

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONCEPTION D'UN
APPAREILLAGE SERVANT A L'ETUDE DE
LA REGENERATION EN REGIME
SEMI CONTINU DE L'HUILE MINERALE
ISOLANTE PAR ADSORPTION SUR
BENTONITE

17 PLANCHES

Proposé Par :

Etudié par :

Dirigé par :

Pr. S.E.CHITOUR M.MOHAMEDI

A.CIESLAK

PROMOTION : JUIN 88



الموضوع : إدراك جهاز ما مع لدراسة إعادة تكرير المطحولات الكهربائية المستعملة بتمريضها على البنتونيت في نظام نصف دائم.

الملخص : الهدف من العمل هو تصميم جهاز الذي سيسمح بدراسة إعادة تكرير الزيوت العازلة المستعملة في سبيل نصف دائم ، وهذا باستخدام طريقة صحن - تربة . لهذا الغرض ومنعنا طريقة تجريبية عمود ذي طرفين ثابت من البنتونيت على شكل أقراص . وذلك بتحقق نوعين من السيلان : من أعالي العمود ومن أسفله . ثم ومنعنا قياس الأجهز ، وبعد ذلك قمنا بأعداد تجريبية آتية خلالها منعنا الأقراص من البنتونيت واختبرنا خاصياتها الميكانيكية ، ثم ومنعنا البنتونيت إلى نوعين من التقوية : التأثير بالمغنيسيوم والحاربي ومنعنا أقراص جديدة وذلك من أجل اختبار رأي نوع من البنتونيت يمكن استعماله .

Sujet: Conception d'un appareillage servant à l'étude de la régénération en régime semi-continu de l'huile minérale isolante par adsorption sur bentonite.

Résumé: Le but de ce travail est de concevoir une installation qui permettra d'étudier la régénération de l'huile minérale isolante en régime semi-continu en utilisant le procédé acide-terre. Pour se faire, nous avons opté pour un procédé se déroulant dans une colonne à lit fixe de Bentonite en pastilles, en réalisant deux sens d'écoulement: La percolation et l'écoulement en pleine section. Nous dimensionnons l'appareillage puis nous avons fait une partie expérimentale dans laquelle on a fabriqué des pastilles de Bentonite et tester leurs propriétés mécaniques. Puis on a fait subir deux types de traitement à la Bentonite: l'activation thermique et l'activation par attaque acide, puis on a fabriqué de nouvelles pastilles dans le but de choisir la Bentonite à utiliser.

Subject: Design of an apparatus for the study the régénération of the used insulate mineral oils in semi-continuous rule by adsorption on Bentonite.

Abstract: The aim of this work is the Design of an apparatus wich will permit to study the regeneration of the used insulate oils in semi-continuous rule in using acid-clay process. For this purpose, we took the option of a fixed-bed column of lozenges Bentonite. The flow is to be in two ways: the percolation, and in full section. We put the dimensions of the apparatus; and then we did an experimental part in wich we make the lozenges of Bentonite and test their mechanical properties. In following we did to the Bentonite two types of treatments: attack acid and thermal treatment and we made a new lozenges in order to choose the Bentonite to use.

~ ●~DEDICACES~●~

- A mon père que j'estime beaucoup et à qui je lui dois tout.
- A ma mère qui demeure toujours un trésor de patience, et qui a toujours su me consoler et me rappeler qu'il y'a DIEU en qui puissant et miséricordieux.
- A mon frère et soeurs.
- A tous les enseignants que j'ai eu.
- A toute la promotion de 5^{ème} année.
- A tous ceux qui me sont chers.
- A toute l'équipe de l'Union d'ALGER.

~ MEMIBRES de JURY ~

المدرسة الوطنية المتعددة التقني
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Président: Mr. S.E.CHITOUR Professeur à l'E.N.P

Examineurs:

Mme F. MOHELLEBI Maitre Assistante à l'E.N.P
Mme S.HADDOUM Maitre Assistante à l'E.N.P
Mr. A.CIESLAK Maitre Assistant à l'E.N.P

~ ●●~ REMERCIEMENTS ~●●~

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma reconnaissance à monsieur A.CIESLAK, maître assistant à l'ENP, pour m'avoir guidé tout au long de ce travail, ainsi que pour les précieux conseils qu'il m'a prodigués. J'exprime ma profonde gratitude à Mr S.E.CHITOUR, Professeur à l'ENP pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury. Que madame F.MOHELLEBI et madame HADDOUM, maîtres assistantes à l'E.N.P, soient remerciées pour avoir accepté de faire partie du jury.

Ce travail fait partie d'un projet de recherche sur la régénération des huiles usagées au sein du laboratoire de valorisations des énergies fossiles de département de Génie-Chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

Introduction 1

A - PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : LES HUILES ISOLANTES

I.1 Définition 4

I.2 Les différentes catégories d'huiles et liquides isolants

I.3 Les huiles minérales isolantes 6

 I.3.1 Origine

 I.3.2 Les huiles de base

 I.3.3 Les tendances des huiles de base

 a. La tendance paraffinique

 b. La tendance naphénique

 c. La tendance aromatique

 I.3.4 Rôle des additifs

 a. les antioxydants

 b. les améliorants du point d'écoulement

I.4 Caractéristiques d'une huile isolante 11

 I.4.1 Caractéristiques électriques

 a. La rigidité diélectrique

 b. Le facteur de pertes diélectriques

 c. La permittivité relative

 d. La conductivité

 I.4.2 Caractéristiques d'étude.

I.5 Rôle d'une huile isolante dans un transformateur 13

CHAPITRE II : DETERIORATION DES HUILES MINERALES ISOLANTES

II.1 Les principaux contaminants..... 15

II.1.1 Eau

II.1.2 Gaz dissous

a. Oxygène

b. Autres gaz

II.1.3 Les particules solides et poussières

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE III : LA REGENERATION DES HUILES MINERALES

III.1 Les procédés de régénération..... 18

III.1.1 Procédé acide-terre

III.1.2 Procédé MATTHYS GARAP

III.1.3 Procédé I.F.P

III.1.4 Procédé B.E.R.C

III.1.5 Procédé K.T.I

III.1.6 Procédé par percolation

B. PARTIE CONCEPTION

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE L'INSTALLATION

IV.1 La Percolation..... 27

- Fonctionnement

IV.2 L'écoulement en pleine section..... 30

- Fonctionnement

I.V.3 Régénération de la Bentonite..... 32

IV.3.1 La Bentonite naturelle

IV.3.2 La Bentonite activée

IV.3.3 Conclusion



Introduction	1
A - PARTIE THEORIQUE	
CHAPITRE I: LES HUILES ISOLANTES	
I.1 Définition	4
I.2 Les différentes catégories d'huiles et liquides isolants	
I.3 Les huiles minérales isolantes	6
I.3.1 Origine	
I.3.2 Les huiles de base	
I.3.3 Les tendances des huiles de base	
a. La tendance paraffinique	
b. La tendance naphénique	
c. La tendance aromatique	
I.3.4 Rôle des additifs	
a. les antioxydants	
b. les améliorants du point d'écoulement	
I.4 Caractéristiques d'une huile isolante	11
I.4.1 Caractéristiques électriques	
a. La rigidité diélectrique	
b. Le facteur de pertes diélectriques	
c. La permittivité relative	
d. La conductivité	
I.4.2 Caractéristiques d'étude.	
I.5 Rôle d'une huile isolante dans un transformateur	13

CHAPITRE II : DETERIORATION DES HUILES MINERALES ISOLANTES

II.1 Les principaux contaminants 15

II.1.1 Eau

II.1.2 Gaz dissous

a. Oxygène

b. Autres gaz

II.1.3 Les particules solides et poussières

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE III : LA REGENERATION DES HUILES MINERALES

III.1 Les procédés de régénération 18

III.1.1 Procédé acide-terre

III.1.2 Procédé MATTHYS GARAP

III.1.3 Procédé I.F.P

III.1.4 Procédé B.E.R.C

III.1.5 Procédé K.T.I

III.1.6 Procédé par percolation

B. PARTIE CONCEPTION

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE L'INSTALLATION

IV.1 La Percolation 27

- Fonctionnement

IV.2 L'écoulement en pleine section 30

- Fonctionnement

I.V.3 Régénération de la Bentonite 32

IV.3.1 La Bentonite naturelle

IV.3.2 La Bentonite activée

IV.3.3 Conclusion

CHAPITRE V: DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

V.1	Introduction	
V.2	Dimensionnement de l'échangeur à serpentin	36
V.2.1	Description de l'appareil	
V.2.2	Bases scientifiques pour le calcul d'un échangeur à serpentin	
V.2.3	Calcul des coefficients de transfert de chaleur	
	A- Convection forcée	
	B- Convection naturelle	
V.2.4	Longueur du serpentin	
V.2.5	Nombre de spires	
V.2.6	Corrélations sur les huiles minérales	
V.2.7	Application numérique	
V.3	Calcul de l'épaisseur du calorifuge	45
V.3.1	Méthode de calcul	
V.3.2	Application numérique	
V.3.3	Dimensions de la colonne	
V.3.4	Dimensions de la tuyauterie	
V.3.5	Caractéristiques de la pompe	
V.3.6	Dimensions des pastilles	
V.4	Choix des matériaux	50

C- PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE VI : PRINCIPE DU PASTILLAGE

VI.1	Introduction	52
VI.1.	préparation de la masse à pastiller	

VI.2 Amélioration du pouvoir d'adhésion des poudres.....

VI.2 Prédensification

VI.3 Amélioration des propriétés mécaniques

CHAPITRE VII : PASTILLAGE DE LA BENTONITE

VII.1 Préparation de la masse à pastiller.....56

VII.2 Fabrication des pastilles

VII.3 Vérification des propriétés mécaniques

VII.4 Conclusion

A- Activation de la Bentonite

A-1 préparation des échantillons.....58

A-2 appareil d'activation et mode opératoire

A-3 activation thermique

B- Pastillage de la Bentonite activée

Conclusion

D- PARTIE REALISATION

A. Réalisation de la chambre de compression.....63

B. Réalisation des poinçons de la matrice

CONCLUSION

Annexe

Bibliographie

- ●●- Introduction - ●●-

Au plan mondial, l'estimation du marché des huiles minérales isolantes était en 1985, de 500 000 tonnes, dont plus de 200 000 tonnes pour les Etats-Unis, et sans doute de l'ordre de 100 000 tonnes pour les pays de l'est.

La grande consommation de ces produits, et les diverses contraintes qu'ils présentent ont incité certains pays à nécessiter leur régénération après détérioration.

Parmi ces contraintes, on note l'absence de biodégradabilité de ces produits, et les risques de formation de produits toxiques en combustion incomplète.

Aux contraintes d'environnement et de toxicité, il faut ajouter les contraintes économiques qui furent et qui sont un facteur important de créativité.

C'est pourquoi, le développement industriel de notre pays nécessitant la révalorisation ainsi que la conservation de toutes les ressources vitales, ce qui conduit au principe de la réutilisation des huiles minérales isolantes usagées en procédant à leur régénération.

Les huiles minérales isolantes usées contiennent différents contaminants qui sont produits soit au cours du fonctionnement normal du transformateur, soit introduits accidentellement par le milieu environnant.

La régénération consiste à éliminer tous les contaminants de l'huile et à lui redonner ses spécifications d'origine.

Actuellement plusieurs procédés sont mis en oeuvre pour réaliser cette opération. Chaque procédé ayant ses propres moyens d'exécution avec cependant des avantages et des inconvénients.

La régénération des huiles usées doit être traitée en rapport avec les nécessités, les ressources et les capacités d'un pays.

Certaines recherches concernant la régénération des huiles isolantes ont été effectuées au niveau du département de Génie-Chimique de l'ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER. C'est dans ce cadre que notre travail sera axé.

Le procédé utilisé à cet effet est le procédé acide-terre en régime discontinu et s'est basé sur la détermination des paramètres optima régissant les meilleures conditions de décoloration.

Le régime discontinu nécessite le passage par plusieurs étapes successives, au cours desquelles plusieurs facteurs extérieurs intervenaient et jouaient un rôle défavorable pour l'obtention d'une bonne qualité et d'un bon rendement de l'huile.

Pour cela nous suggérons une méthode traitant deux aspects technologiques à savoir : la qualité et le rendement ; c'est dans ce domaine que la régénération doit nous intéresser.

Dans ce projet nous présentons une conception d'un appareillage de laboratoire servant à l'étude de la régénération en régime semi-continu de l'huile minérale isolante par adsorption sur bentonite en pastilles.

Notre première tâche a consisté d'abord en la réunion de tous les documents relatifs aux travaux effectués sur la régénération des huiles minérales [1] et [2] de faire une synthèse de ceux-ci et en tenant compte des différentes

constatations, nous avons pensé sur une méthode pouvant éliminer certaines contraintes et limiter les étapes du procédé acide-terre, et pouvant aussi traiter deux aspects en même temps: la qualité et le rendement.

- Ce présent projet peut être partagé comme suit:
 - une partie théorique englobant diverses informations sur les huiles minérales isolantes ainsi que les différents procédés de régénération;
 - une partie présentant le principe de fonctionnement du procédé adopté;
 - une partie conception dans laquelle on fait le dimensionnement de l'installation;
 - une partie relative au choix des matériaux;
 - une partie expérimentale portant sur le choix du type de Bentonite à utiliser;
 - une partie technique comportant les divers schémas techniques de fabrication des éléments de l'installation.

1^{re} PARTIE THEORIQUE

LES HUILES ISOLANTES

I-1 Définition

Les liquides comme la plupart des matériaux - à l'exclusion des métaux, des alliages et des sels fondus sont des diélectriques: leurs molécules forment un assemblage de charges électriques liées, retenues par des forces de rappel élastiques. [3]

Parmi les liquides, diélectriques, on rencontre une certaine catégorie d'huile, ce sont les huiles minérales isolantes issues du pétrole brut, destinées aux techniques des hautes tensions (électrotechnique et électronique) dont la fonction principale est d'assurer un bon isolement.

I-2 Les différentes catégories d'huiles et liquides isolants

Les liquides isolants sont souvent considérés comme des sous produits des industries pétrolières ou pétrochimiques.

Dans ce sous-chapitre nous nous attarderons sur l'aspect concernant les huiles minérales et nous donnerons dans un tableau les différentes catégories d'huiles et liquides isolants (voir Tableau N° 1)

Tableau n° 1 Huiles et liquides Isolants [4]

catégorie	type	application	caractéristiques
huiles minérales	- naphthéniques - paraffiniques	matériels à haute tension transformateurs	bas point d'écoulement Stabilité à l'oxydation
hydrocarbures de synthèse	- polybutènes - alkylbenzènes - hydrocarbures alcoylés à noyaux aromatiques (DIPN) - alkylbiphényles (MIPBI) - alkyl diaryles alcanes (BT, DPT)	Câbles traversés Condensateurs Condensateurs Condensateurs	faible pertes diélectriques absorption gazeuse sous décharges partielles bonne rigidité diélectrique choc de foudre biodegradabilité absorption gazeuse sous décharge partielles
hydrocarbures halogénés	- askarels - polychlorodiphénylméthanes (TCBT + TCB) - polychloroalcanes	transformateurs de distribution, Condensateurs Transformateurs transformateurs	inflammabilité) inflammabilité) biodegradabilité)
esters organiques	- huiles végétales - esters simples - phtalates (DEHP) - esters complexes	Condensateurs pour générateur de choc Condensateurs au papier remplacement des PCB transformateurs de distribution	faibles pertes diélectriques permittivité relative à 20°C supérieure à 5 point de feu supérieur à 300°C
huiles Silicones	- polydiméthylsiloxanes PDMS - polydiméthylphénylsiloxanes	transformateurs de distribution transformateurs de distribution	bon point de feu supérieur à 300°C absorption gazeuse sous décharges partielles

a- Les huiles minérales

Les huiles minérales sont actuellement définies comme étant les huiles dérivées du pétrole brut. Elles sont très diverses et en général spécialement formulées par mélange pour répondre aux besoins de toutes sortes de machines et de toutes sortes de conditions opératoires (température, sollicitation mécanique, vitesse de rotation, métaux de construction etc....).

C'est pourquoi, les lubrifiants s'échelonnent depuis les huiles de très faible viscosité pour appareils de mesure délicats, jusqu'aux produits épais pour engrenages libres et câbles métalliques.

Ayant traité le rôle d'un lubrifiant et les divers types de lubrifiants liquides, nous allons nous pencher plus particulièrement sur les huiles minérales de types isolantes. [5]

I-3 Les huiles minérales isolantes

I-3-1 Origine

Les huiles minérales isolantes sont obtenues à partir de la distillation de pétroles sélectionnés (distillats).

Les huiles minérales isolantes ont pendant longtemps été fabriquées à partir de bruts naphthéniques, cependant devant les craintes de raréfaction de ces bruts, mais aussi devant leur origine très limitée, utilise-t-on maintenant et concurremment des bruts paraffiniques.

[4]

I-3-2 Les huiles de base [6]

Selon leur viscosité les fractions lubrifiantes sont appelées <distillat léger>, <distillat moyen>, <distillat lourd> chacune de ces fractions a un intervalle de distillation dont dépendent leurs caractéristiques usuelles telles que densité, viscosité, point d'éclair, etc....

Les fractions citées précédemment sont ensuite transformées en huiles de base proprement dites par des traitements successifs destinés à en retirer les constituants indésirables.

I-3-3 Les tendances des huiles de base

Les huiles de base répondent à trois grandes tendances chimiques de caractère spécifique particulier, ces tendances sont:

a- La tendance paraffinique

Elle est représentée par l'ensemble des hydrocarbures saturés à chaîne droite ramifiée ou non, mais non cyclique.

Les paraffines ramifiées qui sont les plus intéressantes, se rencontrent en quantité appréciable dans les fractions de bruts paraffiniques. Alors que les paraffines à chaîne droite de poids moléculaire élevé augmentent la température de congélation des huiles et doivent être retirées par déparaffinage.

Les caractères de cette famille d'huile riche en hydrocarbures paraffiniques sont:

- faible densité pour une viscosité donnée,

- variation relativement faible de la viscosité en fonction de la température,
- faible volatilité pour une viscosité donnée,
- faible pouvoir solvant.

b-La tendance naphténiq

Les types de naphténes ayant seulement quelques cycles par molécule et une prépondérance d'atomes de carbone sous la forme de longues chaînes paraffiniques possèdent probablement les propriétés qui sont les plus requises dans les huiles de graissage.

Les caractéristiques physiques et chimiques de ces hydrocarbures se traduisent en particulier par :

- Une densité relativement élevée pour une viscosité donnée,
- des variations assez rapides de viscosité en fonction de la température,
- une plus grande volatilité que la fonction paraffinique correspondante de même viscosité,
- un pouvoir solvant relativement élevé.

c-La tendance aromatique

Les fractions présentent des caractères encore plus prononcés que les hydrocarbures naphténiques. Mais si leur densité est très élevée et leur indice de viscosité très faible, leur importance dans la composition des huiles finies est limitée.

I-34 Rôle des additifs

Les huiles de base ne sont pas utilisées telles quelles. En pratique, on fait appel à certains additifs ou dopes. Ces derniers sont ajoutés intentionnellement à faible dose pour améliorer certaines caractéristiques de l'huile de base, tels que l'indice de viscosité, le pouvoir antioxydant, etc...

I-34-1 Les différents additifs

Il existe de nombreux additifs qui sont d'une importance capitale dans les huiles minérales isolantes, qui sont :

a- Les antioxydants

Ce sont des additifs incorporés à un isolant liquide pour réduire ou retarder sa dégradation par oxydation. Pour cela on distingue deux catégories d'huiles minérales isolantes.

- Huile non inhibée

C'est une huile isolante qui ne contient pas d'antioxydant, mais qui peut contenir d'autres additifs.

- Huile inhibée

C'est une huile minérale isolante qui contient un antioxydant de (0.15 à 0.40%) en masse de 2,6-di-tert-butyl-paracrésol (DBPC) ou de 2,6-di-tert-butyl-phénol (DBP). [1]

b- Les améliorants du point d'écoulement

Les améliorants du point d'écoulement s'avèrent en mélange, avec les huiles, des corps chimiquement et électriquement stables.

Ils sont utilisés depuis très longtemps dans l'industrie

pétrolière. On peut citer :

- les polymères du type ester acrylique;
- les hydrocarbures du type polystyrène alkylé.

Pour résumer leur mode d'action, ce sont des polymères qui ont pour mission de différer l'imbrication et la cohésion des micro-cristaux de paraffine afin de maintenir un écoulement Newtonien (ou proche) à la température la plus basse d'utilisation, tout en conservant les propriétés spécifiques des huiles paraffiniques, qui ont naturellement une excellente rhéologie à froid (variation de la viscosité en fonction de la température plus faible que celle des naphthéniques).

[7]

I-4 Caractéristiques d'une huile isolante

I-4-1 Caractéristiques électriques

Les caractéristiques électriques des liquides dépendent de leur formulation (composition, constitution moléculaire, etc), et de leurs conditions d'utilisation ou conditionnement (filtration, déshydratation, etc.).

La permittivité, la rigidité diélectrique, la conductivité et le facteur de pertes, sont les caractéristiques électriques principales.

[4]

a-La rigidité diélectrique

C'est la valeur du gradient du potentiel (intensité du champ maximale) au dessus duquel le diélectrique perd ses qualités d'isolant et se comporte comme un conducteur.

La rigidité diélectrique des huiles est une grandeur électrique dont la détermination expérimentale est définie par les normes.

Malgré cela elle ne constitue pas un bon critère de qualité des huiles isolantes mais un essai conventionnel destiné à déceler l'état plus ou moins grand de pollution physique du liquide.

A la rigidité diélectrique des huiles isolantes correspond une valeur donnée de la tension appliquée entre les électrodes: c'est la tension de claquage. [4]

b-Le facteur de pertes diélectriques

Lorsqu'on soumet à un champ électrique alternatif un isolant,

celui-ci est le siège de pertes désignées par pertes désignées par pertes diélectriques.

Le facteur de pertes est une fonction croissante de la température, de la tension et les impuretés (eau, fibres, etc.).

La valeur du facteur de pertes doit être considéré par l'ingénieur comme beaucoup plus significative de la qualité électrique des liquides employés que la conductivité. [4]

c-La permittivité relative

C'est une caractéristique liée à la formulation du liquide; elle définit la possibilité, sous l'action de champ électrique de libérer des charges. [4]

Elle est définie comme étant le rapport de la capacité d'un condensateur ayant pour diélectrique le liquide isolant (huile) à la capacité du même condensateur ayant le vide pour diélectrique.

Pour les huiles minérales isolantes elle est comprise entre 2.1 et 2.3 à 25°C. [4]

d-La conductivité

Si la permittivité est une caractéristique de constitution, la conductivité des liquides est une propriété de conditionnement.

La structure des liquides est à l'origine de substances étrangères considérées comme impuretés (poussières, particules, gaz dissous), qui, même en quantité aussi faible que quelques parties par million (p.p.m) ont une

influence sur les valeurs mesurées. [4]

I4-2 Caractéristiques d'étude

Les principales caractéristiques d'étude sont:

- La masse volumique et le coefficient de dilatation volumique;
- Les propriétés thermiques: - Capacité thermique massique,
- Conductivité thermique;
- Les propriétés d'écoulement: - viscosité,
- point d'écoulement,
- pouvoir lubrifiant.

[4]

I-5 Rôle d'une huile isolante dans un transformateur

L'huile utilisée dans un transformateur a pour fonction non seulement d'isoler et d'accroître la rigidité diélectrique mais aussi de refroidir le transformateur en circulant autour des noyaux et des bobinages. Cela signifie que cette huile doit être suffisamment fluide à des températures pouvant atteindre -40°C au moins dans certaines régions.

[9]

Outre de bonnes propriétés électriques, on attend des huiles isolantes d'autres qualités: ininflammabilité, faible viscosité, bonnes qualités thermiques.

[4]

Spécifications des huiles minérales [4]

Caractéristiques	Classe *		
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosité cinématique (Cst) à: <ul style="list-style-type: none"> + 40°C + 20°C - 15°C - 30°C - 40°C 	I et IA $\leq 16,5$ (≤ 40) ≤ 800	II et IIA ≤ 11 (≤ 25) ≤ 1800	III et IIIA $\leq 3,5$ (≤ 6) ≤ 150
• Point de feu en coupe ouverte °C	non spécifié		
• Point d'éclair en C.O. °C	≥ 140	≥ 130	≥ 95
• Point d'écoulement en °C	≤ -30	≤ -45	≤ -60
• Aspect	limpide et sans matières en suspension ni dépôt		
• Masse volumique à 20°C (kg/m ³)	≤ 895		
• Tension interfaciale à 25°C (N/m)	($\geq 40 \cdot 10^{-3}$) **		
• Indice de neutralisation sur huile neuve (d'acidité) [(mg KOH/g)]	$\leq 0,03$		
• Soufre corrosif	non corrosif		
• Additifs antioxydants	aucun pour les huiles non inhibées : type et concentration doivent être indiqués pour les huiles inhibées.		
• Stabilité à l'oxydation des huiles non inhibées:			
• Indice de neutralisation après essai (d'acidité) [(mg KOH/g)]	0,40		
• dépôt de masse	0,10		
• Tension de claquage			
- à la livraison (kV)	≥ 30		
- huile traitée	≥ 70		
• Facteur de dissipation diélectrique (à 90°C entre 40 et 60 Hz)	$\leq 0,005$		

* Classes I, II, III huiles non inhibées

Classes IA, IIA, IIIA huiles inhibées

** Les valeurs entre parenthèses correspondent à des essais facultatifs

DETERIORATION DES HUILES MINERALES ISOLANTES

Il n'y a pas de pièces d'équipement électrique qui ne dépendent pas d'un isolant sous quelque forme que se soit. Il est en effet nécessaire que le courant électrique emprunte le chemin désiré.

L'expérience montre qu'en majeure partie, les défauts des appareils électriques sont dus à des défauts d'isolants. [9]

Au sein du transformateur, sous l'influence de la chaleur, de l'eau, de la pression, de l'atmosphère oxydante, et de certains métaux tel le fer, ayant une action catalytique, les bases minérales pures constituant l'huile d'isolement sont l'objet d'oxydations et d'altérations plus ou moins intenses suivant leurs qualités et suivant les conditions de fonctionnement du transformateur.

II-1 Les principaux contaminants

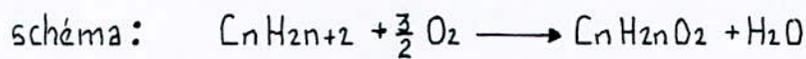
II-11 EAU

L'huile neuve n'a que peu d'affinité pour l'eau. Dans la pratique les huiles de transformateur contiennent des impuretés, et en particulier de l'eau.

En effet, au contact d'une atmosphère humide, elle se charge d'humidité, dans une proportion égale par rapport à la saturation,

de sorte que la teneur massique en eau peut atteindre 10^{-6} dans les liquides saturés non aromatiques, et quelques 10^{-4} dans les liquides aromatiques.

Hormis le cas de l'introduction accidentelle d'eau qui sature rapidement le liquide, l'eau normalement trouvée dans l'huile peut y avoir introduite soit par équilibre physico-chimique avec l'air atmosphérique, soit par une réaction d'oxydation de l'huile suivant le schéma:



[3]

II-1-2 Gaz dissous

a- OXYGENE

Les huiles minérales renferment un certain nombre de gaz, parmi lesquels l'oxygène qui provoque une oxydation de l'huile d'autant plus rapide que la température plus élevée.

Cette oxydation entraîne la formation de produits acides et, dans une phase ultérieure, de dépôts solides, en partie solubles dans l'huile, mais qui augmentent sa viscosité et peuvent se déposer sur les isolations avec lesquelles l'huile est en contact. [4]

Les produits d'oxydation directe sont toujours des peroxydes, produits éminemment instables, amorçant de véritables réactions en chaîne souvent nommées "oxydations autocatalytiques". [10]

b- Autres gaz

Parmi les autres gaz que renferme l'huile, un certain nombre peuvent provenir d'une altération de l'huile ou de celle des matériaux en contact avec elle, dont le papier, sous l'effet de diverses contraintes électriques ou thermiques.

Les gaz contenus dans l'huile sont susceptibles de se libérer sous l'effet d'un champ électrique intense, provoquant alors l'apparition de décharges partielles et la formation de nouveaux produits de dégradation. (4)

II-1-3 Les particules solides et poussières

La présence de tels polluants dans l'huile est indésirable à plusieurs égards:

- Ils jouent un rôle catalytique dans les réactions d'oxydation,
- les poussières et les fibres, vu leur légèreté (faible densité), ne se décantent pas, et sous l'effet du champ électrostatique, ils se polarisent et forment des chaînes conductrices,
- Ces polluants diminuent la rigidité électrique et la résistivité de l'huile. (11)

LA REGENERATION DES HUILES MINERALES

III-1 LES PROCÉDES DE REGENERATION

Il existe plusieurs procédés de régénération, se différenciant les uns des autres par la nature des moyens mis en oeuvre pour assurer l'élimination des impuretés, nous pouvons citer quelques procédés :

III-1-1 Procédé acide-terre [1]

Dans ce procédé, on réalise l'élimination des contaminants au moyen d'une précipitation acide. Ce traitement acide conduisant à la floculation des suspensions carbonées et à la sulfonation des produits oxydés, s'opère à une température de l'ordre de 15 à 30°C.

L'huile et 1 à 5% environ en volume d'acide sulfurique à 98% sont mélangés dans un bac de décantation à fond conique. Les boues acides qui en résultent sont précipitées dans le fond du bac et l'huile épurée fait ensuite l'objet d'autres traitements.

Après le traitement à l'acide, l'huile contient encore des acides de différentes sortes, en particulier sulfoniques, ainsi que de petites particules d'acide sulfurique.

La neutralisation a pour but de les transformer en sels.

La base la plus souvent utilisée pour la neutralisation est la chaux à raison de 1% en poids ou de la soude.

Cette neutralisation est suivie d'un traitement dit de finition dans lequel l'argile à grande surface spécifique est utilisée.

Ce procédé a été résumé dans le schéma N° 1

Ce procédé est le plus ancien et le plus employé de par le monde. C'est en fait celui qui possède le plus de références industrielles.

Récemment, il a bénéficié d'améliorations sensibles qui le modernisent considérablement (centrifugation). Celles-ci tendent à diminuer les quantités d'acide et de terre employées, donc par conséquent à augmenter les rendements en huile, et ce malgré les quantités de plus en plus importantes de dopes.

III-1-2 Procédé MATTHYS-GARAP [1]

Ce procédé est une variante du procédé acide, mais il combine la distillation à la précipitation acide, en vue d'une part de permettre le traitement continu des huiles et d'autre part, de diminuer considérablement le volume des boues.

Les traitements acides étant pratiques sur les fractions distillées, ceci favorise non seulement l'ajustement des volumes de l'acide sulfurique mais aussi leur diminution du fait qu'une grande partie des contaminants est trouvée dans le résidu de distillation.

Les étapes du procédé sont:

- décantation (déchets solides),
- Déshydratation éclair (eau),

PROCEDE DE REGENERATION ACIDE - TERRE

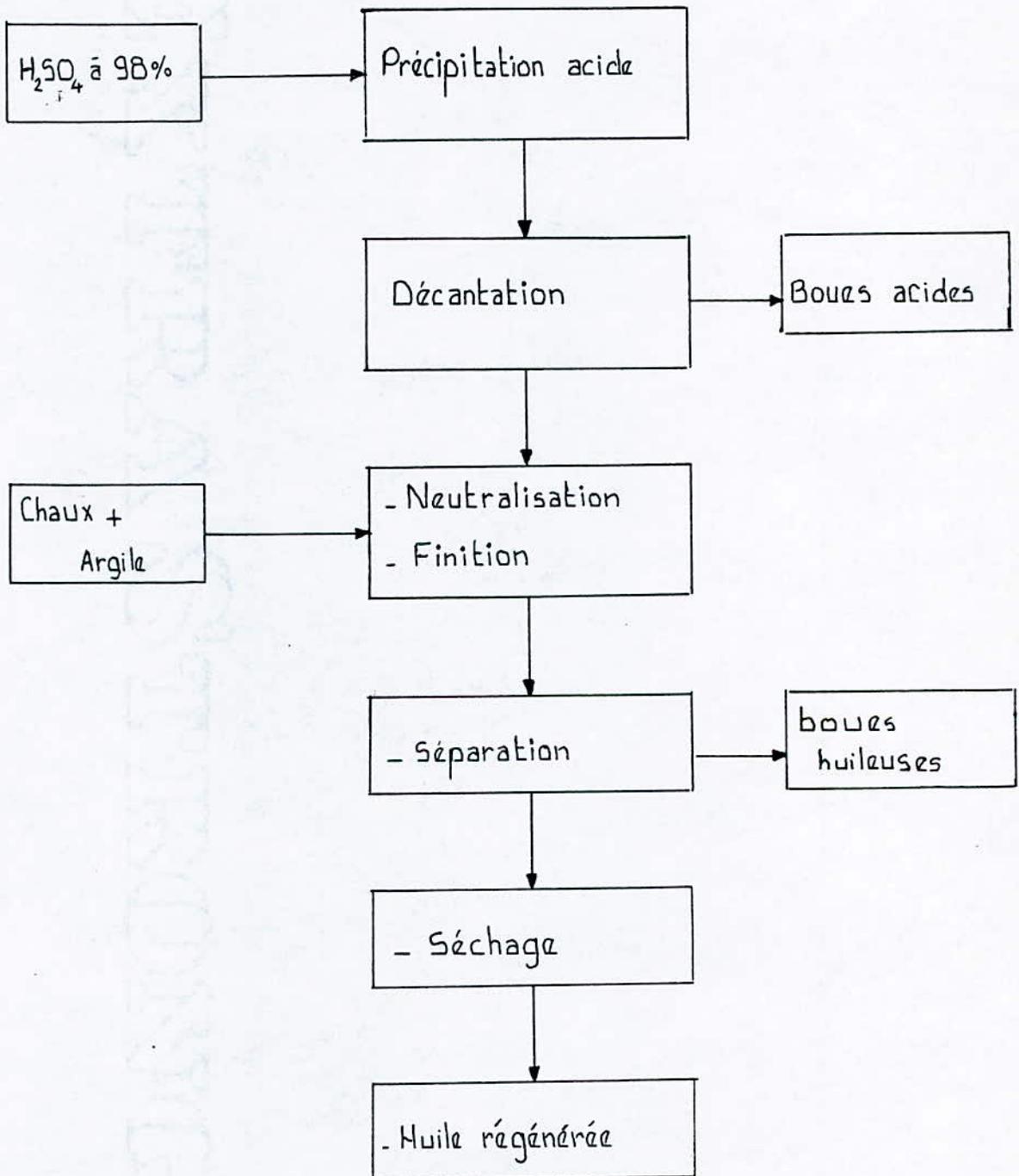


Schéma n° 1

- Distillation fractionnée,
- Acidification,
- Séparation des boues acides,
- Adsorption sur argile,
- Séparation des boues huileuses,
- Huiles de base.

III-1-3 Procédé I.F.P [1]

L'institut Français du pétrole a mis au point un procédé dans lequel le prétraitement de précipitation est réalisé au moyen du propane.

C'est un procédé sélectif qui présente un rendement élevé. Il nécessite cependant, un prétraitement complémentaire à l'acide, lui même suivi du traitement conventionnel à l'argile. Là aussi les quantités d'acide sont considérablement réduites.

Ce procédé est exploité en :

- ITALIE : 35 000 Tonnes/an ; depuis une dizaine d'années
- YOUGOSLAVIE : 20 000 Tonnes/an ; depuis deux ans,

Plus récemment, l'I.F.P a développé un nouveau procédé qui consiste en l'utilisation de l'ultrafiltration des huiles usées préalablement diluées au moyen du pentane.

L'ultrafiltration est réalisée au travers de membranes organiques

Processus du procédé I.F.P (voir schéma N° 2)

Avantages:

- bonne qualité d'huile,
- volume d'acide optimisé,

Inconvénients:

- important volume de propane,
- température et pression, complexité et procédé discontinu.

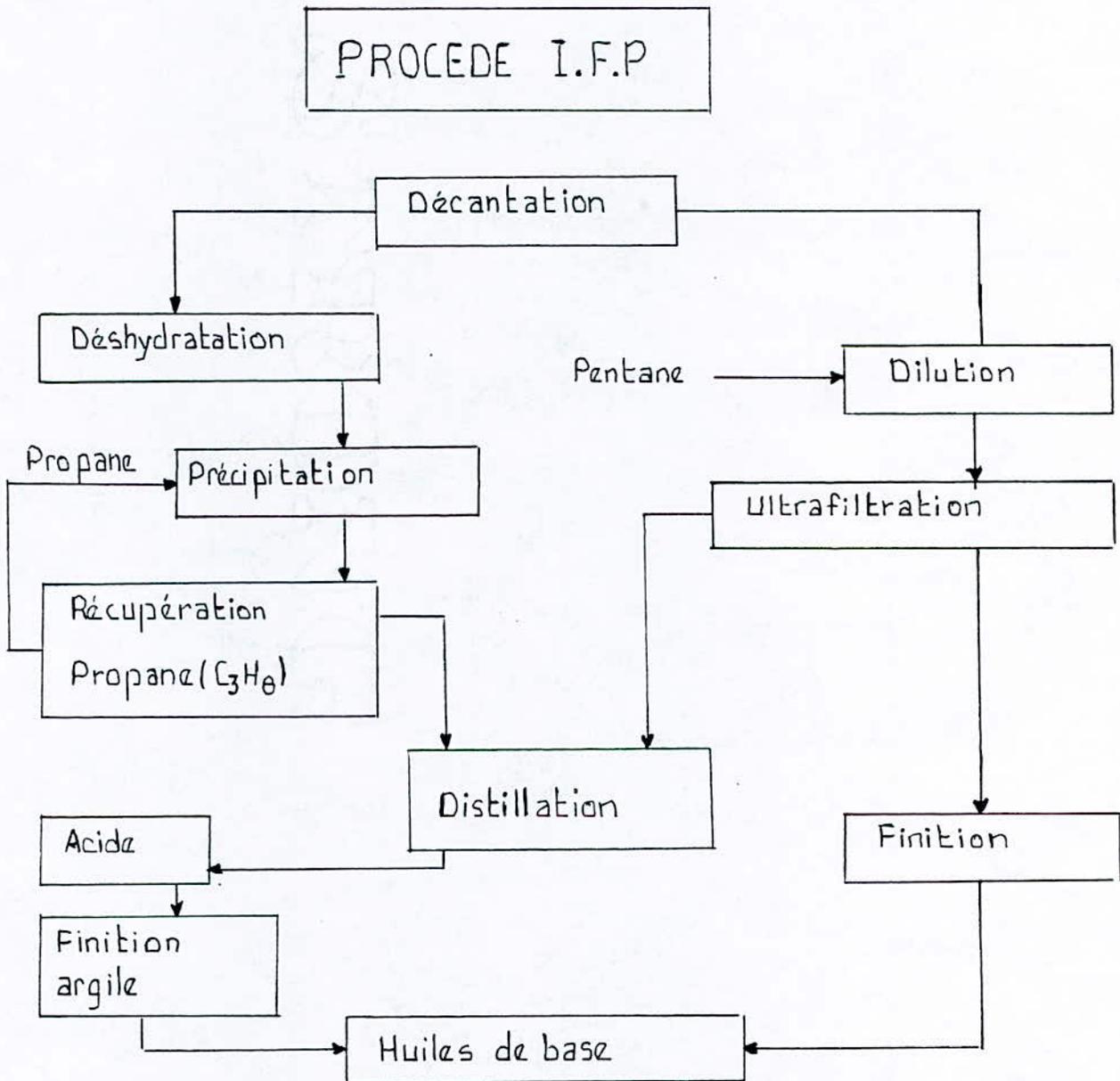


Schéma N°2

III-14 Procédé B.E.R.C (Boutlesville Energy Research Center) [1]

Cette technique de précipitation fait appel à l'utilisation de solvants qui provoquent la coagulation des différentes suspensions contenues dans l'huile usée.

Les étapes du procédé sont:

- Déshydratation,
- Traitement aux solvants (alcool + acétone),
- Séparation (boue),
- Récupération des solvants,
- Distillation sous vide,
- Hydrofinishing,
- Huiles de base.

L'avantage de ce procédé est de fournir des boues neutres dont l'élimination ne pose pas de problème particulier pour l'environnement et le rendement varie de 75 à 85%.

L'inconvénient: grande consommation d'énergie pour le prétraitement.

III-15 Procédé PROP (Phillips Petroleum Company) [1]

C'est à chaud, entre 150 et 200°C et sous pression de 25 kg/cm², que l'élimination des contaminants est réalisée dans ce procédé et ce, au moyen d'une solution aqueuse de sels d'ammonium. Leur rendement est de 75 à 90%.

La déshydratation de l'huile est réalisée après la précipitation.

Ce procédé présente un double avantages:

- Il est en accord avec les principes de la protection de l'environnement,

- Il est moins onéreux que le procédé B.E.R.C du fait que les solvants ne sont pas utilisés,

Cependant, il présente deux inconvénients:

- Celui de nécessiter un double traitement de finition,

- De ne pouvoir facilement être intégré dans une usine de traitement existante.

Pour les traitements de finition, ce procédé utilise l'argile comme adsorbant et puis un traitement à l'hydrogène.

III-16 Procédé K.T.I (Kinetic Technology Incorporation) [1]

Ce procédé utilise un évaporateur sous vide à couche mince, ce qui permet de limiter considérablement les contraintes thermiques que subit l'huile pendant la distillation et ce, qui par ailleurs, semble résoudre le problème des mousses.

Ce procédé comprend principalement les séquences suivantes:

- Assèchement atmosphérique pour l'enlèvement de l'eau et gasoline,

- Stripper sous vide pour la production du gas-oil,

- Distillation sous vide pour la récupération des huiles lubrifiantes,

- Hydrofinishing des distillats lubrifiants.

L'avantage majeur est que ce procédé fait intervenir seulement l'hydrogène comme agent chimique de traitement, donc pas de problème de pollution due à la disparition des boues acides ou caustiques. et la contamination de la terre par l'huile.

Avantages:

- Rendement: de 75 à 80%,
- Sous produits peu polluants.

Inconvénients:

- Faible pression,
- Investissements importants.

III-1-7 Procédé par percolation [12]

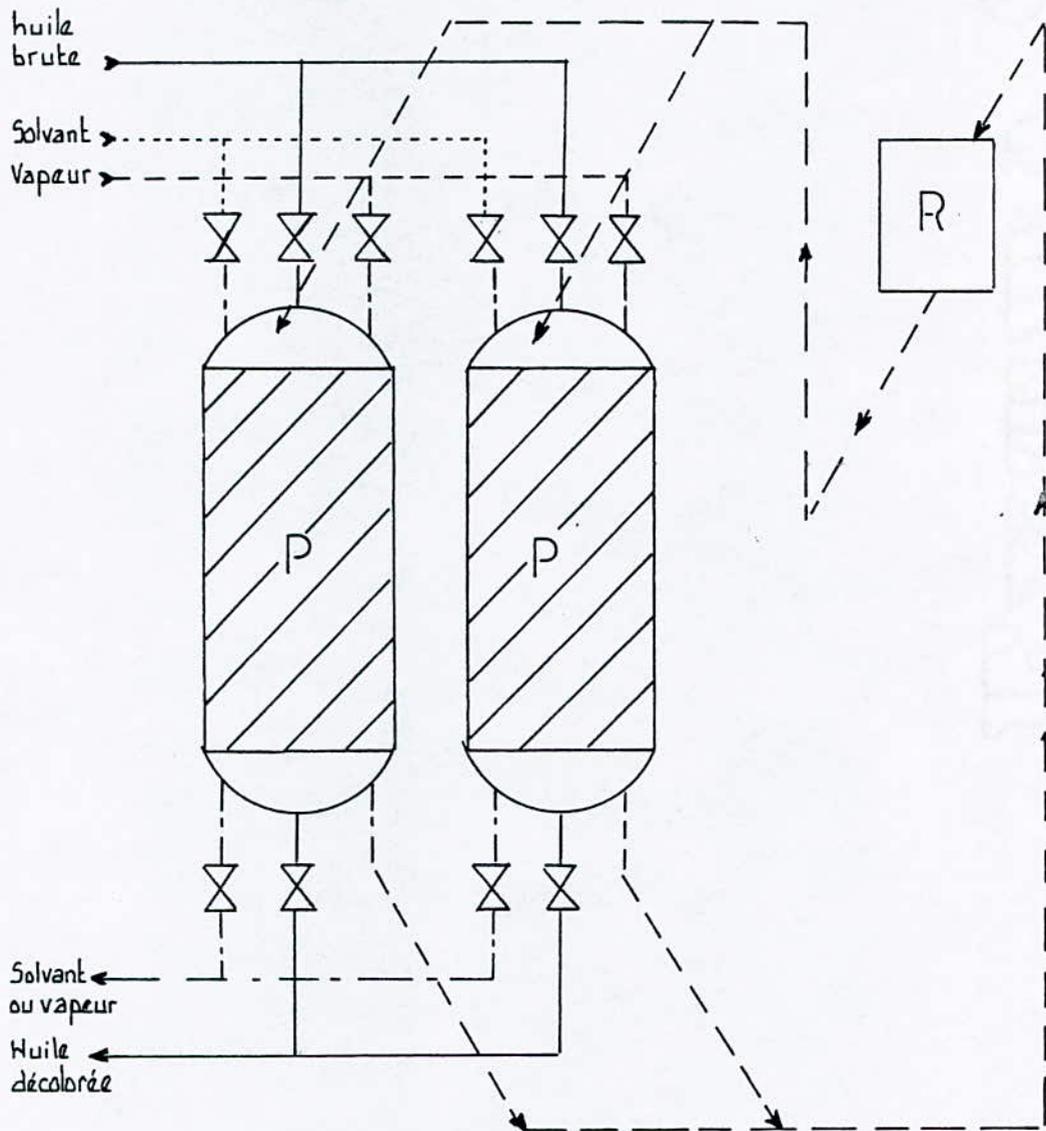
Dans ce procédé, le liquide à traiter s'écoule à travers un lit épais de l'adsorbant. Ce dernier est en général granulé et doit avoir une résistance mécanique suffisante et de granulométrie convenable, afin d'éviter la formation de canaux.

La vitesse d'adsorption en milieu liquide étant relativement lente, il faut adopter un temps de contact suffisant et régler en conséquence le débit du liquide. On peut augmenter la vitesse d'adsorption en élevant la température de l'opération.

L'écoulement du liquide se fait généralement par pesanteur. On arrête l'adsorption lorsque l'effluent n'a plus la qualité

requis. On procède à la régénération de l'adsorbant.

Ce procédé est applicable dans les opérations de décoloration des huiles minérales. (voir schéma N° 3)



P: percolateur

Schéma N° 3

R: four de régénération de l'adsorbant

PARTIE

CONCEPTION

~ • CHAPITRE IV • ~

Le régime de travail de cette installation est un régime semi-continu. L'opération a pour but de réaliser le contact par adsorption de l'huile sur bentonite.

Le fonctionnement comporte deux circuits :

- écoulement par percolation;
- écoulement en pleine section.

IV.1 Circuit 1: la percolation

La façon la plus courante d'effectuer une percolation consiste à faire passer le mélange fluide sur un lit fixe d'adsorbant. Lorsque le mélange est liquide, l'opération prend le nom de percolation. Dans tous les cas, elle se déroule de manière semi-continue et cyclique. Chaque cycle comprend essentiellement ;

- une adsorption au cours de laquelle la charge est envoyée sur l'adsorbant frais ;
- une désorption au cours de laquelle l'adsorbant est débarrassé de l'adsorbat ; au terme de cette désorption l'adsorbant est prêt pour une nouvelle adsorption .

Dans le traitement des huiles par percolation, la terre décolorante est disposée à l'état de granules ou de pastilles en lit fixe dans un adsorbeur cylindrique.

L'huile est passée lentement à travers la terre à une température aussi basse que le permet la viscosité.

Les premières gouttes d'huiles sont généralement très

Très décolorées et les suivantes le sens de moins en moins au fur et à mesure de l'épuisement des propriétés décolantes de la terre. On mélangera donc les fractions successives obtenues pour réaliser l'huile de couleur moyenne désirée.

[13]

Fonctionnement

- Avant le démarrage du procédé, il faut avant toute chose envoyer l'azote circuler dans toute l'installation puis au moyen de vannes de purge chasser l'air qui s'y trouvait;

- Ensuite on procède au remplissage du bac d'alimentation avec de l'huile isolante usée et on évacue encore une fois l'air de la partie supérieure du bac;

- On amorce la pompe doseuse, puis l'huile est chauffée au moyen de l'échangeur à serpentin, pénètre par pression en amont de la colonne, traverse le lit fixe de bentonite, puis retourne dans le bac d'alimentation;

- A l'apparition de l'effluent, la vanne de sortie est alors fermée pour permettre la purge d'air. On recueille l'huile jusqu'à ce que la totalité du produit ait atteint la spécification requise.

- A la fin de l'opération, on laisse s'égoutter l'huile restant dans le percolateur, puis on procède à la régénération de la terre épuisée.

(voir schéma N°4)

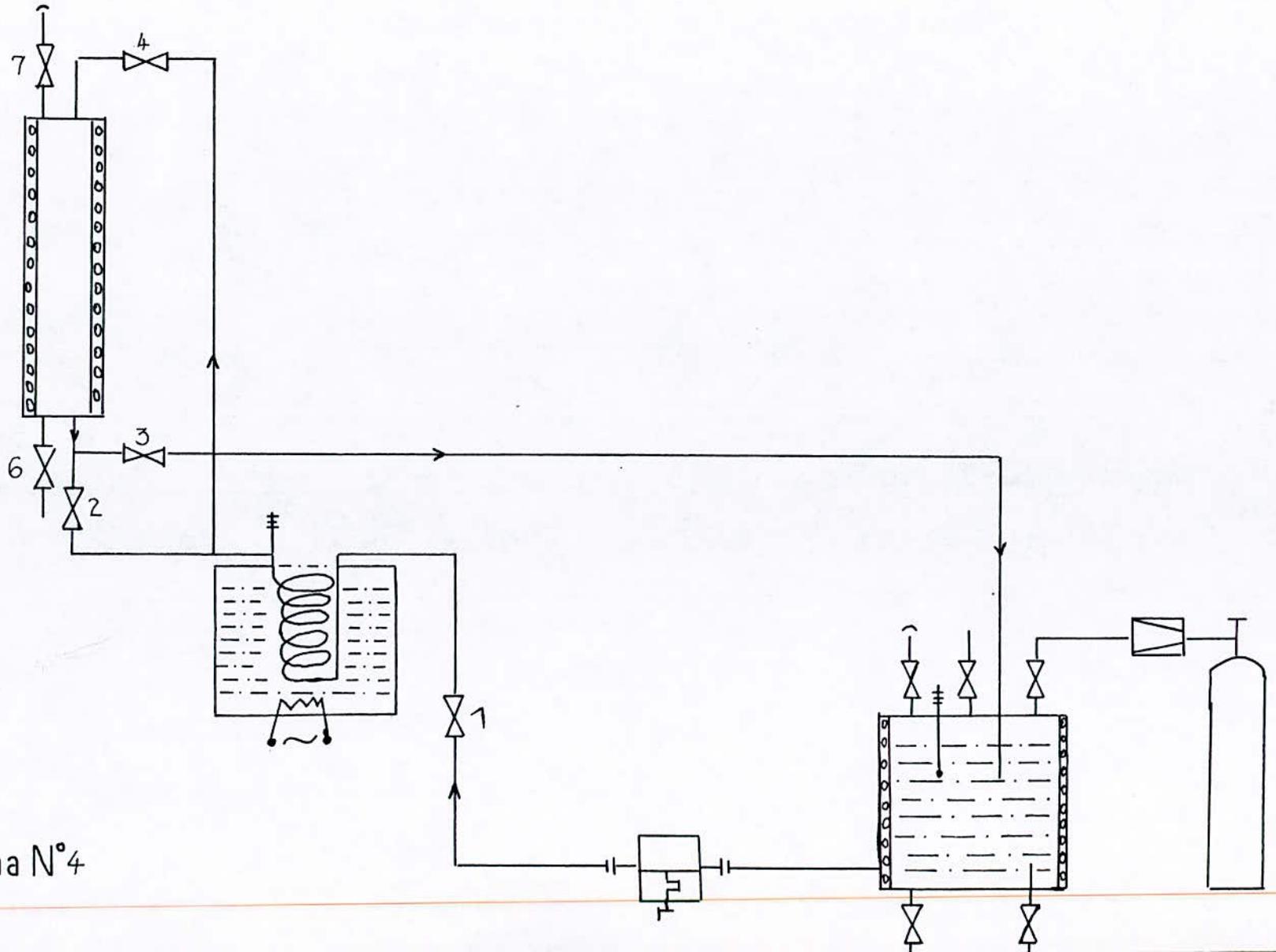


Schéma N°4

IV-2 Circuit 2: écoulement en pleine section

L'écoulement en pleine section est réalisé par pression en bas de la colonne.

Le fluide entre par la partie inférieure de la colonne passe à travers le lit fixe de Bentonite puis retourne vers le bac d'alimentation. (voir schéma 5)

Fonctionnement

- Remplir le bac d'alimentation avec de l'huile isolante usée;
- Appliquer une pression de gaz inerte (Azote) pour évacuer l'air qui se trouvait dans le réservoir, et l'air contenu dans l'huile.
- Actionner la pompe doseuse, l'huile passe à travers l'échangeur à serpentin où elle est chauffée pour diminuer sa viscosité.
- Ensuite l'huile pénètre par la partie inférieure de la colonne et traverse le lit de Bentonite puis retourne dans le bac d'alimentation.
- De temps en temps on effectue des prélèvements pour voir la qualité de l'huile.

Circuit 1		Circuit 2	
Vannes Ouvertes	Vannes fermées	Vannes ouvertes	Vannes fermées
1	2	1	3
4	5	2	4
3	6	5	6
	7		7

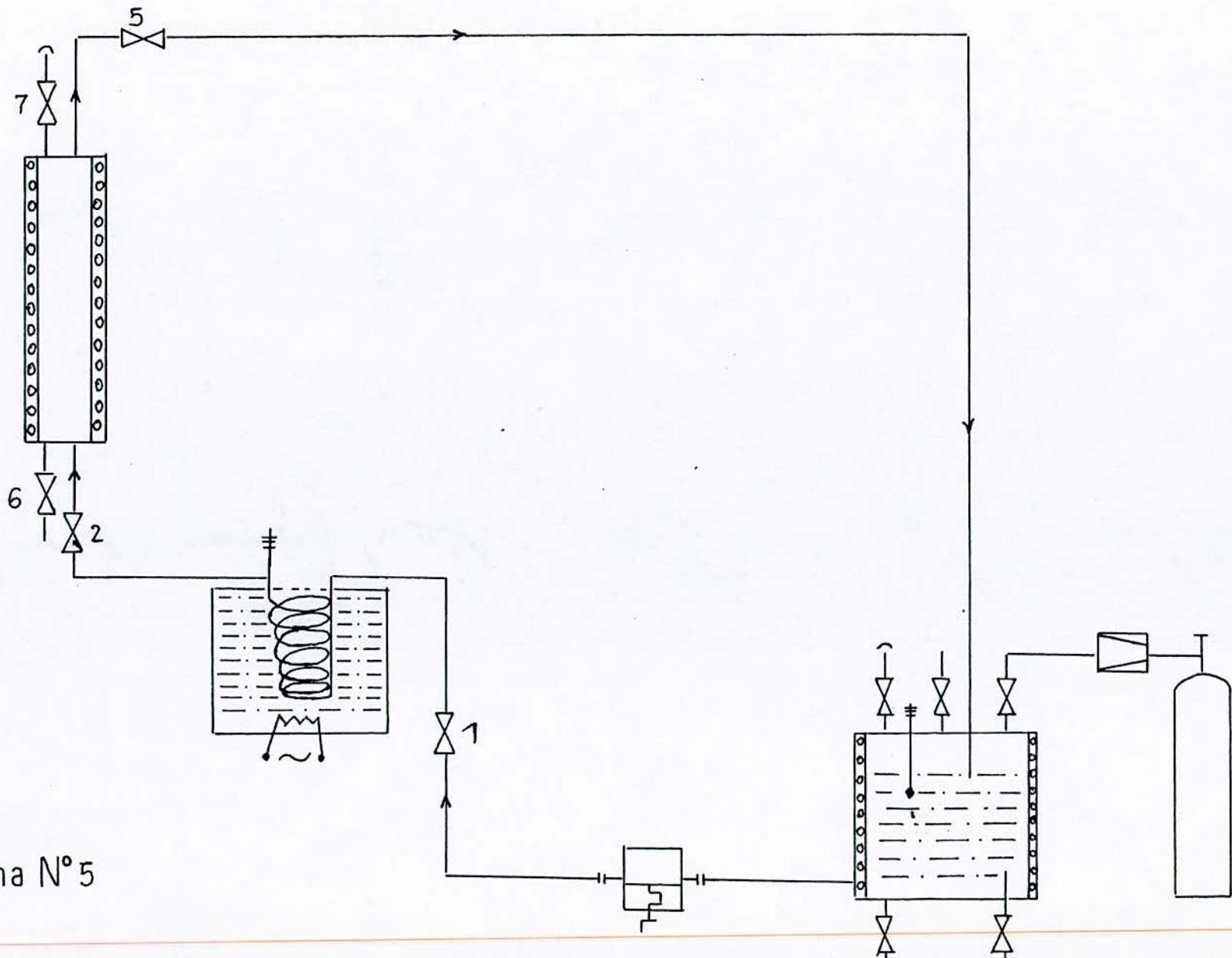


Schéma N° 5

IV-3 Régénération de la Bentonite

IV-3-1 La Bentonite naturelle

Ces terres étant naturellement décolorantes, et peuvent être régénérées après épuisement. Elles sont lavées par un solvant, séchées à la vapeur et calcinées dans un four à 550-650°C. Les terres ainsi régénérées peuvent être utilisées 6 à 20 fois avant d'être rejetées. [12]

IV-3-2 La bentonite activée

Après épuisement, la régénération de la bentonite activée, très difficile n'est que rarement pratiquée.

Cependant, nous proposons une méthode de régénération de la bentonite activée:

- On effectue à circuit fermé le séchage en utilisant un courant de gaz inerte chaud, ceci dans le but de faire évaporer l'eau adsorbée dans la Bentonite,

- lavage de la Bentonite avec une essence de pétrole pour éliminer les dernières fractions de l'huile,

- élimination par évaporation du liquide de lavage (essence) qui reste fixé sur l'adsorbant par injection de gaz inerte chaud;

- revivification de l'adsorbant, par exemple par calcination.

IV-3-3 CONCLUSION

L'appareillage a pour fonction principale la régénération de l'huile minérale isolante par adsorption sur bentonite.

L'opération se déroulant en régime semi-continu avec deux sens d'écoulement, l'écoulement par percolation et l'écoulement en pleine section.

La régénération se déroule dans une colonne à lit fixe constitué de Bentonite en pastilles. L'installation est équipée d'une pompe doseuse avec laquelle on peut étudier la variation du débit sur le procédé.

D'un échangeur à serpentin pour chauffer l'huile afin de diminuer sa viscosité et d'accroître ainsi la vitesse d'adsorption. D'une bouteille d'azote, dont le rôle est double : éliminer l'oxygène et déshydrater la bentonite. Des prises thermométriques pour contrôler la température. D'un système de vannes dont certaines seront utilisées pour la purge d'air.

DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

V-1 Introduction

Cette partie comprend essentiellement deux parties:

- Une partie choix des matériaux: dans laquelle, notre option s'est basée sur la disponibilité des matériaux.
- Une partie dimensionnement: dans laquelle on fixera les dimensions des divers accessoires de l'installation.

Nous donnons ci-après le schéma global de l'installation.

(Voir schéma N°6)

V-2 Dimensionnement de l'échangeur à serpentin

Lorsque d'importantes quantités de chaleur doivent être évacuées ou transférées, les méthodes normales de chauffage ne sont plus suffisamment efficaces. Dans ce cas le transfert de chaleur peut être effectué dans un échangeur externe monté dans une boucle de circulation. A cet effet on peut utiliser un échangeur à serpentin.

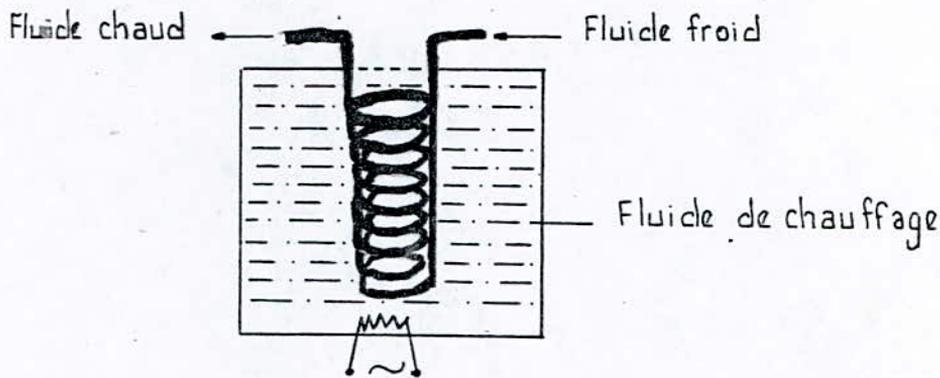
Dans notre cas, il s'agit de chauffer l'huile minérale isolante au moyen d'une autre huile, ceci afin de diminuer la viscosité de cette première.

V-2-1 Description de l'appareil

Ces échangeurs sont constitués par un tube enroulé en hélice ou en spirale. Ils sont utilisés pour chauffer ou pour maintenir en température un produit contenu dans un réservoir, par exemple de l'huile de chauffage. Le coefficient de transfert de ces échangeurs est assez médiocre. Il faut cependant noter que leur construction est tellement simple qu'on peut être généreux quant à la surface de chauffe.

Dans bien des cas, ils pourraient fournir le même service qu'un échangeur à tube en U ou à tête flottante, tout en étant beaucoup moins coûteux. [12]

V-2-2 Bases scientifiques pour le calcul d'un échangeur à serpentin



S'il s'agit de chauffer un fluide au moyen d'un autre fluide, la chaleur fournie par ce dernier doit exactement compenser celle gagnée par le fluide à chauffer, ce qui s'écrit : [13]

$$Q = A_s U_s \cdot D TLM = \dot{m} C_p (\theta_2 - \theta_1) \quad (5-1)$$

où :

$$D TLM = \frac{(\bar{T} - \theta_1) - (\bar{T} - \theta_2)}{\text{LN} \frac{(\bar{T} - \theta_1)}{(\bar{T} - \theta_2)}} \quad (5-2)$$

et :

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{U_p} + R_s} \quad (5-3)$$

avec :

$$U_p = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_o}{\lambda_c d_{me}} + \frac{1}{h_o}} \quad (5-4)$$

V-2-3C calcul des coefficients de transfert de chaleur

A/Convection forcée

La convection forcée est le mouvement d'un fluide causé par une force extérieure (pompe, ventilateur, etc.).

A-1 Circulation dans les tubes

a-Régime laminaire [12]

Le régime est laminaire si:

$$Re = \frac{u d_i \rho}{\eta} < 2100 \quad (5-5)$$

La formule de POLHAUSEN est applicable dans ce cas:

$$Nu = 4 P_r^{1/3} \quad (5-6)$$

$$\frac{h_i d_i}{\lambda} = 4 \left(\frac{3600 C_p \cdot \eta}{\lambda} \right)^{1/3} \quad (5-7)$$

b-Régime turbulent [12]

- Surfaces lisses ($Re < 10^5$), VERON propose:

$$Nu = 0,0395 \cdot Re^{0,75} \cdot P_r \quad (5-8)$$

- Surfaces lisses ($10^5 < Re < 10^6$) RIBAUD pose:

$$Nu = 0,0245 \cdot Re^{0,8} \cdot P_r \quad (5-9)$$

C_p, η, λ , sont calculés à la température moyenne entre l'entrée et la sortie.

B/Convection naturelle

La convection naturelle est le mouvement d'un fluide sous l'influence de différences de température sans l'intervention d'une force extérieure.

a-Fluides autour des tubes horizontaux

La corrélation de MAC ADAMS semble satisfaisante: [12]

$$Nu = 0,47 (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (5-10)$$

$$\frac{h_o \cdot d_o}{\lambda} = 0,47 \left(\frac{3600 \text{ g} \cdot d_o^3 \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot C_p \cdot \Delta t}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,25} \quad (5-11)$$

λ, ρ, C_p, η sont calculés à la température moyenne du film, moyenne arithmétique entre la température de la paroi et celle du fluide.

V-2-4 Longueur du serpent

$$L = \frac{A_s}{\pi \cdot d_o} \quad (5-12)$$

V-2-5 Le nombre de spires

$$n = \frac{L}{\pi D} \quad (5-13)$$

V-2-6 Corrélations sur les huiles minérales

a- Capacité calorifique à pression constante [14]

$$C_p = \frac{A}{\sqrt{d_4^{15}}} + B(\theta - 15) \quad (5-14)$$

b- Conductivité thermique [4]

L'équation de CRAGGÈE paraît satisfaisante :

$$\lambda = 0,117(1 - a\theta).d_4^{15} \quad (5-15)$$

c- Densité à 15°C [17]

$$d_4^{15} = d_4^t + K(\theta - 20) \quad (5-16)$$

d- Coéfficient de dilatation thermique [18]

Le coefficient de dilatation thermique est une propriété du fluide, défini comme la fraction qui augmente en volume, à pression constante, du fluide par degré de changement de température, où :

pour les liquides β peut être considéré constant sur un domaine de température défini et :

$$\beta = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\bar{\rho}_a (\tau_2 - \tau_1)} \quad (5-17)$$

$$\text{où } \bar{\rho}_a = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (5-18)$$

V-2-7 Application numérique

- Huile minérale isolante usée -

Q m^3/h	θ_1 $(^\circ C)$	θ_2 $(^\circ C)$	θ_m	ν_a $50^\circ C$ (cm ² /s)	ρ_a $50^\circ C$ (kg/m ³)	d_a $50^\circ C$	d_4^{15}
$5 \cdot 10^{-3}$	20	80	50	10,5	849,24	0,8595	0,8822

- Calcul du nombre de Reynolds

- vitesse d'écoulement

$$d_i = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$U = \frac{4Q}{\pi \cdot d_i^2}$$

$$U = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3600} = \underline{\underline{0,027 \text{ m/s}}}$$

de la formule (5-5) on a:

$$Re = \frac{0,027 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{10,5 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{20,57}}$$

Le Reynolds est inférieur à 2000, on est donc en régime laminaire on appliquera la corrélation de POLHAUSEN en convection forcée.

- Calcul de la capacité calorifique

de l'équation (5-14) on calcule:

$$A = 0,415$$

$$B = 0,0009$$

$$C_p = \frac{0,415}{\sqrt{0,8822}} + 0,0009 (50 - 15) = \underline{\underline{0,473 \text{ Kcal/kg} \cdot ^\circ K}}$$

- Calcul de la conductivité thermique -

de la formule (5-15) on aura:

$$a = 5,4 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda = 0,177 (1 - 5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 323,16) = \underline{125,63 \cdot 10^{-3} \text{ Kcal/h} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}$$

- Coefficient de transfert de chaleur interne

de la corrélation de POLHAUSEN on aura:

$$\frac{h_i d_i}{\lambda} = 4 \left(\frac{10,5 \cdot 10^{-6} \cdot 849,24 \cdot 0,473}{125,63 \cdot 10^{-3}} \cdot 3600 \right)^{1/3} = \underline{19,77}$$

d'où:

$$h_i = \frac{19,77 \cdot \lambda}{d_i} = \frac{19,77 \cdot 125,63 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-3}} = \underline{310,46 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

- Huile de chauffage -

θ_1 (°C)	θ_2 (°C)	θ_m (°C)	d_4^{15}	ρ à 90°C Kglm ³	ρ à 100°C Kglm ³	ρ_m Kglm ³	$\eta \times 10^{-3}$ Kglm·s	$\lambda \times 10^{-3}$ Kcal/h·m·K	C_p Kcal/kg·K
100	90	95	0,8885	812,81	801,01	806,91	8,71	121,93	0,512

$$d_o = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Les propriétés de l'huile de chauffage sont calculées avec les mêmes formules précédentes et sont résumées dans le tableau ci-dessus.

- Le coefficient de dilatation thermique

de (5-17) on aura:

$$\beta = \frac{812,81 - 801,01}{806,91 (100 - 90)} = \underline{1,46 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ ou } ^\circ\text{K}^{-1}}$$

A partir de la corrélation de MAC ADAMS (5-11) en convection naturelle

$$\frac{h_o d_o}{\lambda} = 0,47 \left(\frac{3600 \cdot 9,81 \cdot (10 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (806,91)^2 \cdot 1,46 \cdot 10^{-3} \cdot 0,512 \cdot 10}{121,93 \cdot 10^{-3} \cdot 8,71 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = \underline{9,42}$$

- Coefficient de transfert de chaleur externe

$$h_o = \frac{9,42 \cdot \lambda}{d_o} = \frac{9,42 \cdot 121,93 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} = \underline{114,85 \text{ Kcal/h m}^2 \cdot \text{K}}$$

- Quantité de chaleur échangée

$$d_{me} = 8,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$DTLM = 43,30^\circ \text{K}$$

$$R_s = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ h m}^2 \text{K/kcal}$$

$$\lambda_c = 325 \text{ Kcal/h m} \cdot \text{K}$$

de l'équation (5-4) on obtient :

$$U_p = \frac{1}{\frac{1}{310,46} + \frac{10}{8} + \frac{10 \cdot 10^{-3}}{325 \cdot 8,96} + \frac{1}{114,85}} = \underline{61,85 \text{ Kcal/h m}^2 \cdot \text{K}}$$

et de (5-3) on a

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{61,85} + 4,5 \cdot 10^{-4}} = \underline{60,17 \text{ Kcal/h m}^2 \cdot \text{K}}$$

La quantité de chaleur est tirée de (5-1) et sera

$$Q = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 849,24 \cdot 0,473 (353,16 - 293,16) = \underline{120,50 \text{ Kcal/h}}$$

et de (5-1) on aura

$$A_s = \frac{120,50}{60,17 \cdot 43,30} = \underline{4,62 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}$$

- La longueur du serpent

$$\text{de (5-12)} \quad L = \frac{4,62 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 1,47 \approx \underline{1,50 \text{ m}}$$

- Le nombre de spires :

$$D = 70 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad n = \frac{1,5}{3,14 \cdot 70 \cdot 10^{-3}} = \underline{6,82}$$

de (5-13)

On prendra 7 spires

-●●●-FICHE DE CALCUL DE L'ÉCHANGEUR-●●●-

Données	dans le tube	autour du tube
• Nature du fluide.....	huile minérale isolante	huile moteur
• Débit.....	5 dm ³ /h	stagnant
• Température d'entrée.....	20 °C	
• Température de sortie.....	80 °C	100 °C
• chaleur spécifique.....	0,473 Kcal/kg °K	0,512 Kcal/kg °C
• Masse volumique.....	849,24 Kg/m ³	806,91 Kg/m ³
• Conductivité.....	0,125 Kcal/hm °K	0,122 Kcal/hm °K
• Viscosité cinématique.....	10,5 cSt	10,8 cSt
• Impuretés éventuelles.....	poussières, eau, gaz	-
Caractéristiques		
• Type d'appareil.....	Echangeur à serpentín	
• Nombre de spires.....	7	
• Longueur utile.....	1,5 m	
• diamètre intérieur.....	8 mm	
• diamètre extérieur.....	10 mm	
• Entre-spires.....	5 mm.	

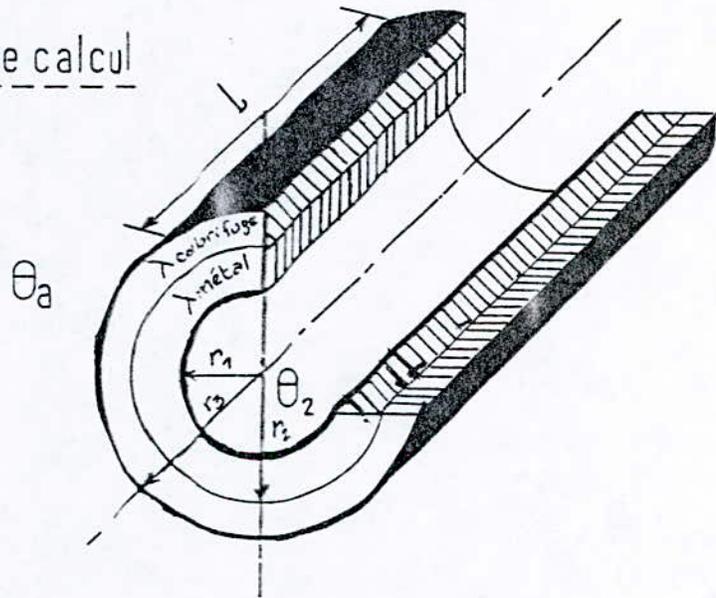
V-3 Calcul de l'épaisseur du calorifuge

Pour éviter la déperdition de la chaleur, nous devons calorifuger certains éléments de l'installation notamment, les parties où l'on veut maintenir une certaine température.

Les parties à calorifuger sont :

- La conduite à la sortie de l'échangeur à serpentin,
- La colonne,
- Le réservoir d'alimentation.

V-3-1 Méthode de calcul



Le flux de chaleur traversant radialement deux cylindres s'exprime comme suit : [18]

$$Q = \frac{2 \pi (\theta_2 - \theta_3)}{\left(\frac{1}{r_1 h_i} - \frac{\ln(r_2/r_1)}{\lambda_c L} - \frac{\ln(r_3/r_2)}{\lambda_i L} - \frac{1}{r_3 h_a} \right)} \quad (5-19)$$

Au début on calcule le flux net sans calorifuge en prenant $r_3 = r_2$, ensuite on calculera le rayon critique optimum au dessous duquel on a des pertes calorifiques.

C'est à dire pour r_{3oc} on a $\frac{dQ}{dr_3} = 0$

Puis par tâtonnement, en donnant des valeurs de $r_3 > r_{3oc}$, on calcule la valeur du flux. On arrêtera les calculs jusqu'à obtention de la valeur du flux net sans calorifuge.

Si on trouve la valeur de $r_{3oc} < r_2$, cela veut dire que les pertes calorifiques sont nulles. Il reviendra à nous de choisir n'importe quelle épaisseur du calorifuge.

$$\text{Pour } \frac{dQ}{dr_3} = 0 \text{ on trouve } r_{3oc} = \frac{\lambda_i}{h_a} \quad (5-20)$$

Application numérique

- Données

r_1 (m)	r_2 (m)	l (m)	λ_c kcal/hm ² °K	λ_i kcal/hm ² °K	h_a kcal/hm ² °K	h_i kcal/hm ² °K	θ_2 (°C)	θ_a (°C)
$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0.5	325	0.03	7,44	310,46	80	20

de l'équation(5-19) on a le flux net sans calorifuge égal à : pour $r_3=r_2$

$$Q = \frac{2 \cdot 3,14 (353,16 - 293,16)}{\frac{1}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 310,46} + \frac{\text{LN}(5/4)}{325 \cdot 0,5} + \frac{1}{7,44 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} = \underline{6,00 \text{ Kcal/h}}$$

- Le rayon critique optimum

de l'équation(5-20) on trouve

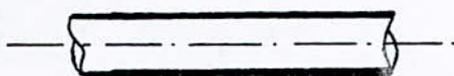
$$r_{30c} = \frac{0,03}{7,44} = 4,03 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \underline{4,03 \text{ mm}}$$

On constate que le rayon optimum critique est inférieur à r_2 donc on pourra choisir n'importe quelle épaisseur du calorifuge.

V-3-3 Dimensions de la colonne

Longueur..... 1 m
 Diamètre..... 5 cm
 épaisseur..... 3 mm

V-3-4 Dimensions de la tuyauterie



Selon les dimensions standards disponibles nous avons opté pour :

diamètre intérieur..... \emptyset mm.
 diamètre extérieur..... 10 mm.

V-3-5 Caractéristiques de la pompe

Nous avons opté en fonction des conditions opératoires, une pompe doseuse anti-corrosive type CORNING-EIVS

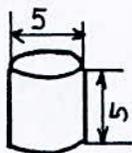
Modèle	débit maxi l/h	\emptyset médian du soufflet mm	Section du soufflet cm ²	Cylindrée maxi théo cm ³	Cadence de pompage Cas/min	Course maxi mm	Pression maxi bars
DN 40A	44	22	3.8	7.6	100	20	3.5
	Dimensions en mm				Moteurs		
DN 40A	\emptyset aspi et refoulement	h_1	h_2	L	ADF kW	Etanche kW	Vitesse tr/min
	15	162	324	330	0.25	0.25	750

V-3-6 Dimensions des pastilles

Le diamètre des pastilles a été choisi de façon à éviter les effets de bord. Il est en effet conseillé d'utiliser un rapport de 10 entre le diamètre du garnissage et le diamètre de la colonne. [*]

diamètre d'une pastille 5 mm.

hauteur d'une pastille 5 mm



* pour négliger l'influence des conditions latérales.

V 4 Choix des matériaux

a-Pompe

Le choix de la pompe s'est fait en tenant compte de la nature du fluide à transporter, du débit exigé pour la réalisation du procédé, et enfin de la température du fluide à transporter.

Tous ces facteurs nous ont amené à porter notre choix sur une pompe doseuse anti-corrosive fournissant de faibles débits de travail.

Nous avons besoin de travailler avec un faible débit afin de réaliser l'écoulement en pleine section ainsi que l'écoulement pelliculaire c'est à dire la percolation.

Aussi la pompe doseuse permet d'éviter l'emploi d'un dispositif comme le débitmètre ; on peut jouer sur les débits et pouvoir ainsi déterminer le débit d'écoulement nécessaire à la régénération.

b-Tuyauterie

Nous aurions opté pour l'acier inoxydable mais devant le manque de celui-ci un matériau peut le substituer à savoir le cuivre, qui est souvent utilisé pour le transport des fluides visqueux.

c-Calorifuge

Rechercher une bonne isolation thermique conduit à choisir un matériau bon isolant avec la plus grande épaisseur possible et présentant une conductivité thermique très faible. Pour cela nous avons opté pour la laine de verre et aussi pour sa disponibilité.

d-Echangeur à serpentin

De même à défaut d'acier inoxydable, l'échangeur à serpentin pourra être réalisé en cuivre.

e-Robinetterie

Il s'agit de robinets d'arrêt simples en métal, certains seront utilisés pour la purge d'air, d'autres pour la vidange et les prélèvements.

1^{re} PARTIE

EXPERIMENTALE

PRINCIPE DU PASTILLAGE

VI-1 Introduction [19]

Peu de substances peuvent se prêter à un pastillage direct; les raisons en sont variables:

- les particules très dures ne peuvent se déformer sous l'effet de la pression où les déformations restent du domaine élastique;
- la nature chimique des particules rend difficile la création de liaisons;
- les particules retiennent à leur surface une quantité d'air d'autant plus importante et difficile à chasser qu'elles sont plus fines, ce qui les isole les unes des autres et empêche les liaisons de s'établir.

Diverses opérations doivent être effectuées :

Préparation de la masse à pastiller

Il est souvent nécessaire, avant le pastillage, de diluer le produit soit parce qu'il présente une trop grande activité, soit parce que les comprimés qu'il permettrait d'obtenir auraient un volume insuffisant pour une dose donnée de substances actives. Cette opération se fait par l'addition de poudres inertes: les diluants (sel de calcium ou de Magnésium notamment, Kaolin, etc.).

VI-2 Amélioration du pouvoir d'adhésion des poudres

Addition de substances liantes

En pratique, il est nécessaire d'ajouter au produit à pastiller des adjuvants aptes à l'agglomération sous pression. Dans certains cas ces adjuvants peuvent être constitués par les diluants eux-mêmes, à condition qu'ils soient choisis dans des catégories particulières permettant un pastillage direct.

Ces produits agissent soit par leur nature chimique, soit par leur macrostructure, souvent poreuse ou fibreuse, qui permet aux particules de s'imbriquer ou de s'enchevêtrer les unes dans les autres.

Dans la majorité des cas, il faut ajouter au mélange < substance active + diluant classique > un agent liant dont le rôle est de créer des points de liaison très solides entre les particules. Le liant peut être ajouté à l'état sec et agir soit par sa viscosité, soit par fusion partielle sous l'effet de la pression. le plus généralement, le liant est ajouté en solution, le mélange étant alors séché avant pastillage. Suivant la nature de la solution (colloïdale ou moléculaire), les liaisons qui se forment lors du séchage sont dues soit au dépôt des particules colloïdales en suspension, soit à la cristallisation des substances dissoutes.

Parmi ces liants on trouve: les amidons, les gommes végétales, les gélatines, les sucres... etc.

VI-3 Prédensification

Une compression directe est parfois possible en utilisant des excipients spéciaux; cependant dans la majorité des cas, il est nécessaire de prédensifier le mélange de poudre avant le pastillage définitif, afin de chasser l'air ou maximum, ce qui permet notamment d'obtenir des comprimés de cohésion suffisante.

Généralement, la prédensification se fait par granulation:

- par voie sèche lorsque le liant est ajouté à l'état pulvérulent: le mélange de poudres subit soit un premier pastillage grossier, soit un compactage, puis un broyage,

- par voie humide lorsque le liant est ajouté en solution: la pâte est forcée à travers une grille puis séchée.

VI-4 Amélioration des propriétés mécaniques

L'aptitude du produit à l'écoulement peut être mauvaise (notamment avec les poudres), ce qui entraîne un remplissage défectueux de la chambre de compression et conduit à des comprimés de masses irrégulières. Cette aptitude est améliorée par l'opération de granulation. Toute fois, celle-ci est généralement insuffisante et il est nécessaire d'ajouter des agents glissants: ils agissent par la taille et la forme de leurs particules (fines, sphériques ou lamellaires).

[19]

~ CHAPITRE VII ~

PASTILLAGE DE LA BENTONITE

Introduction

Lors de cette partie expérimentale, nous avons fait subir à des échantillons de Bentonite deux types de traitement :

- Une activation chimique par attaque acide,
- Une activation thermique.

Par la suite, nous avons essayé de voir s'il était possible de fabriquer des pastilles de Bentonite ayant une bonne résistance mécanique.

Nous avons travaillé sur deux échantillons de Bentonite, celle de MAGHNIA et celle de SIG que nous conviendrons de désigner par la suite dans le texte par les symboles M et S respectivement.

Ce choix, se justifie par le fait que la Bentonite S a été utilisée antérieurement pour la régénération des huiles minérales isolantes [1], tandis que la Bentonite M donnait de bons résultats dans la décoloration des huiles minérales [2]

VII-1 Préparation de la masse à pastiller

Au moyen d'un mortier, nous avons procédé au broyage d'une certaine masse des échantillons Met 5; l'opération prend fin jusqu'à obtention d'une masse uniforme sous forme de poudre.

Ensuite, nous avons réalisé l'opération de tamisage.

VII-2 Fabrication des pastilles

Les opérations précédentes étant effectuées, on a pu réaliser le pastillage à l'aide du pastilleur se trouvant dans le laboratoire d'analyses physico-chimiques du département de Génie-Chimique.

La granulométrie ainsi que la masse d'une pastille étant quelconques.

L'essentiel pour nous était de vérifier, s'il était effectivement possible d'obtenir des pastilles ayant une bonne résistance mécanique.

La pression de service est de 10 bars.

VII-3 Vérification des propriétés mécaniques

Pour tester la résistance mécanique, nous avons essayé d'observer l'influence d'une solution d'HCl à 5% sur la cohésion des pastilles.

Nous avons constaté qu'au premier contact de l'acide avec les pastilles, ces dernières perdaient leur adhésion.

VII-4 Conclusion

A travers ces constatations, on voit que l'on a la possibilité de fabriquer des pastilles de Bentonite.

Le point négatif de cette réalisation, réside dans la mauvaise résistance mécanique de ces pastilles au contact de l'acide.

Donc la possibilité de travailler avec des pastilles fabriquées à partir de terres naturelles est à éliminer.

Pour remédier à ce problème, on s'est penché sur une autre méthode de travail. cette -fois-ci en optant pour les terres activées à l'acide chlorhydrique.

A-ACTIVATION DE LA BENTONITE

A-1 Préparation des échantillons

La Bentonite est déshydratée jusqu'à poids constant à l'étuve sous une température de 105-110 °C. Ensuite, elle est broyée dans un mortier, puis tamisée; nous avons recueilli les fractions comprises entre 200 et 500 μm .

A-2 Appareil d'activation et mode opératoire

Dans un ballon de 2000 cm^3 muni d'un réfrigérant, d'un agitateur (barreau magnétique) et d'un thermomètre (fic N°7), on introduit la Bentonite ainsi préparée et séchée à 105-110 °C puis la solution d'acide.

Le mélange est alors chauffé jusqu'à environ 98 °C, température que l'on maintient constante durant tout le processus d'activation au moyen d'un bain d'huile.

L'agitation a été maintenue pendant toute la durée du traitement pour éviter qu'une attaque locale trop vive ne détruise les minéraux argileux.

Le temps de contact, initialement fixé à 6 heures [1], est déterminé à partir de l'instant où la température de la suspension atteint 98 °C environ.

La Bentonite activée est par la suite filtrée sur büchner, puis lavée avec de l'eau distillée jusqu'à ce que la totalité des anions (Cl^-)

Activation chimique de la Bentonite

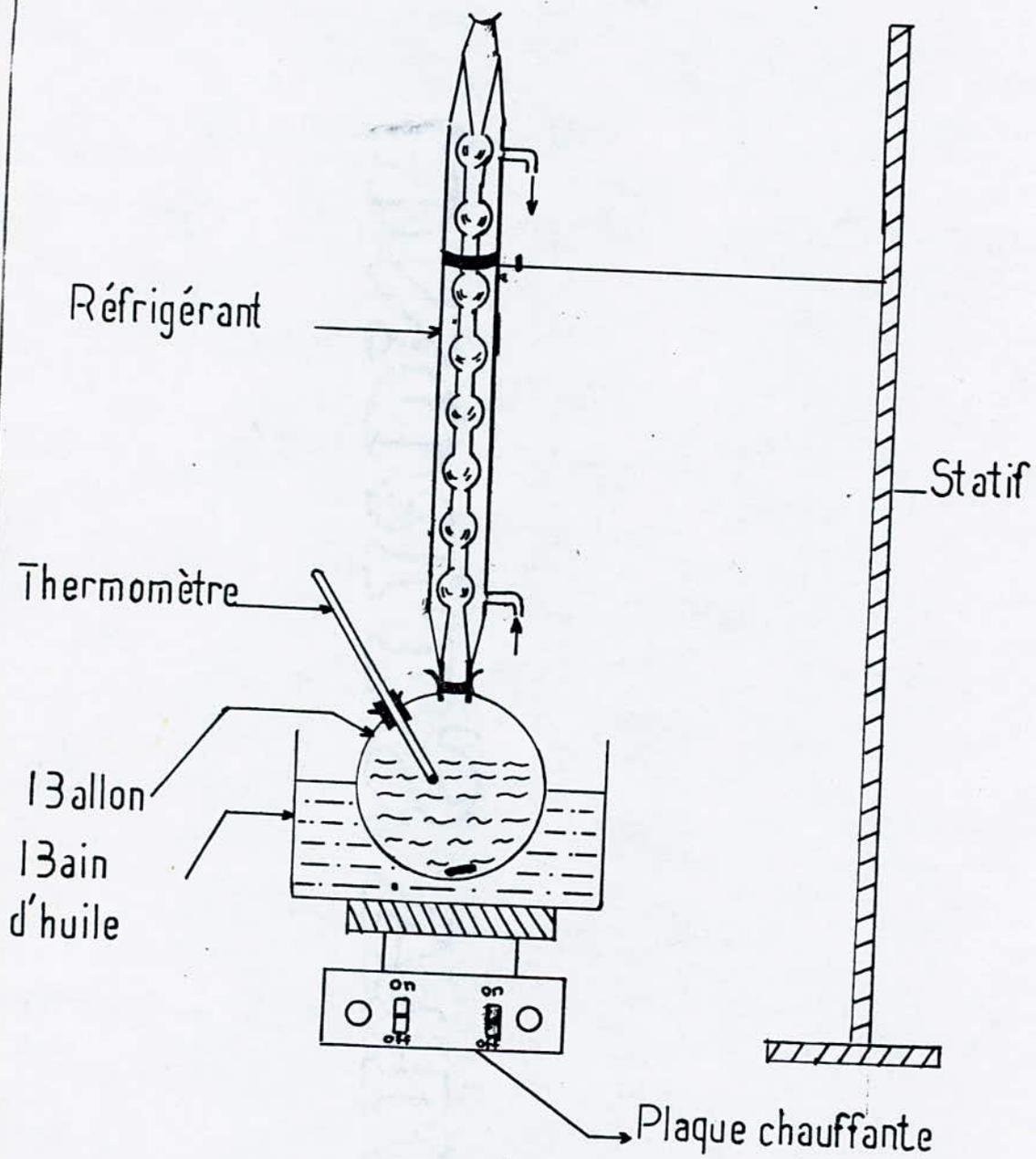


Schéma N° 7

introduits par ce traitement acide soient éliminés.

On le vérifie lors du traitement à l'acide chlorhydrique par action d'une solution saturée de nitrate d'argent (AgNO_3) sur le filtrat, l'absence de précipité blanc de chlorure d'argent (AgCl) indique l'élimination des ions Cl^- introduits par ce traitement.

L'atmosphère ionique est alors modifiée et la Bentonite obtenue est une Bentonite hydrogénée.

A-3 Activation thermique

Nous avons fait subir aux échantillons MeTS un traitement thermique à des températures de 110, 250 et 275°C. Le temps de chauffe a été fixé à 6 heures.

Pastillage de la Bentonite activée

Au moyen du même pastilleur, nous avons procédé au pastillage des deux échantillons M et S activés.

Nous avons obtenus des pastilles ayant une bonne dureté pour l'échantillon M, et des pastilles friables au toucher pour l'échantillon S.

Afin de s'assurer de la bonne résistance mécaniques de l'échantillon M, nous avons à l'aide d'un barreau d'agitation donner des coups de différentes ampleurs, nous avons constaté que les pastilles gardaient leurs formes.

Par la suite, nous avons voulu observer l'influence de l'huile minérale isolante sur les pastilles de l'échantillon M.

Pour ce faire, nous avons laissé séjourné les pastilles pendant 7 jours dans un béccher rempli d'huile. Au cours de cette durée, nous bougions périodiquement les pastilles.

Hormis, la couleur de ces dernières qui a changé, et ceci est dû au fait que les pastilles ont adsorbé une certaine quantité d'huile minérale, mais le plus important est que les pastilles ont conservé leur cohésion.

Tableau comparatif

échantillon	état	propriétés mécaniques
S	<ul style="list-style-type: none"> - naturel - activation à HCl 5% - activation thermique) mauvaise résistance mécanique.
M	<ul style="list-style-type: none"> - naturel - activation à HCl 5% - activation thermique 	<ul style="list-style-type: none"> - mauvaise résistance mécanique au contact de l'acide - bonne résistance mécanique. - bonne résistance mécanique.

Conclusion

Pour la fabrication des pastilles, nous utiliserons comme terre la Bentonite de MAGHNIA activée par attaque à l'acide chlorhydrique à 5%.

PARTIE REALISATION

1. Introduction

2. Description

Introduction

Etant donné que la conception de l'appareillage a commencé très tard on n'a pas pu réaliser l'installation et ceci pour diverses raisons de différentes d'ordre dont l'une est, que l'on a attendu tout un semestre au cours duquel on a suivi les travaux faits par nos collègues [1] concernant la régénération des huiles minérales isolantes en régime discontinu.

Pour pouvoir mettre au point une conception, on dépendait donc énormément des résultats obtenus, c'est à dire les conditions de contact optimale huile-Bentonite, les points positifs et négatifs du procédé. L'obtention de ces paramètres a duré un semestre.

En plus de ces raisons, d'autres sont d'ordre technique, comme l'indisponibilité de la pompe doseuse l'élément le plus important de l'installation.

Cependant on a pensé à réaliser la chambre de compression pour la fabrication des pastilles de petits diamètres (5mm) car les pastilles qu'on a fabriqué auparavant avaient un diamètre très grand (15mm) ce qui empêche l'adsorption de l'huile sur la Bentonite.

A- Réalisation de la chambre de compression

Le modèle de la chambre est le même que celui utilisé dans le laboratoire physico-chimique d'analyses, on a fait le même pour pouvoir utiliser la même presse.

La chambre de compression est faite en acier mi-dur.

XC 3B (voir partie technique)

Cependant le perçage de la chambre, car celui-ci n'est pas simple, il exige un travail d'une très grande précision. Il s'agit d'aléser la pièce, de réaliser un ajustement glissant et un ajustement forcé en respectant énormément les tolérances. Toutes ces opérations demandent l'emploi d'une machine à tour, d'une rectifieuse, d'un foret spécial.

On a contacté plusieurs unités de fabrication mécanique pour effectuer le perçage; certaines ne disposaient pas de foret spécial, d'autres ne faisaient jamais ce genre de travaux. Mais on a promis que l'année prochaine l'outil serait disponible à l'atelier de Mécanique de l'ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

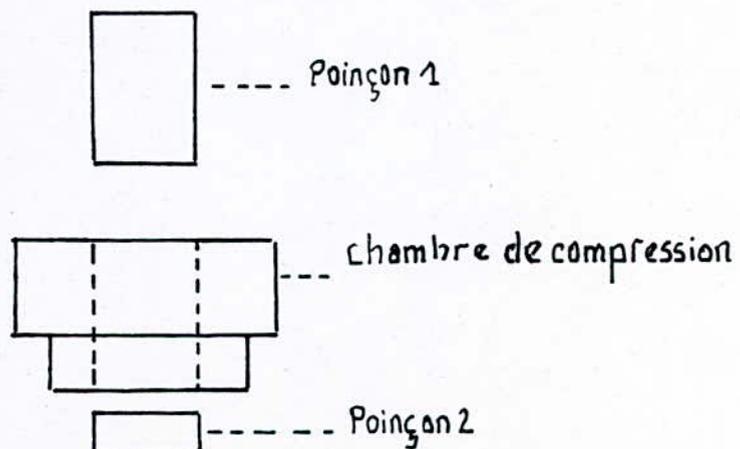
B, Réalisation des poinçons de la matrice

Les deux poinçons ont la forme d'une tige (voir partie technique)

Le poinçon 1 sert à presser la poudre dans la chambre de compression, il rentre en glissant.

Le poinçon 2 rentre forcé dans la chambre de compression.

Entre les deux poinçons la poudre est pressée à l'aide d'une presse.



~ ● CONCLUSION ● ● ~

En faisant une analyse critique des travaux antérieurs effectués sur la régénération des huiles minérales isolantes par adsorption sur Bentonite. Nous avons proposé la conception d'une installation d'étude qui sert à examiner parallèlement les aspects de qualité et rendement. Le principe de cette conception est basé sur le passage de l'huile sur Bentonite en lit fixe sous forme de pastilles.

L'expérience que nous avons faite nous a permis de fabriquer des pastilles de Bentonite et de tester les propriétés mécaniques de celles-ci et de fixer notre choix sur le type de Bentonite à utiliser pour enfin opter pour la Bentonite de MAGHNIA activée à 5% HCl. car celle-ci présente de bonnes propriétés mécaniques.

Nous présentons aussi une partie technique comportant les schémas détaillés de fabrication de certains éléments de l'appareillage.

La réalisation de cette installation permettra de mener certaines études dont:

- l'influence du débit;
- l'influence de la température;
- l'influence de la direction de l'écoulement;

sur le processus de régénération.

Aussi la réalisation permettra d'établir un critère d'optimisation qui caractérise un compromis entre la qualité et le rendement. Ce critère doit être toujours de nature économique.

Enfin ce procédé permet d'éliminer plusieurs étapes

utilisées en régime discontinu et d'éviter l'introduction de certains facteurs extérieurs tels que l'oxygène, l'humidité, les particules de Bentonite ; tous ces facteurs influent négativement sur la qualité de l'huile régénérée.

En dernier, nous proposons une méthode de régénération de la Bentonite après épuisement, qui permettra d'économiser la terre.

Enfin une telle méthode permettrait d'obtenir un bon rendement.

~ NOTATIONS. ~

A_ssurface d'échange de chaleur sale (m^2)

C_pcapacité calorifique à pression constante ($Kcal/kg \text{ } ^\circ K$)

Ddiamètre extérieur d'une spire (m)

d_odiamètre extérieur du tube (m)

d_idiamètre intérieur du tube (m)

d_{me}différence moyenne logarithmique de diamètres $d_{me} = \frac{d_o - d_i}{LN \frac{d_o}{d_i}}$ (m)

$DTLM$différence de température logarithmique moyenne ($^\circ C$)

gaccélération de la pesanteur = $9.81 m/s^2$

h_ocoefficient de transfert de chaleur externe ($Kcal/h m^2 \text{ } ^\circ K$)

h_acoefficient de transfert de chaleur de l'air ($Kcal/h m^2 \text{ } ^\circ K$)

h_icoefficient de transfert de chaleur interne ($Kcal/h m^2 \text{ } ^\circ K$)

Llongueur utile du serpentin (m)

Llongueur de la conduite à calorifuger (m)

\dot{m}débit massique horaire du fluide $\dot{m} = \rho \cdot Q$ (kg/h)

nnombre de spires

Qdébit volumique (m^3/h)

R_srésistance globale sale ($h m^2 \text{ } ^\circ K / kcal$)

Ttempérature ($^\circ C$)

U_pCoefficient global propre d'échange de chaleur ($Kcal/h m^2 \text{ } ^\circ K$)

U_sCoefficient global sale d'échange de chaleur ($Kcal/h m^2 \text{ } ^\circ K$)

uvitesse d'écoulement du fluide (m/s)

LETTRES GRECQUES

β coefficient de dilatation thermique ($1/^{\circ}\text{K}$)

η viscosité dynamique de l'huile isolante usée ($\text{Kg/m}\cdot\text{s}$)

η' viscosité dynamique de l'huile de chauffage ($\text{Kg/m}\cdot\text{s}$)

ν viscosité cinématique = $\frac{\eta}{\rho}$ (cSt)

ρ masse volumique de l'huile isolante usée (Kg/m^3)

ρ' masse volumique de l'huile de chauffage (Kg/m^3)

λ conductivité thermique ($\text{Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^{\circ}\text{K}$)

θ température ($^{\circ}\text{C}$): θ_1 : d'entrée; θ_2 : de sortie; de l'huile isolante usagée

θ' température ($^{\circ}\text{C}$): θ'_1 : de la paroi; θ'_2 : de sortie de l'huile de chauffage

Δt différence de température = $\theta'_2 - \theta'_1$

NOMBRES ADIMENSIONNELS

Gr nombre de GRASHOF $\frac{d_0^3 \rho'^2 \beta g \Delta t}{\eta'^2}$

LN logarithme népérien

Nu nombre de NUSSELT $\frac{h \cdot d}{\lambda}$

Pr nombre de PRANDTL $\frac{\eta C_p}{\lambda}$

Re nombre de REYNOLDS $\frac{u d \rho}{\eta} = \frac{u \cdot d}{\nu}$

~ BIBLIOGRAPHIE ~●~

- 1- Projet de fin d'études: M. DAHIM & H. NOURI
Département de Génie-Chimique : " JANVIER 88 "
- 2- Thèse de MAGISTER: M^r BENDJAMA
" Etude des Bentonites Algériennes: Application à la décoloration des huiles minérales "
1981
- 3- R. TOBAZEON : Technique de l'Ingénieur , D225-1
" Conduction électrique dans les liquides "
- 4- H. WEISS , T. SALOMON : Technique de l'Ingénieur . D.227, D230, D231
- 5- Projet de fin d'études: B. GHEZALI & A. LABBACI
Département de Génie-Chimique : " JUIN 87 "
- 6- S.E. CHITOUR, Raffinage du pétrole L1, OPU, ALGER 1983
- 7- B. PIHANT, A BONZOM, Rev. gén. d'élect., 7, 2 / 1986 /
- 8- N.F, C 27-221: Méthode pour la détermination de la rigidité électrique
des huiles isolantes : JUILLET 1974
- 9- VON HIPPEL. A.R. les diélectriques et leurs applications, 1961
- 10- A. SCHILING, les huiles pour moteurs et le graissage des moteurs, Technip,
PARIS 1962
- 11- N.F, C27-222: Maintenance et surveillance des huiles isolantes en service:
JUILLET 1974
- 12- R. PAPIN : Technique de l'Ingénieur, J-2310-
" Adsorption "
- 13- P. WHUITIER, Raffinage et G. Chimique, EI, Technip, PARIS 1965

14- J.H.PERRY, Chem. Eng. handbook. 3^e ed. NEWYORK 1950, McGRAW-HILL.

17- S.E.CHITOUR, Corrélations sur le pétrole brut et les fractions pétrolières t2, O.P.U,

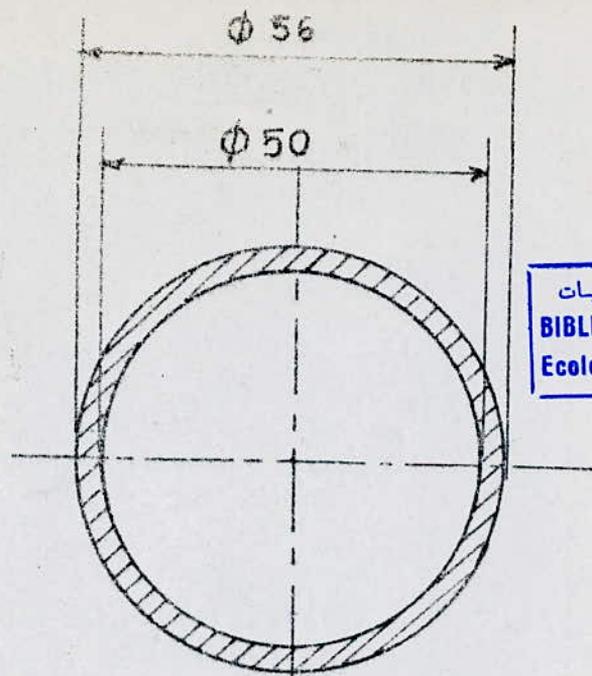
ALGER 1983

18- F.KREITH, Transmission de la chaleur et thermodynamique, VII, MASSON,

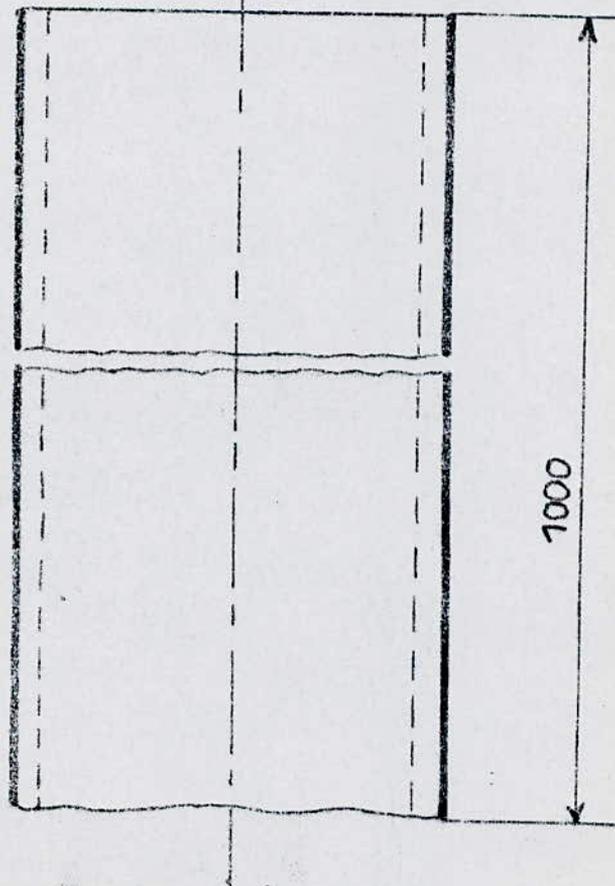
PARIS 1967

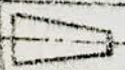
19- Technique de l'Ingénieur, A-5760

"Principe du pastillage"

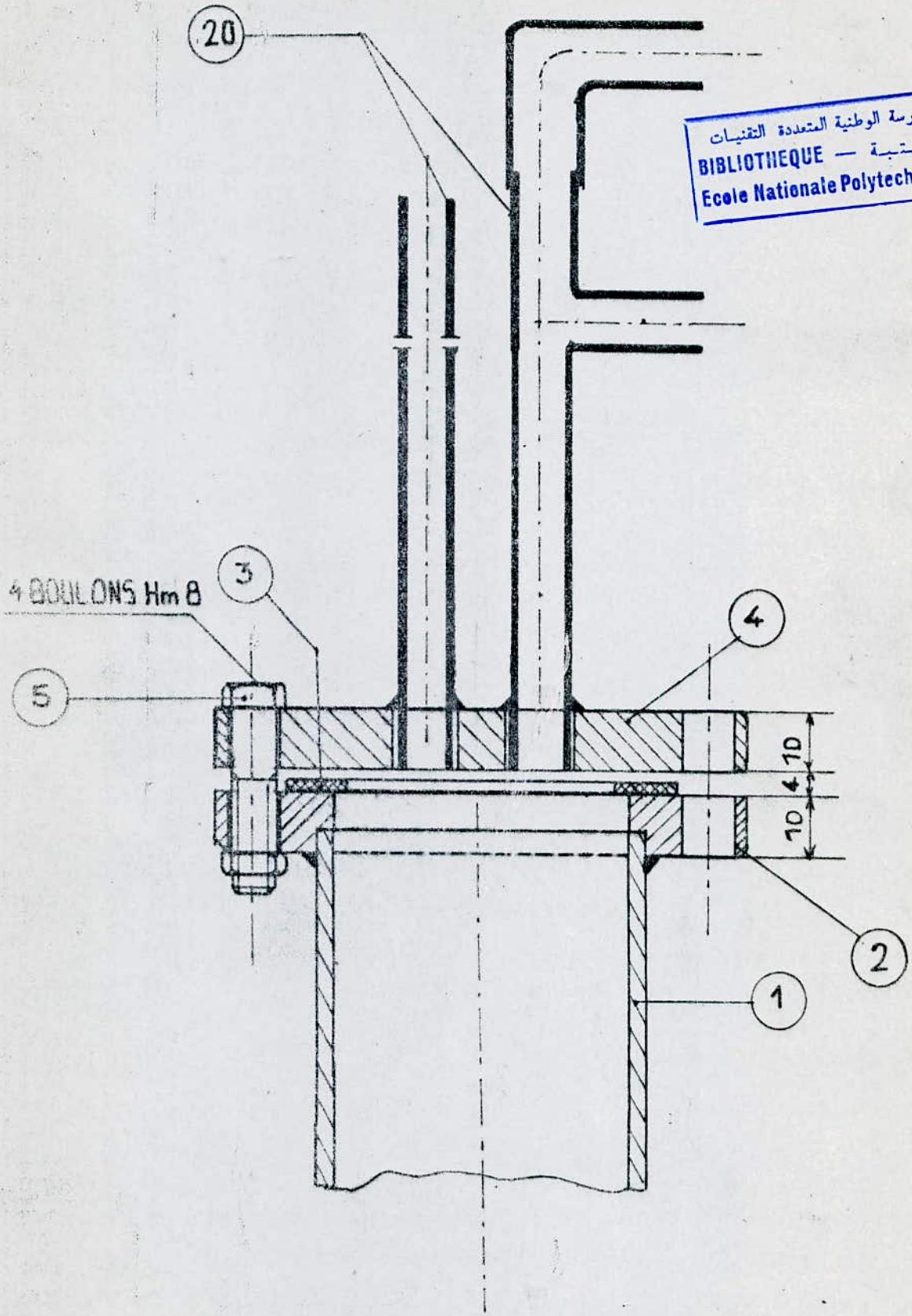


المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique



Echelle 1	N°1.	E. N. P. A
 	JUIN 88	COLONNE (1)
M. MOHAMED I		

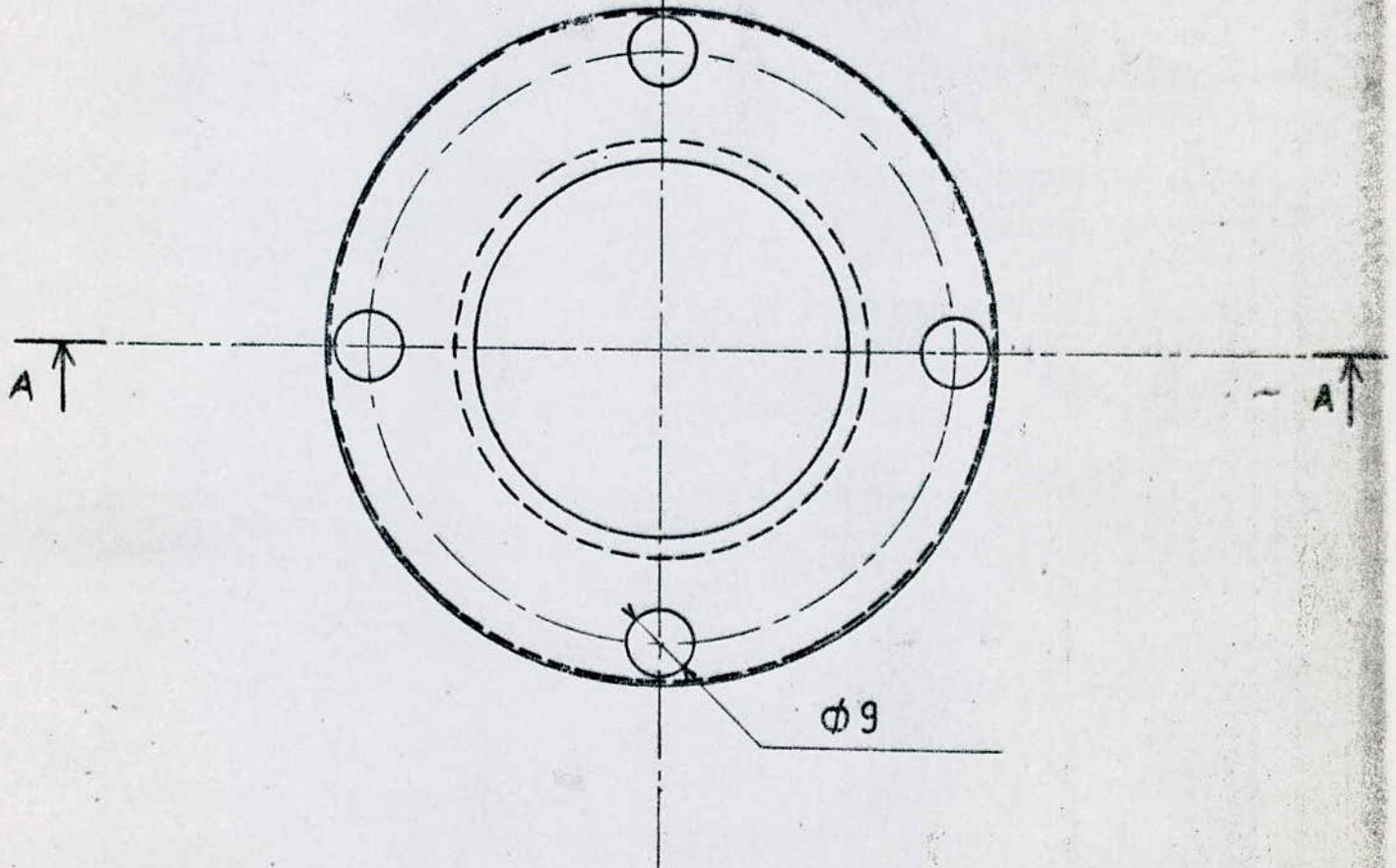
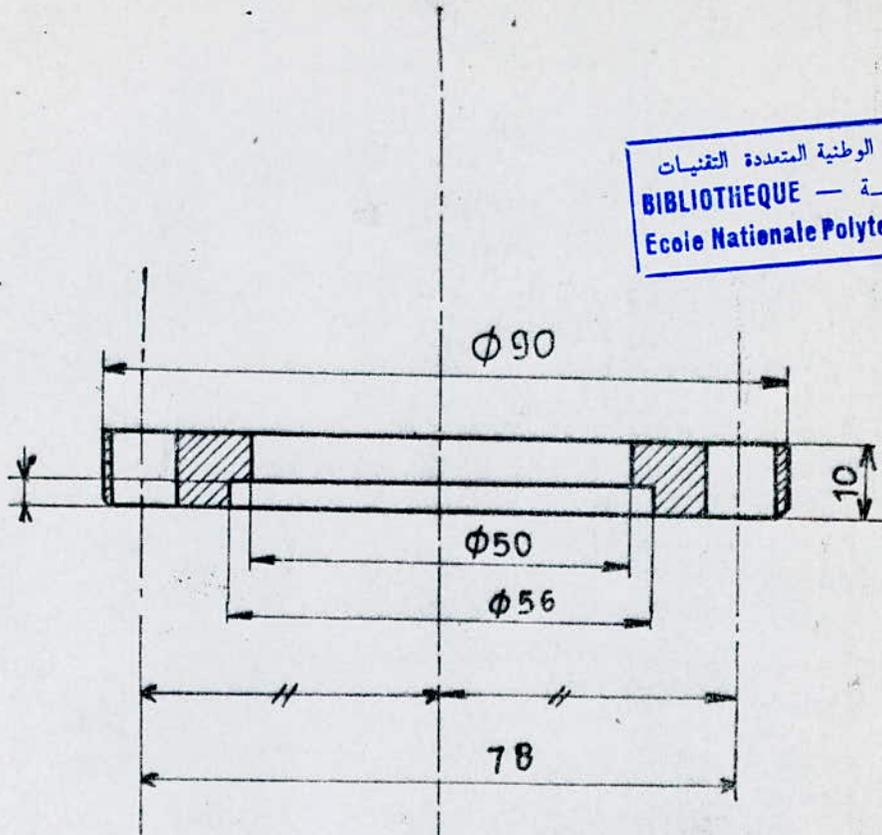
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique



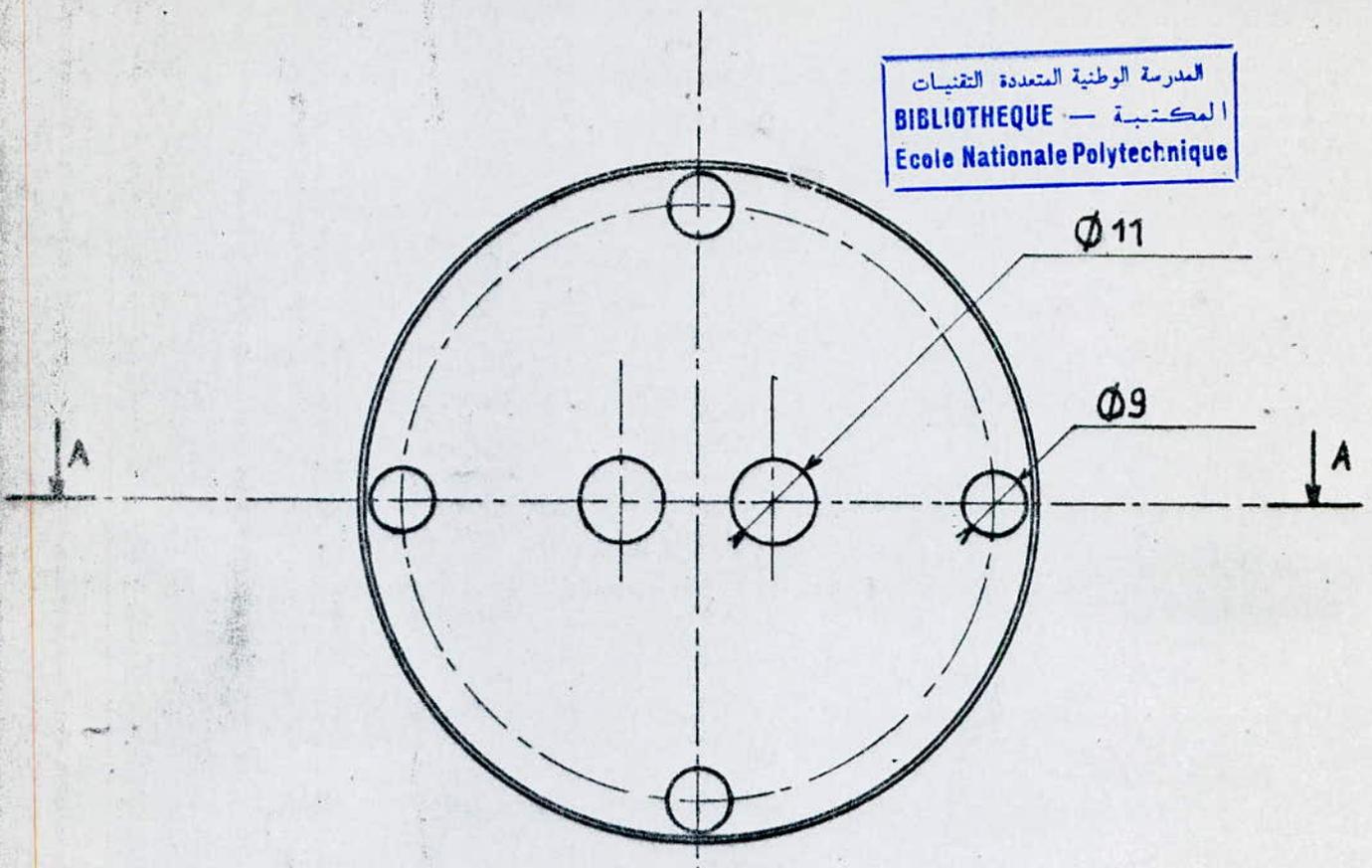
Echelle 1	N° 1.1	E.N.P.A
	JUIN 88	PARTIE SUPERIEURE DE LA COLONNE
M. MOHAMED I		

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

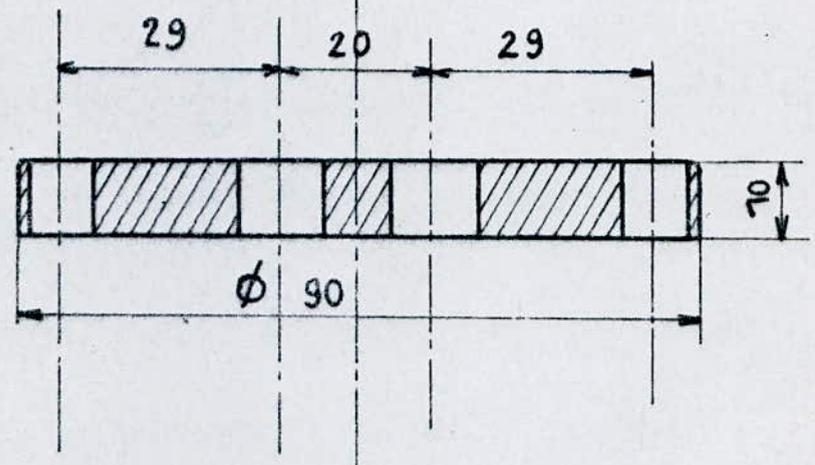
COUPE A-A



Echelle	N°: 1.1.a	E.N.P.A
JUIN 88		BRIDE DE FIXATION (2)
M. MOHAMEDI		

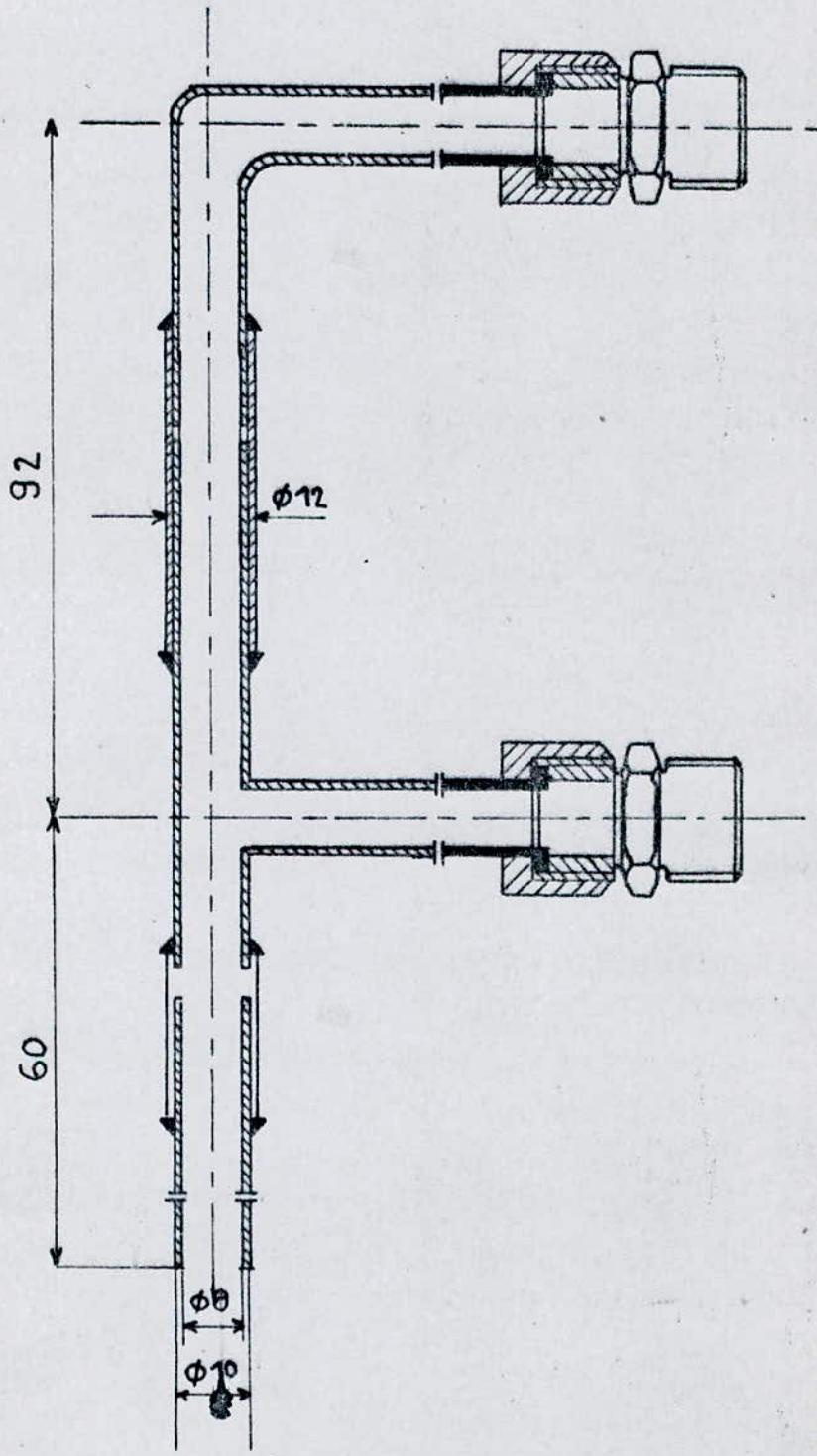


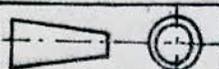
COUPE A-A



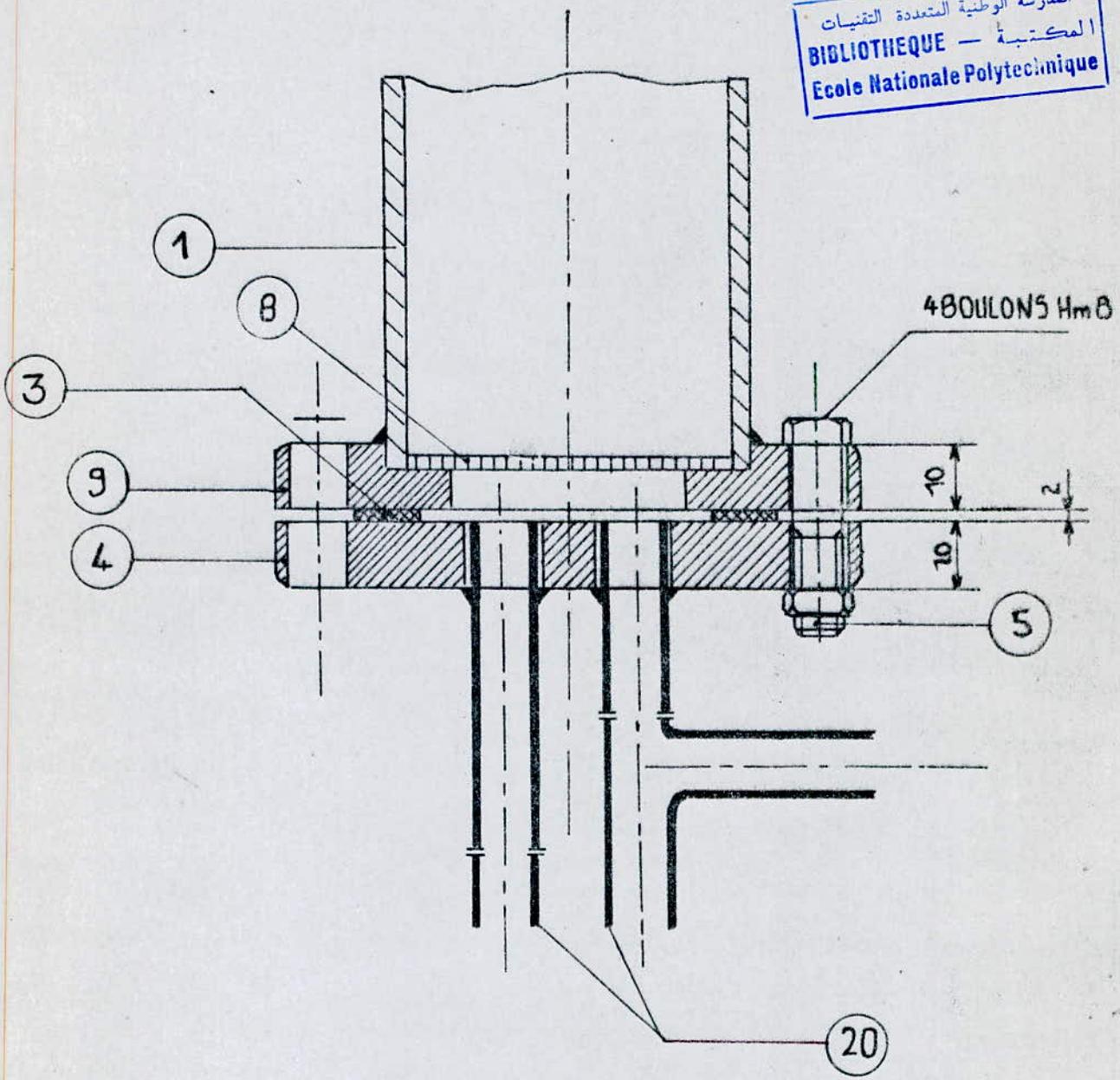
Echelle: 1	N°: 1.1.b	E.N.P.A.
	JUIN 88	BRIDE DE FIXATION (4)
M. MOHAMED I		

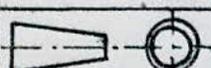
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique



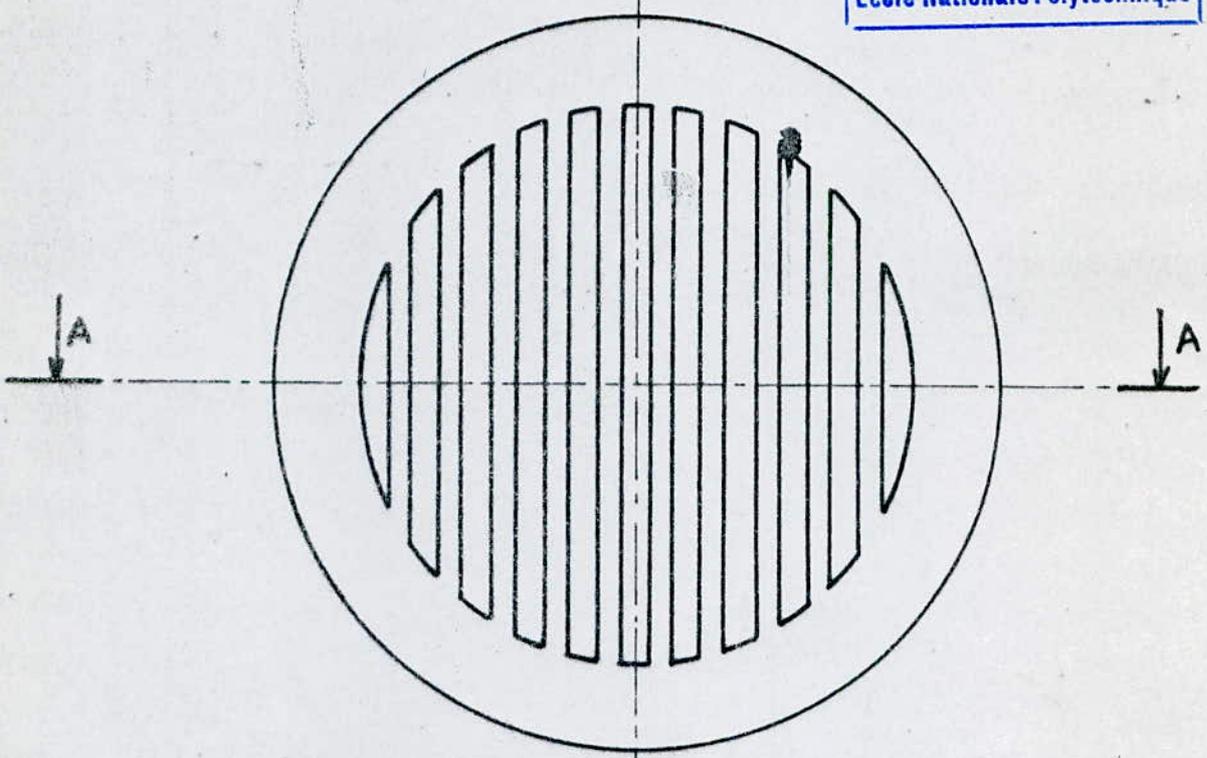
Echelle:1	N°: 1.1.c	E. N. P. A
	JUIN 88	JONCTION SUPERIEURE
M. MOHAMED I		

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

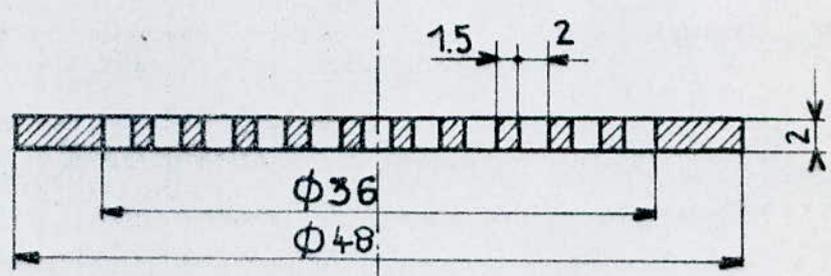


Echelle: 1	N°: 1.2	E.N.P.A
	JUN 88	PARTIE INFÉRIEURE DE LA COLONNE
M. MOHAMED I		

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

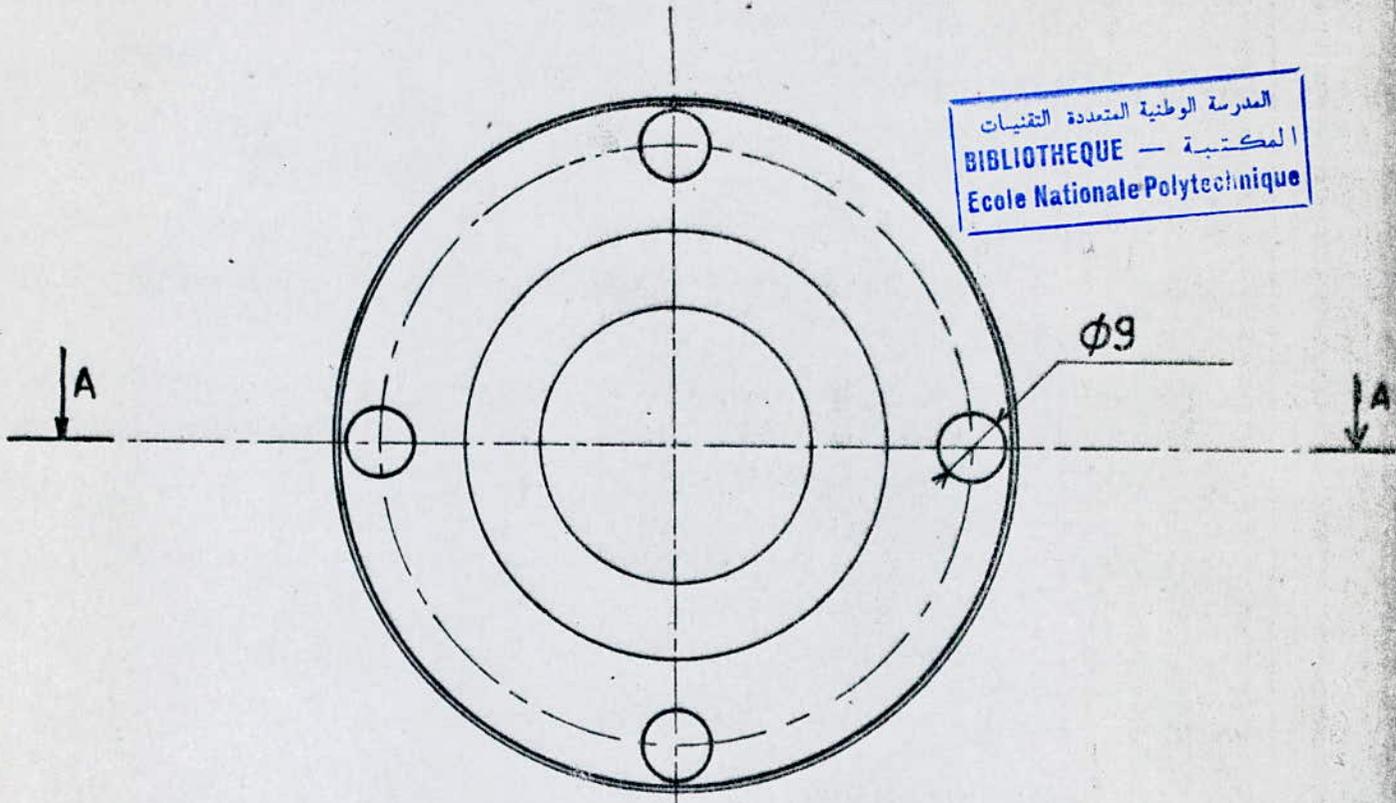


LOUPE A.A

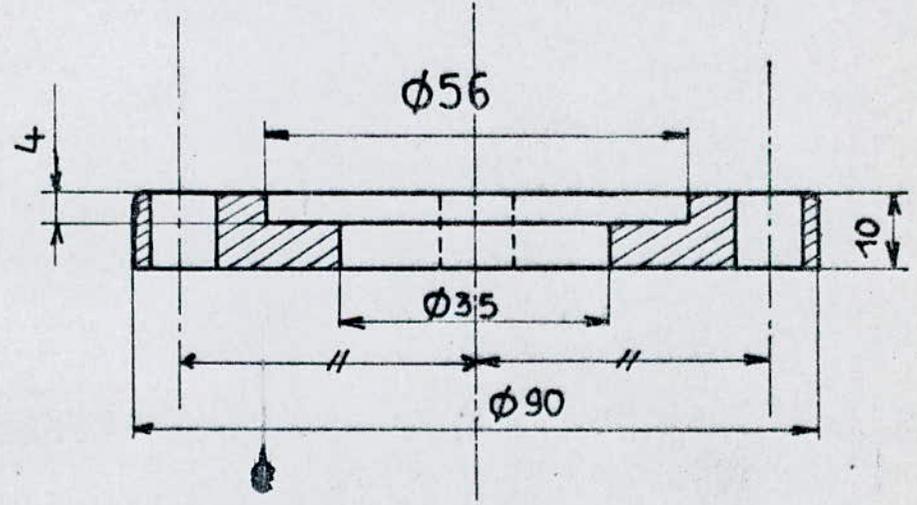


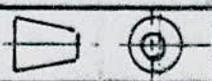
Echelle 2	N° 1.2.2	ENPA
JUIN 88		SUPPORT DU GARNISSAGE (8)
M. MOHAMED I		

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

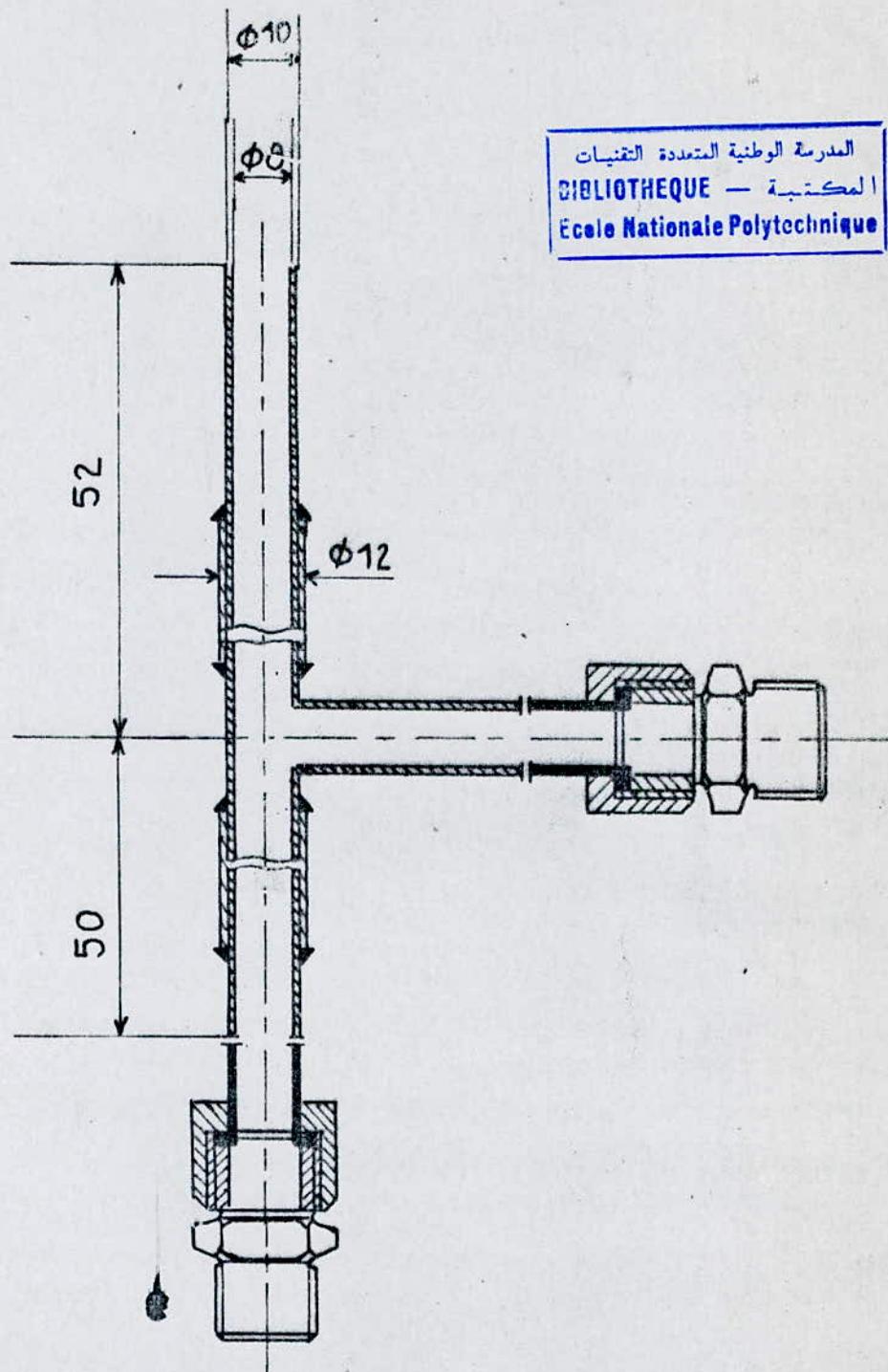


COUPE A-A



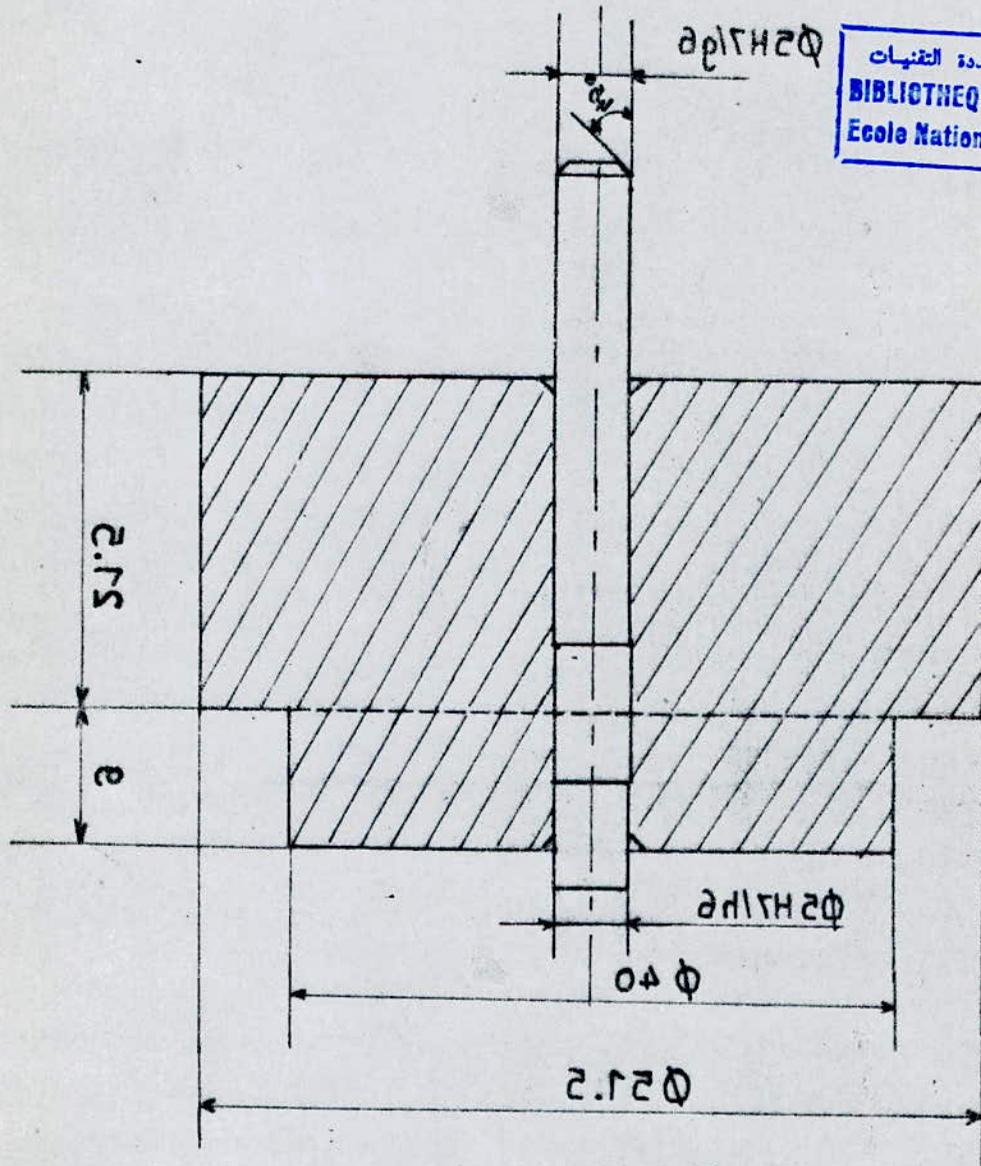
Echelle	N ^o : 1.2.b	E.N.P.A
JUIN 88		BRIDE DE FIXATION (9)
M. MOHAMED I		

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

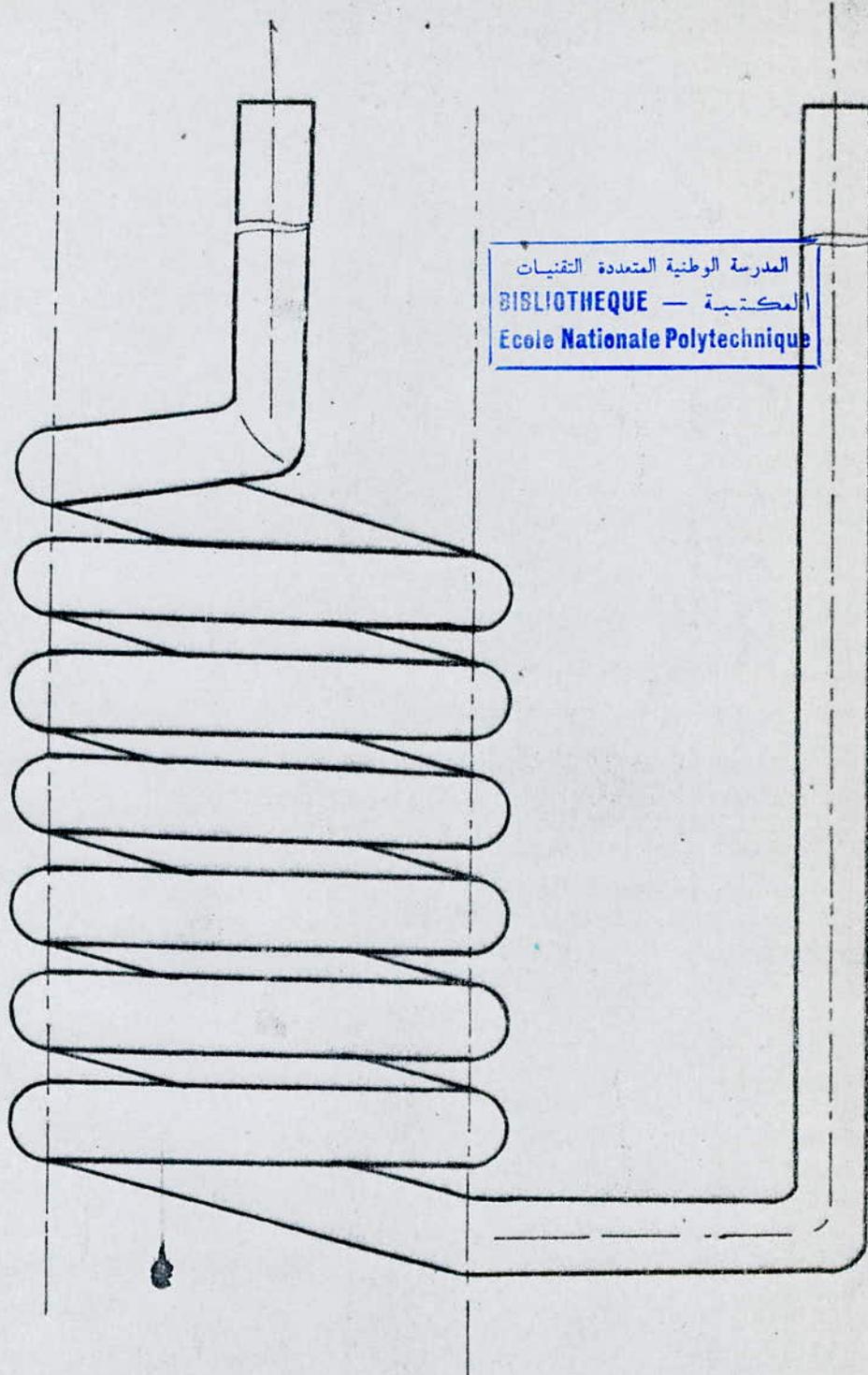


Echelle: 1	N°: 1.2.c	E.N.P.A
	JUIN 88	JONCTION INFÉRIEURE
MOHAMEDI.M		

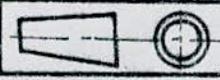
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

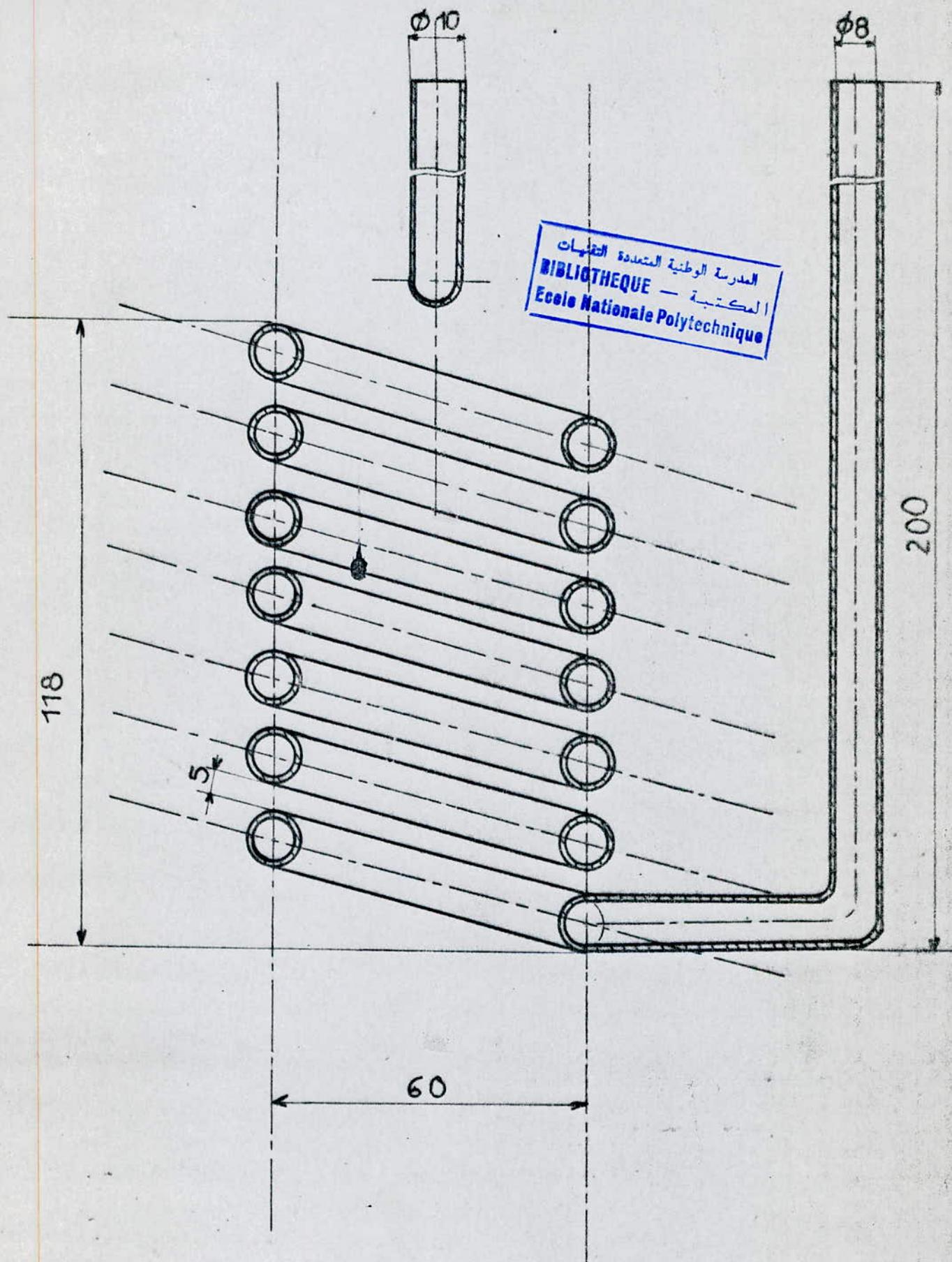


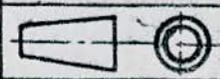
MOHAMED M.	CHAMBRE DE	Echelle: 2 N° 2
COMPRESSION	E.N.P.A.	

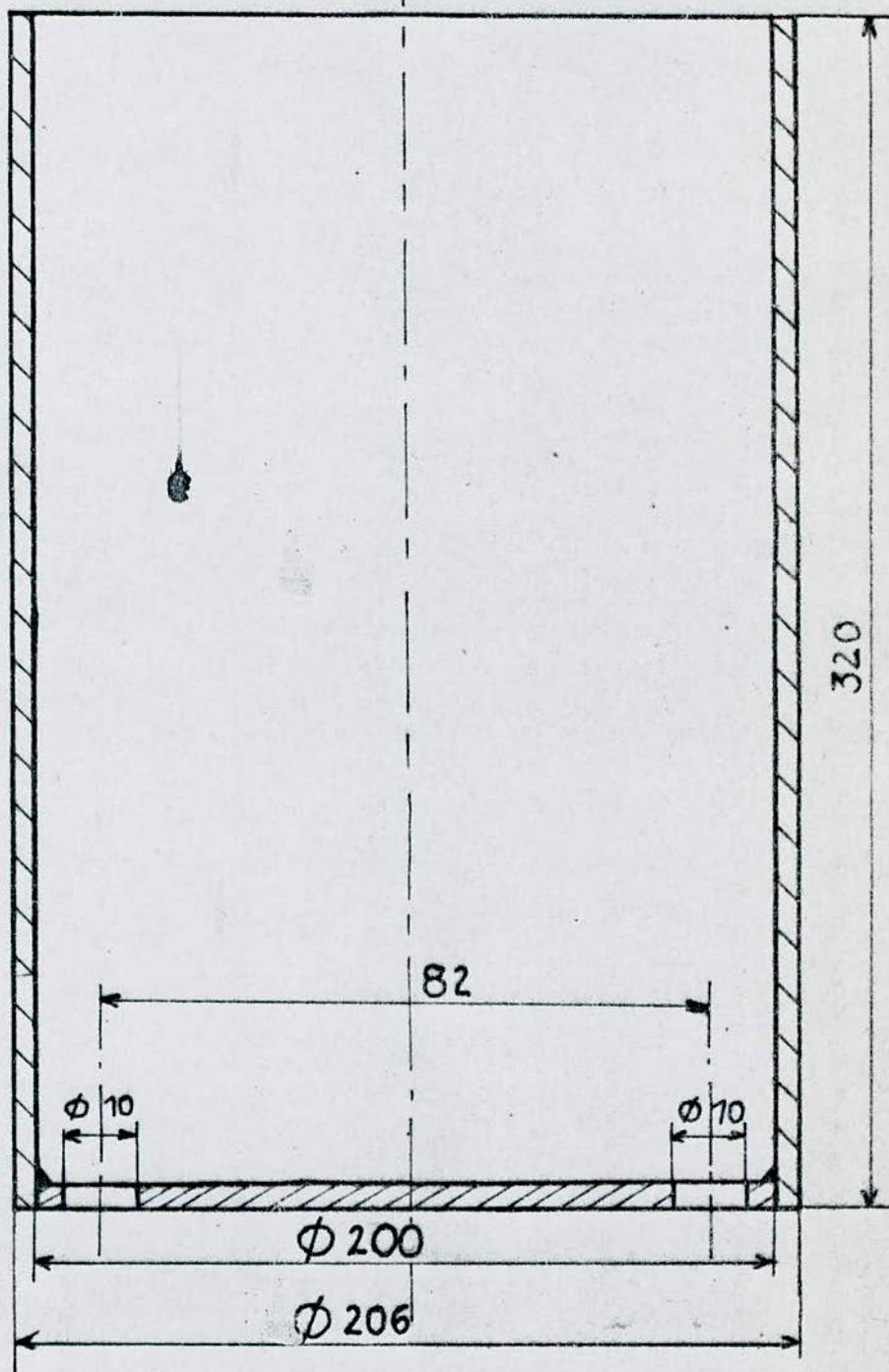


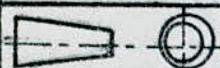
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Echelle: 1	N°: 2.1	E.N.P.A
JUIN 88		ECHANGEUR A SERPENTIN(11)
M. MOHAMED I		

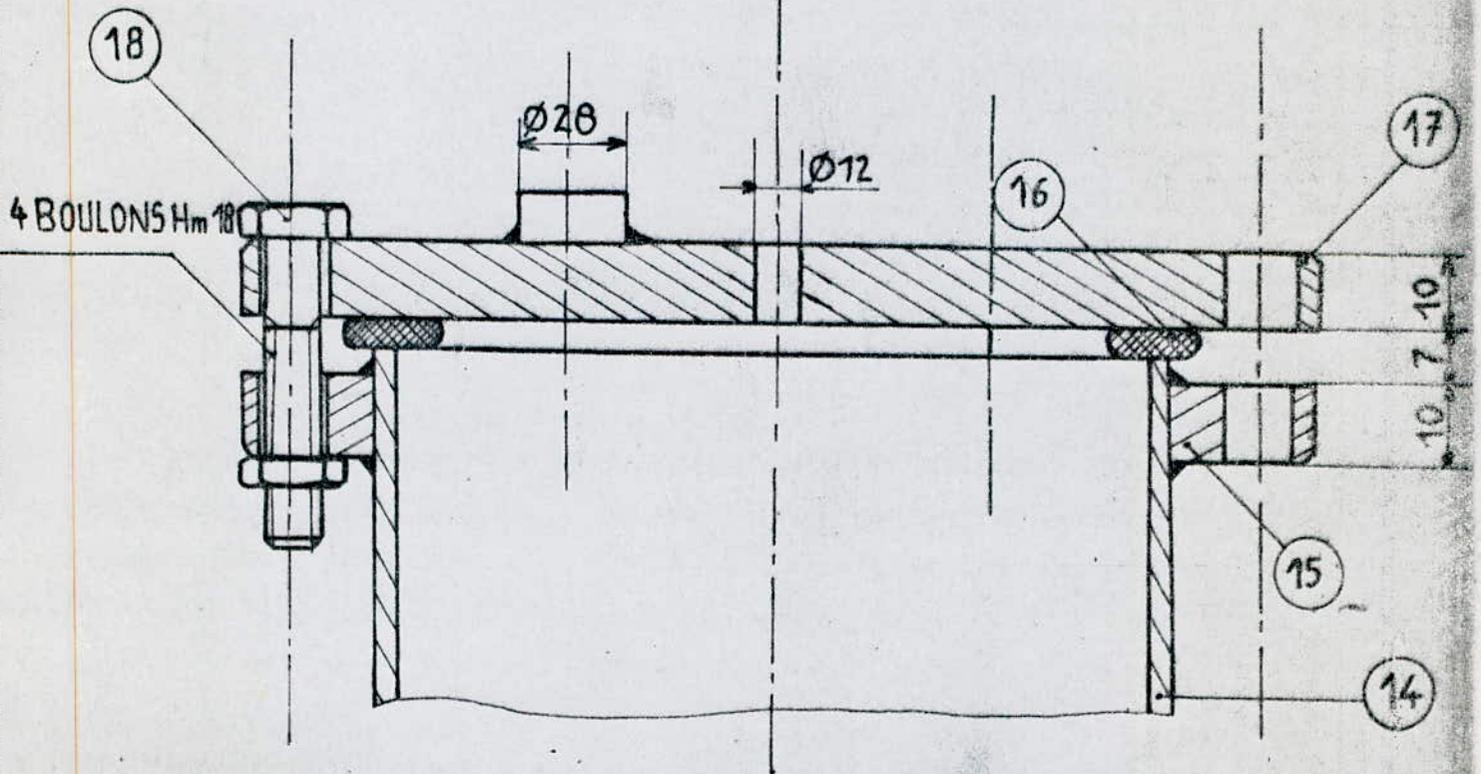


Echelle:1	N°: 2.2	E.N.P.A
JUN 88		ECHANGEUR A SERPENTIN(11)
M.MOHAMED I		



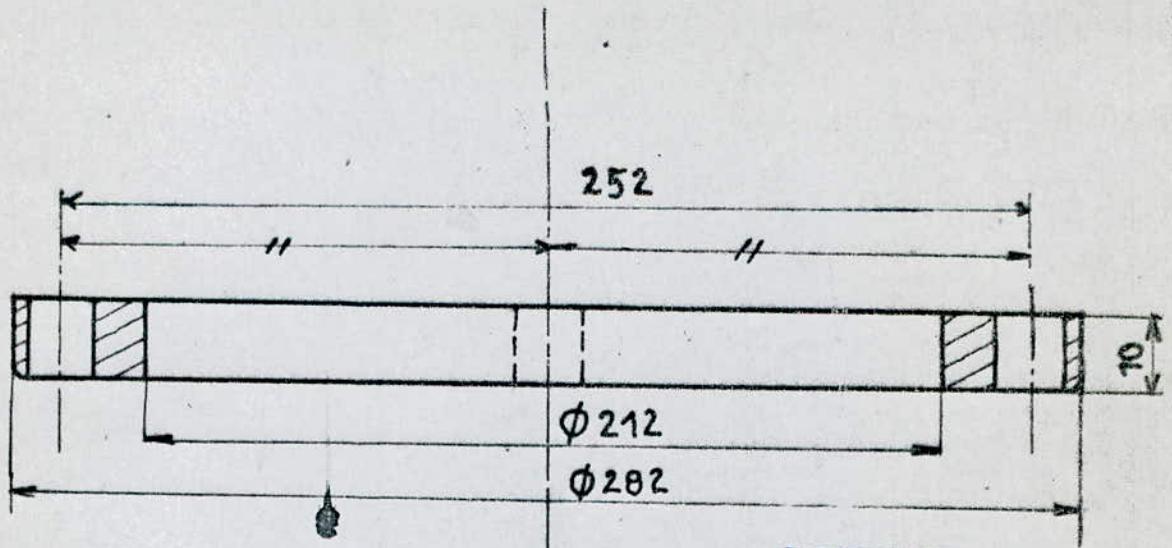
Echelle: 1:2	N°: 3	E.N.P.A
	JUIN 88	RESERVOIR
M. MOHAMEDI		D'ALIMENTATION (14)

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

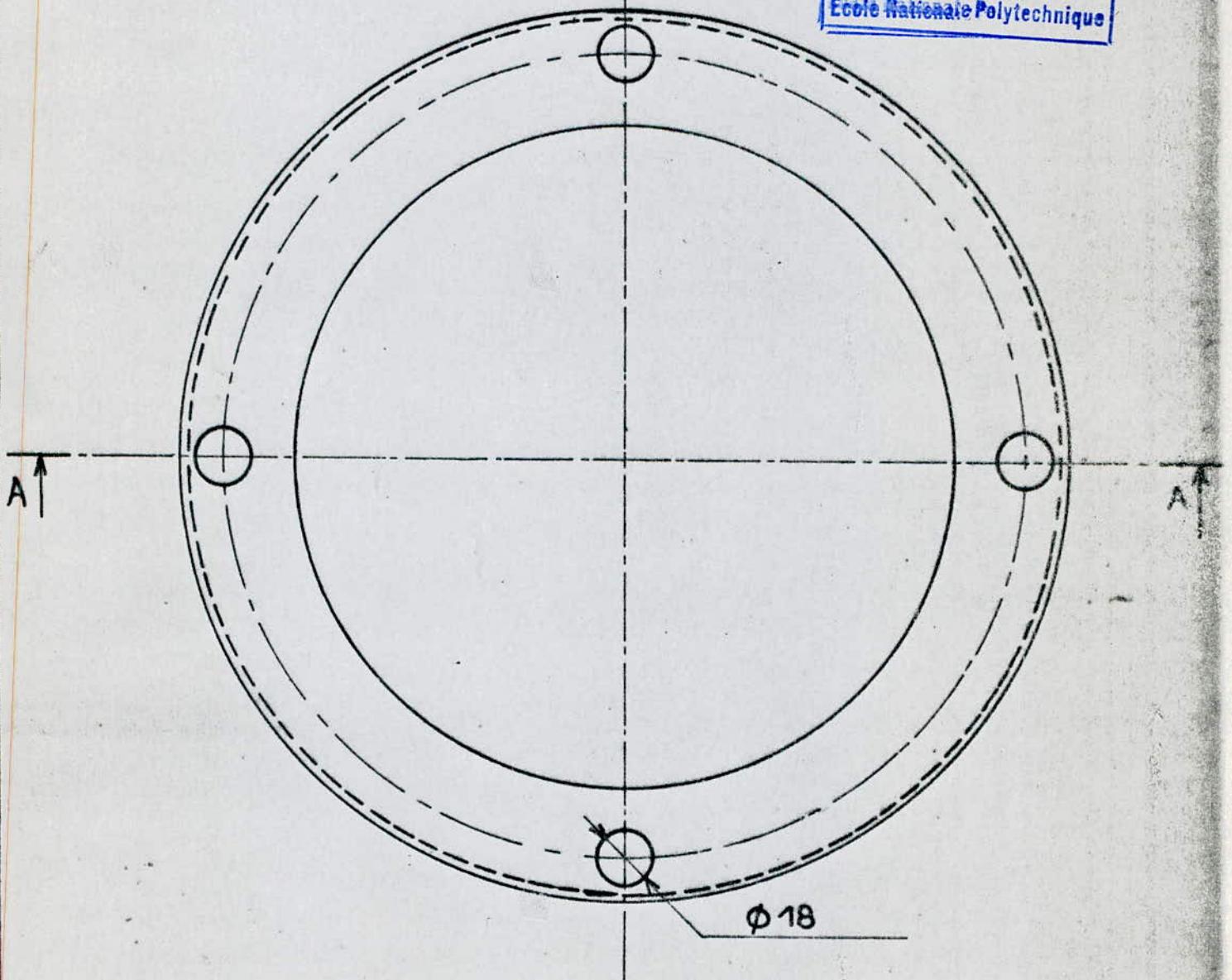


Echelle: 1:2	N° 3.1.	E.N.P.A
	JUIN 88	PARTIE SUPERIEURE DU RESERVOIR
M. MOHAMED I		

COUPE A-A

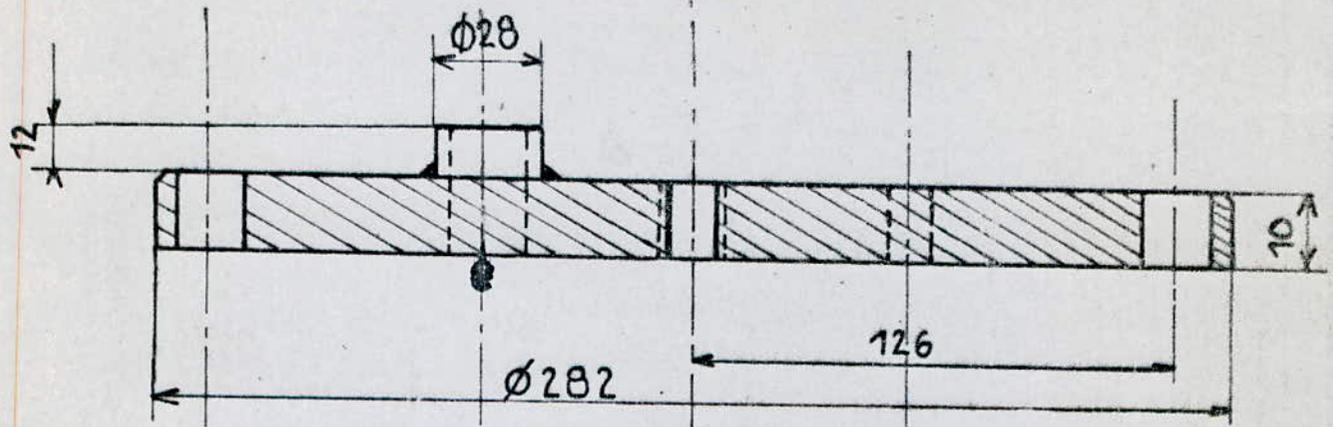


المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

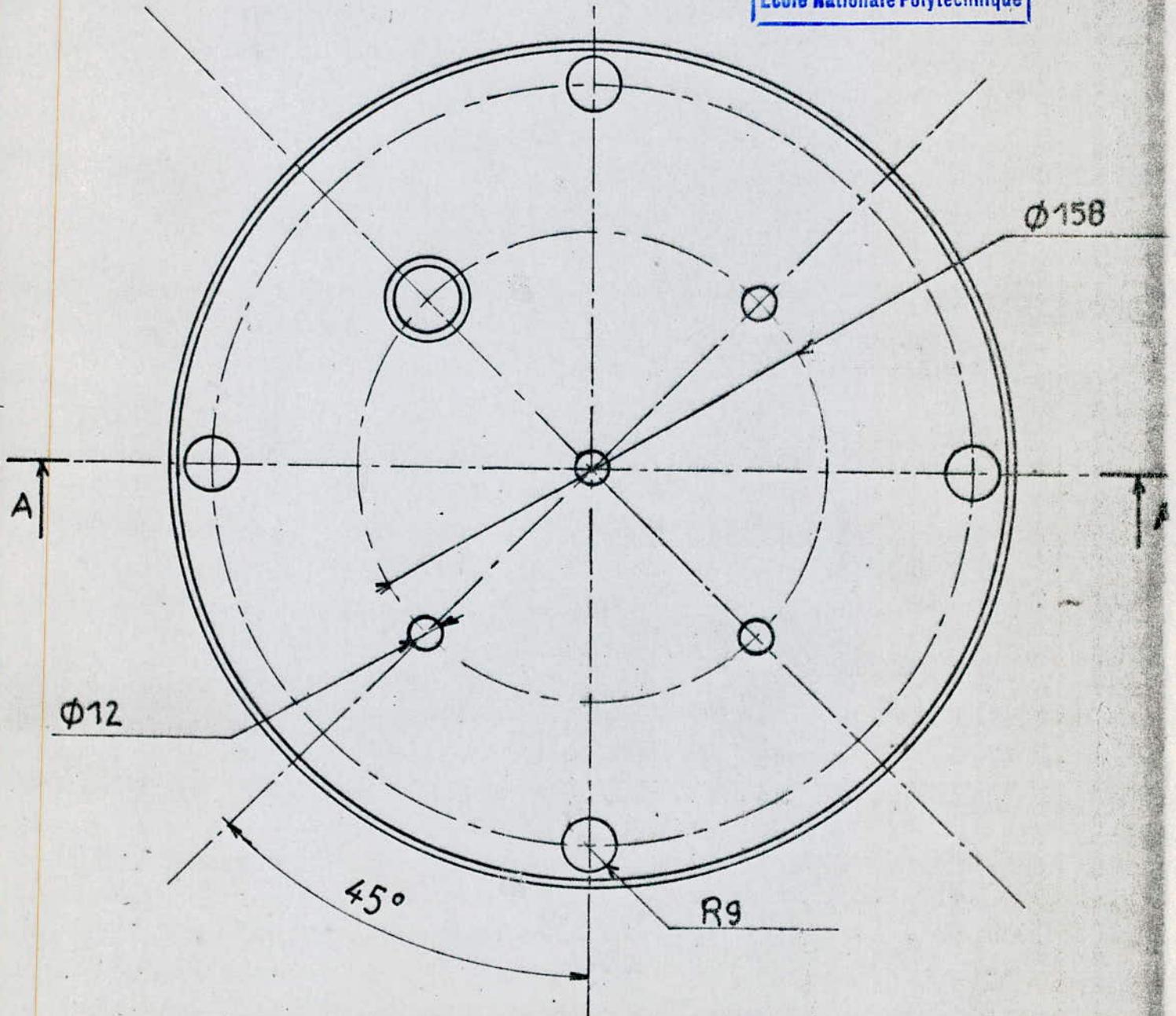


Echelle	N°: 3.1. a	ENDA
JUIN 88		BRIDE DE FIXATION (15)
M. MOHAMED I		

COUPE A-A

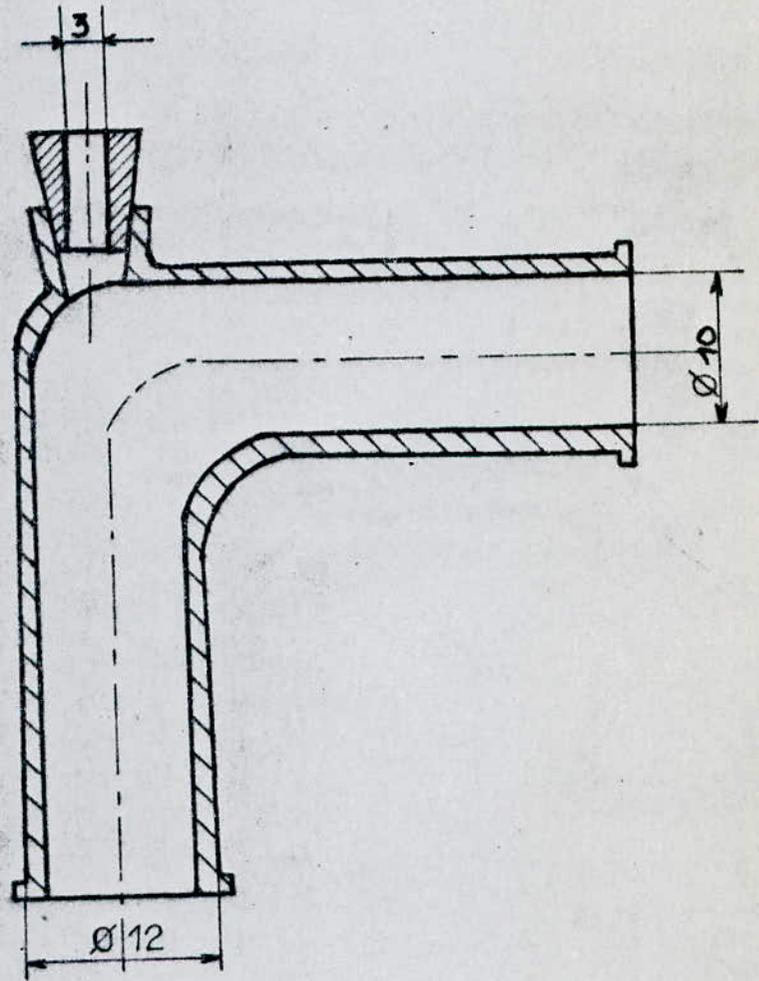


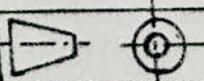
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique



Echelle: 1:2	N°: 3.1.b	E.N.P.A
JUIN 88		BRIDE DE FIXATION (17)
M. MOHAMED I		

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique



Echelle	N°: 4	ENPA
JUIN 88		COUDE A 90°
M. MOHAMEDI		

