quad 0.25 \quad 0.2$</p> <p>$W_1/W = 0.25 \quad \zeta = 0.4 \quad 0.25 \quad 0.2 \quad 0.1$ $W_1/W = 0.5 \quad \zeta = 0.5 \quad 0.3 \quad 0.2 \quad 0.1$</p>																																																																
<p>$h/b = 0.75 \quad 0.5 \quad 1.0 \quad 2.0$</p> <p>$\zeta = 2.1 \quad 1.7 \quad 1.2 \quad 0.6$</p>		<p>$R/W = 0 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8$</p> <p>$\zeta = 1.4 \quad 0.7 \quad 0.6 \quad 0.7 \quad 1.1$</p> <p>□ sans aubes $\zeta = 0.35$ avec aubes 0.1</p>																																																																
<p>Biturcation</p> 		<p>$R/W = 0.5 \quad 0.75 \quad 1 \quad 1.5 \quad 2$</p> <p>○ $\zeta = 1.1 \quad 0.6 \quad 0.4 \quad 0.25 \quad 0.2$ □ $\zeta = 1.0 \quad 0.5 \quad 0.25 \quad 0.15 \quad 0.1$</p> <p>$\alpha = 10 \quad 30 \quad 45 \quad 60 \quad 90^\circ$</p> <p>○ $\zeta = 0.1 \quad 0.3 \quad 0.7 \quad 1.0 \quad 1.4$</p>																																																																
<p>Dérivation</p> 		<p>$R/D = 0.5 \quad 0.75 \quad 1 \quad 1.5 \quad 2$</p> <p>○ $\zeta = 1.3 \quad 0.9 \quad 0.8 \quad 0.6 \quad 0.5$ □ $\zeta = 1.3 \quad 0.9 \quad 0.8 \quad 0.6 \quad 0.5$</p>																																																																
<p>Aspiration libre</p> 		<p>$R/D = 0.25 \quad 0.5 \quad 0.75 \quad 1.0$</p> <p>○ $\zeta = 0.9 \quad 0.6$ □ $\zeta = 1.25 \quad 0.7$</p> <p>$\alpha = 15 \quad 30 \quad 45 \quad 60 \quad 90^\circ$</p> <p>○ $\zeta = 0.5 \quad 0.3 \quad 0.3 \quad 0.4 \quad 0.7$</p>																																																																
<p>Elargissement</p> 		<p>valeurs de ζ_1</p> <p>$A_1/A_2 = 0.5^\circ$ 7.5 10 15 20 30</p> <p>$f = 0.5$ 0.07 0.09 0.13 0.21 0.27 0.28</p> <p>0.33 0.11 0.16 0.22 0.36 0.48 0.50</p> <p>0.25 0.13 0.20 0.28 0.46 0.62 0.63</p>																																																																
<p>Rétrécissement</p> 		<p>Diaphragme</p> 																																																																
<p>$A_2/A_1 = 0 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0$</p> <p>$\zeta_2 = 0.6 \quad 0.45 \quad 0.3 \quad 0.2 \quad 0.1 \quad 0$</p>		<p>$A_2/A_1 = 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0$</p> <p>$f_2 = 0.08 \quad 0.08 \quad 0.06 \quad 0.02 \quad 0$</p> <p>$A_1/A_2 = 0.9 \quad 0.8 \quad 0.7 \quad 0.6 \quad 0.5 \quad 0.4$</p> <p>$\zeta = 0.06 \quad 0.28 \quad 0.78 \quad 1.82 \quad 3.8 \quad 8.1$</p>																																																																
<p>$\alpha = 0^\circ \quad 30^\circ \quad 45^\circ \quad 60^\circ$</p> <p>$\zeta = 1 \quad 1.5 \quad 3.5 \quad 8$</p>		<p>$R/D = 0.5$</p> <p>$h/D = 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0$</p> <p>$\zeta = 1.6 \quad 1.2 \quad 1.05 \quad 1.0$</p> <p>$h/D = 0.1 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0$</p> <p>$\zeta = 0.7 \quad 0.4 \quad 0.7 \quad 0.8 \quad 0.8 \quad 0.8$</p>																																																																
<p>Grilles perforées</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Section libre en %</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>v pour $v = 0.5 \text{ m/s}$</td> <td>110</td> <td>30</td> <td>12</td> <td>6</td> <td>3.6</td> <td>2.3</td> <td>1.8</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>120</td> <td>33</td> <td>13</td> <td>6.8</td> <td>4.1</td> <td>2.7</td> <td>2.1</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>128</td> <td>36</td> <td>14.5</td> <td>7.4</td> <td>4.6</td> <td>3.0</td> <td>2.3</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>134</td> <td>39</td> <td>15.5</td> <td>7.8</td> <td>4.9</td> <td>3.2</td> <td>2.5</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>140</td> <td>40</td> <td>16.5</td> <td>8.3</td> <td>5.2</td> <td>3.4</td> <td>2.6</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>146</td> <td>41</td> <td>17.5</td> <td>8.6</td> <td>5.5</td> <td>3.7</td> <td>2.8</td> <td>2.1</td> </tr> </tbody> </table>		Section libre en %	10	20	30	40	50	60	70	80	v pour $v = 0.5 \text{ m/s}$	110	30	12	6	3.6	2.3	1.8	1.4	1.0	120	33	13	6.8	4.1	2.7	2.1	1.6	1.5	128	36	14.5	7.4	4.6	3.0	2.3	1.8	2.0	134	39	15.5	7.8	4.9	3.2	2.5	1.9	2.5	140	40	16.5	8.3	5.2	3.4	2.6	2.0	3.0	146	41	17.5	8.6	5.5	3.7	2.8	2.1	<p>Pour les grilles à grillage, la valeur de ζ est environ moitié moindre</p>	
Section libre en %	10	20	30	40	50	60	70	80																																																										
v pour $v = 0.5 \text{ m/s}$	110	30	12	6	3.6	2.3	1.8	1.4																																																										
1.0	120	33	13	6.8	4.1	2.7	2.1	1.6																																																										
1.5	128	36	14.5	7.4	4.6	3.0	2.3	1.8																																																										
2.0	134	39	15.5	7.8	4.9	3.2	2.5	1.9																																																										
2.5	140	40	16.5	8.3	5.2	3.4	2.6	2.0																																																										
3.0	146	41	17.5	8.6	5.5	3.7	2.8	2.1																																																										

$r/d = 0 \quad 15 \quad 30 \quad 45 \quad 60 \quad 75$ $\zeta = 0,25 \quad 0,6 \quad 3,5 \quad 17 \quad 95 \quad 600$						$\alpha^\circ = 0 \quad 15 \quad 30 \quad 45 \quad 60 \quad 75$ $\zeta = 0,25 \quad 0,7 \quad 2,2 \quad 6,5 \quad 20 \quad 60$						$\alpha^\circ = 0 \quad 15 \quad 30 \quad 45 \quad 60 \quad 75$ $\zeta = 0,25 \quad 1,1 \quad 3,3 \quad 10 \quad 30 \quad 90$					
$l/d \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4$ $\zeta \quad 3,5 \quad 1,7 \quad 1,6 \quad 1,7$						$l/d \quad 0 \quad 0,5 \quad 1 \quad 2$ $\zeta \quad 0 \quad 1,6 \quad 1,9 \quad 2,1$						$r/d \quad 2 \quad 4 \quad 6 \quad 8$ $\zeta \quad 0,6 \quad 0,4 \quad 0,2 \quad 0,1$					
<p>2 coudes $l = d \quad \zeta = 0,4$</p>						<p>$l = 0 \quad \zeta = 0,3$ $l = d \quad \zeta = 0,2$</p>						<p>$r/d = 1,5$ $l = d \quad \zeta = 0,3$</p>					
$w_2/w_1 = 0,4 \quad 0,6 \quad 0,8 \quad 1,0 \quad 1,5$ $\zeta_{2 tot} = 7,0 \quad 3,4 \quad 2,0 \quad 1,5 \quad 0,9$						$w_2/w_1 = 0,4 \quad 0,6 \quad 0,8 \quad 1,0 \quad 1,5$ $\zeta_{2 tot} = 5,0 \quad 2,2 \quad 1,2 \quad 0,9 \quad 0,5$						$w_2/w_1 = 0,4 \quad 0,6 \quad 0,8 \quad 1,0 \quad 1,5$ $\zeta_{2 tot} = 4,7 \quad 1,9 \quad 0,9 \quad 0,6 \quad 0,4$					
$\zeta_{2 ut} = 1,5$						$\zeta_{2 ut} = 0 \quad 0,3 \quad 0,7 \quad 0,9 \quad 1,0$						$\zeta_{2 ut} = 0 \quad 0 \quad 0,3 \quad 0,6 \quad 0,9$					
<p>Coude plat</p>																	
$h/b = 0,25$				$0,50$				$0,75 \dots 3,0$									
$R/b = 0,75 \quad 1,0 \quad 1,5 \quad 2,0$				$0,75 \quad 1,0 \quad 1,5 \quad 2,0$				$0,75 \quad 1,0 \quad 1,5 \quad 2,0 \dots 3,0$									
$\zeta = 0,55 \quad 0,45 \quad 0,3 \quad 0,2$				$0,45 \quad 0,3 \quad 0,2 \quad 0,15$				$0,4 \quad 0,2 \quad 0,15 \quad 0,10$									
<p>Caisson de refoulement $\zeta = 0,7 + 0,6 = 1,3$</p>						<p>$30^\circ \quad \zeta = 0,4 + 0,2 = 0,6$</p>											
$l/F \quad 0,1 \quad 0,2 \quad 0,3 \quad 0,4 \quad 0,5$						$0,1 \quad 0,2 \quad 0,3 \quad 0,4 \quad 0,5$						$0,1 \quad 0,2 \quad 0,3 \quad 0,4 \quad 0,5$					
$\zeta_1 \quad 0,7 \quad 1,0 \quad 1,8 \quad 2,9 \quad 4,0$						$0,2 \quad 0,4 \quad 0,75 \quad 1,3 \quad 2,0$						$0,07 \quad 0,15 \quad 0,35 \quad 0,6 \quad 0,9$					

Elément	Symbole	Coefficient de perte de charge singulière ζ_1, ζ_1 ou ζ_2			Perte de charge singulière Δp_s en N/m^2 (Pa)
Coude 90° lisse $r/d = 0,5$ 1,0 2,0 3,0		1,0			$\Delta p_s = \zeta \frac{\rho}{2} w^2$
		0,35			
		0,20			
		0,15			
Coude $\beta = 90^\circ$ 60° 45°		1,3			$\Delta p_s = \zeta \frac{\rho}{2} w^2$
		0,8			
		0,4			
Évasement continu rond $\beta = 10^\circ$ 20° 30° 40°		$A_1/A_2 = 0,5$	$\zeta_1 = 0,25$		$\Delta p_s = \zeta_1 \frac{\rho}{2} w_1^2$
		0,12	0,24		
		0,17	0,37		
		0,21	0,46		
		0,27	0,60		
brusque (Bords Carrot)		$\zeta_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$			$\Delta p_s = \zeta_1 \frac{\rho}{2} w_1^2$
		$\zeta_1 = 1,0$			
Contraction continue $\beta = 20^\circ \dots 90^\circ$		$A_2/A_1 = 0,2$	$\zeta_2 = 0,08$		$\Delta p_s = \zeta_2 \frac{\rho}{2} w_2^2$
		0,4	0,08		
brusque		$\zeta_2 = \frac{\zeta}{(1/\alpha - 1)^2}$			$\Delta p_s = \zeta_2 \frac{\rho}{2} w_2^2$
		$\zeta = (1/\alpha - 1)^2$			
aspiration libre		bords vifs $\alpha = 0,53$			bords dentelés $\alpha = 0,75$
		bords arrondis $\alpha = 0,90$			
Diaphragme arêtes vives		$\zeta = \left(\frac{A}{\alpha A_0} - 1\right)^2$			$\Delta p_s = \zeta \frac{\rho}{2} w^2$
		$\zeta = \left(\frac{A_2}{\alpha A_0} - 1\right)^2$			
Dérivation arêtes vives $w_1/w_2 = 0,5$ 1,0 2,0 3,0		$\beta = 90^\circ$	60°	45°	$\Delta p_s = \zeta_2 \frac{\rho}{2} w_2^2$
		4,5	3,1	2,0	
		1,5	0,77	0,43	
		0,74	0,47	0,45	
		0,62	0,58	0,54	
Obstacles $a/b = 0,10$ 0,25 0,50		■	○	◊	$\Delta p_s = \zeta \frac{\rho}{2} w^2$
		0,7	0,2	0,07	
		1,4	0,55	0,23	
		4,0	2,0	0,9	

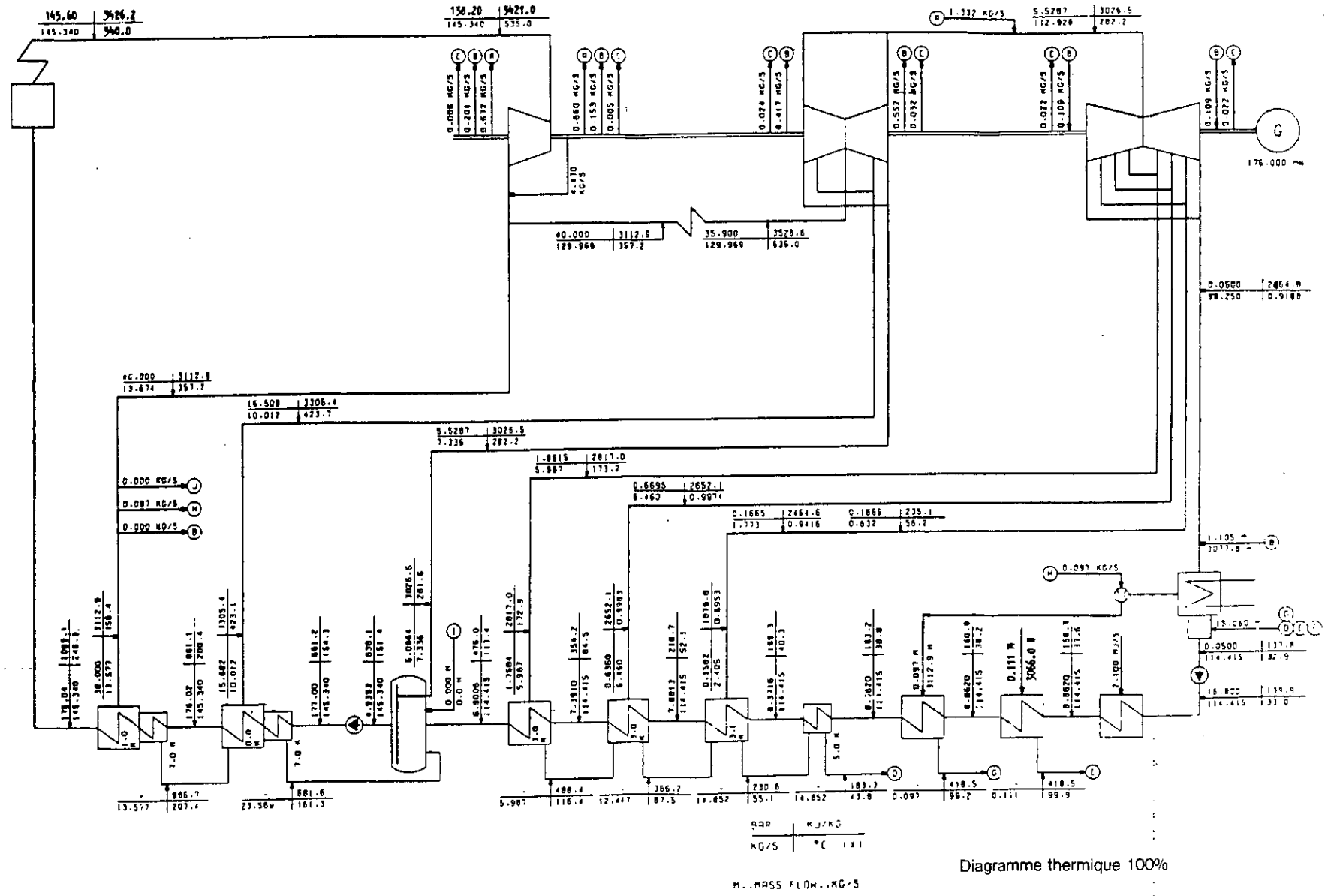


Diagramme thermique 100%

M. MASS FLOW - KG/S