

18/88

2eA

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONCEPTION D'UNE COLONNE
D'ABSORPTION A GARNISSAGE**

15 PLANCHES

Proposé par :

Mr M. BENIDDIR

Mr M. BOURKIZA

Etudié par:

ADJEB Azzeddine

AMOURA Hamid

Dirigé par :

Mr M. BENIDDIR

Mr M. BOURKIZA

PROMOTION : JUIN 1988

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE CHIMIQUE

الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONCEPTION D'UNE COLONNE
D'ABSORPTION A GARNISSAGE**

Proposé par :

Mr M. BENIDDIR

Mr M. BOURKIZA

Etudié par:

ADJEB Azzeddine

AMOURA Hamid

Dirigé par :

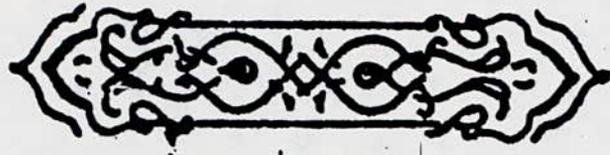
Mr M. BENIDDIR

Mr M. BOURKIZA

PROMOTION : JUIN 1988

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا



اللَّهُمَّ أَرْزُقْنَا حُسْنَ التَّوَكُّلِ عَلَيْكَ

اللَّهُمَّ إِنِّي أَسْأَلُكَ عِلْمًا نَافِعًا

إِنَّكَ سَمِيعُ الدُّعَاءِ.

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Génie Chimique

Promoteurs : M. BENEDDIR . M. BOURKIZA

Élèves ingénieurs : ADJEB A. AMOURA H.

وزارة التعليم العالي
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

دائرة : الهندسة الكيميائية
الموجهان : السادة : بن إيد يرم .
بوركيظة . م .

المهندسان : ع . عجاب
: ح . عمورة

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع / تصور عمود الامتصاص مجهز .

الملخص / عملنا يستهدف تصور عمود الامتصاص مجهز، لقد استتجنا انطلاقاً من العلاقات النظرية أبعاد جهازنا إضافة إلى ذلك، أنجزنا الرسم التقني بالأجمالي والرسم المفصلة لتسميل الاجاز .

Sujet/ Conception d'une colonne d'absorption à garnissage .

Résumé/ Notre travail consiste en la conception d'une colonne d'absorption à garnissage .

Nous avons établi à partir des formules empiriques le dimensionnement de notre appareillage.

Nous avons en plus, réaliser le schéma technique global ainsi que des schémas de détails pour faciliter la tâche aux réalisateurs.

Subject/: Conception of an absorption packing tower .

Abstract/: Our work consists in the conception of an absorption packing tower.

First the impirical formulae , we have established the disign of our apparatus. finally , we have realised the in industrial drawingr with all the details needed which wuile help the makers to succeed in their task.

~ Dedicaces ~

Je dedie cette humble étude,

- A mon cher père pour ses grands sacrifices, son soutien et sa compréhension durant toutes mes longues années d'études,
- A ma chère mère pour ses sacrifices inouïables,
- A mes sœurs et frères - SALIMA - MALIKA - TARIK - ADEL,
- A ma famille et mes amis,
- A ceux qui me sont chers,

AZZEDDINE

Je dedie ce modeste travail

- A mon cher père et à ma chère mère, qui m'ont soutenu durant toutes mes années d'études,
- A mes chers frères et sœurs,
- A mon grand père paternel.

En signe de reconnaissance et de profonde affection

HAMID

Sans oublier notre très cher ami YAZID, pour son aide précieuse.

Ses membres de jury

- Président | Madame DERRICHE, chargée de cours à l'ENP
- Examineurs | Monsieur BENDJEMA, chargé de cours à l'ENP
Monsieur TYCZKOWSKI, maître de conférences à l'ENP
- Promoteurs | Monsieur M. BOURKIZA, maître de conférences à l'ENP
Monsieur M. BENIDDIR, maître assistant à l'ENP

~ Remerciements ~



Nous exprimons notre sincère reconnaissance à Madame DERRICHE, chargé de cours au département de Génie - chimique de l'ENP, pour l'honneur qu'elle nous fait de présider les travaux de notre jury

Que

- Monsieur BENDJEMA, chargé de cours à l'ENP
- Monsieur TYCZ KOWSKI, maître de conférences à l'ENP

Trouvent ici l'expression de nos vifs remerciements pour avoir bien accepté de faire partie de ce même jury.

Nous tenons aussi à remercier messieurs BENIDDIR et BOURKIZA d'avoir proposer, suivi et dirigé ce travail.

Ainsi que tous les professeurs et assistants qui ont contribué à notre formation.

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION :	1
I - PARTIE THEORIQUE :	3
I - 1 - Principe de l'absorption :	3
I - 1 - 1 - La Diffusion :	3
I - 1 - 1 - 1 - Diffusion dans les gaz :	3
I - 1 - 1 - 2 - Diffusion dans les liquides :	4
I - 2 - Transfert de matière entre les phases liquides et gazeuses.....	5
I - 2 - 1 - Modèle du film de " WITTMAN"	5
I - 2 - 2 - Modèles à renouvellement de surface:.....	7
I - 3 - Hydrodynamique d'une colonne garnie :	9
I - 3 - 1 - Les garnissages :	9
I - 3 - 1 - 1 - Caractéristiques physiques d'un élément de garnissage...	11
I - 3 - 1 - 2 - Arrangement du garnissage :	12
I - 3 - 2 - Taux de mouillage :	13
I - 3 - 3 - Perte de charge :	13
I - 3 - 4 - Retention de liquide dans le garnissage :	16
I - 3 - 5 - L'engorgement :	16
I - 3 - 6 - Distribution du liquide :	18
I - 3 - 7 - Support du garnissage :	19
I - 4 - Opération d'absorption :	21
I - 4 - 1 - Bilan de matière :	21
I - 4 - 2 - Le rapport limite gaz - liquide :	22
I - 4 - 3 - La hauteur de la colonne :	23

II - PARTIE CALCUL :	28
II - 1 - Calcul classique :	28
III - 2 - Calcul informatique :	48
III - PARTIE CONCEPTION :	55
III - 1 - Introduction :	55
III - 2 - Choix du système :	55
III - 3 - Choix du matériaux utilise :	56
III - 4 - Principaux organes de l'installation :	57
III - 5 - Préparation pour les essais expérimentaux :	61
IV - PARTIE TECHNIQUE :	
CONCLUSION :	65
NOMENCLATURE :	
BIBLIOGRAPHIE :	

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

Les industries chimiques et parachimiques utilisent couramment les procédés d'écoulements simultanés d'un gaz et d'un liquide à travers un garnissage. C'est le cas de l'opération unitaire d'absorption dont le siège est la colonne garnie.

Le but recherché par l'utilisation du garnissage est l'amélioration du contact intime entre les phases liquides et gazeuses pour l'augmentation de l'aire interfaciale et par conséquent le transfert de matière.

Le travail qui nous à été proposé consiste en la conception d'une colonne d'absorption garnie pour une éventuelle réalisation

Notre sujet de mémoire comporte quatre parties principales

- Partie théorique
- Partie calcul
- Partie conception
- Partie technique

Dans la partie théorique, nous avons rappelé les principes de la diffusion, du transfert de matière avec ses différentes théories de pénétration, des notions fondamentales de l'hydrodynamique, avec en général des problèmes suscités par la distribution des phases liquides et gazeuses à travers le garnissage.

Ensuite, dans la partie calcul, nous avons concilié entre les dimensions standards existantes et les résultats issus des formules empiriques à notre disposition.

En outre, nous avons enrichi notre travail d'un programme informatique permettant d'optimiser notre calcul de dimensionnement d'une part et de diminuer en complexité de manipulation des formules empiriques fastidieuses d'autre part.

Dans la partie conception, nous avons expliqué le choix du système, du matériau de construction des équipements annexes de notre colonne d'absorption.

Finalement, dans la partie technique, nous avons consolidé le travail par un schéma général de notre appareillage d'abord, et par des schémas techniques de détail pour faciliter d'une part la compréhension du cheminement des fluides et d'autre part, la réalisation par les ateliers concernés.

IPARTIE
THEORIKQUE

1. PRINCIPE DE L'ABSORPTION

Dans l'absorption des gaz, un gaz soluble est absorbé d'un mélange ou il se trouve avec un gaz inerte.

Nous étudions le cas particulier, très important, du passage d'un constituant de la phase gazeuse vers une phase liquide après la mise en contact gaz - liquide à travers un garnissage. Le cas par exemple du lavage du gaz ammoniac à partir d'un mélange ammoniac - air par de l'eau dans une colonne garnie.

L'absorption des gaz, de nos jours, peut être réalisée dans une grande variété d'appareillages, mais les colonnes garnies restent les plus utilisées. (16)

Notons que la diffusion est à la base du principe de transfert de matière qui régit l'absorption.

1 - 1 - LA DIFFUSION (3)

La structure discontinue de la matière permet, sous l'action de ses forces, l'évolution des systèmes vers l'état d'équilibre.

Le gradient de concentration, de pression ou de température est responsable du déplacement du constituant diffusant.

Tant que le gradient est maintenu constant par la fourniture du composant qui diffuse de l'extrémité de la concentration élevée vers l'extrémité de concentration basse, l'écoulement du composant diffusant est continu. Ce mouvement continu est exploité dans les opérations de transfert de matière.

Des relations empiriques ont été élaborées pour calculer les coefficients de diffusion.

1 - 1 - 1 Diffusion dans les gaz

Le coefficient de diffusion D_g , a été mis sous la forme pratique suivante par GILLILAND (1934) (1)

$$D_g = b \cdot \frac{T^{3/2}}{P (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (1)$$

avec D_g = Coefficient de diffusion du gaz, en cm^2 / s .

T = Température absolue, en K

P = Pression totale, en atmosphère

b = Constante adimensionnelle, égale à 0,0043

M_A et M_B = Poids moléculaires des composants A et B respectivement, en g/mole

V_A et V_B = Volumes moléculaires à la température normale d'ébullition des composants A et B respectivement, en cm³/mole.

1-1-2 Diffusion dans les liquides

WILKE et CHANG (1955) ont mis en corrélation les données pour la diffusion dans les solutions diluées par l'équation (1)

$$D_1 = 7,4 \cdot 10^{-8} \frac{(x \cdot M_s)^{1/2} T}{\mu \cdot V_s^{0,6}} \quad (2)$$

avec D_1 = Coefficient de diffusion du liquide, en cm²/s

V_s = Volume moléculaire du soluté, en cm³/mole

M_s = poids moléculaire du solvant, en g/mole

x = constante qui dépend de la nature du solvant (2,6 pour l'eau; 1,9 pour le méthanol; 1,5 pour l'éthanol, etc...)

μ = viscosité dynamique du liquide, en centipoise.

2 - TRANSFERT DE MATIERE ENTRE LES PHASES LIQUIDES ET GAZEUSES

2-1 - MODELE DU FILM "WHITMAN" (2) et (4)

Les variations de concentrations nécessaires au transfert de matière, se produisent près de la surface d'échange.

La théorie de WHITMAN et LEWIS admet qu'il existe, de chaque côté de la surface de séparation des deux phases, un film liquide ou gazeux, d'épaisseur finie, dans lequel se produit toute la variation de concentration correspondante à chaque phase.

Cette théorie suppose qu'il n'y a pas de résistance au transfert à travers la surface de contact. Par conséquent, à l'interface, la concentration C_i d'un gaz dissous dans le liquide et sa pression partielle p_i dans la phase gazeuse sont en équilibre ($p_i = m.C_i$).

La masse de corps transporté par unité de surface et de temps, dans le film liquide, peut - être mise sous la forme.

$$N_l = k_l (C_i - C) \quad (3)$$

avec C = concentration du soluté dans le liquide, en mole / m³

C_i = concentration du soluté dans le film liquide, en mole / m³

k_l = coefficient de transfert de matière individuel dans le film liquide, en m / h

De même, la masse de corps transportée dans les mêmes conditions dans le gaz est :

$$N_g = k_g (p - p_i) \quad (4)$$

avec p = pression partielle du soluté dans le gaz, en atmosphère

p_i = pression partielle du soluté dans le film gazeux, en atmosphère

k_g = coefficient de transfert de matière individuel dans le film gazeux, en mole/m². h . atm.

p et C sont supposées constantes dans la direction normale à la surface d'échange, la diffusion moléculaire et turbulente n'est pas connue, mais les formules sont valables.

N_l et N_g sont pratiquement égaux, car les volumes des deux films sont très faibles et ne donnent pas une accumulation de matière.

$$L'équation N = k_l (C_i - C) = k_g (p - p_i) \quad (5)$$

n'est pas utilisable, car il est impossible de prélever des échantillons qui permettraient de mesurer C_i et p_i . Ceci conduit à employer des coefficients globaux K_l et K_g définis par :

$$N = K_l (C^* - C) = K_g (p - p^*) \quad (6)$$

avec C^* = concentration du soluté dans la phase liquide qui serait en équilibre avec une phase gazeuse, où le soluté serait à la pression partielle p , en mole / m³.

p^* = pression partielle du soluté dans la phase gazeuse qui serait en équilibre avec une phase liquide où la concentration du soluté serait C , en atm.

K_l et K_g = coefficients de transfert de matière globaux dans la phase liquide et gazeuse respectivement, en m/h et mole / m²h.atm.

Les valeurs de C et p donc C^* et p^* sont connues. K_l et K_g peuvent être déterminés expérimentalement à partir de N et universellement, si K_l et K_g sont connus, on peut calculer N .

Sur le diagramme ci-dessous, donnant la concentration du soluté dans le liquide en fonction de sa pression partielle, on a reporté: la courbe d'équilibre dans les conditions de température et de pression de l'échange, les points $B(C, p)$, $A(C_i, p_i)$ correspondant à l'interface $B(C, p^*)$ et $E(C^*, p)$

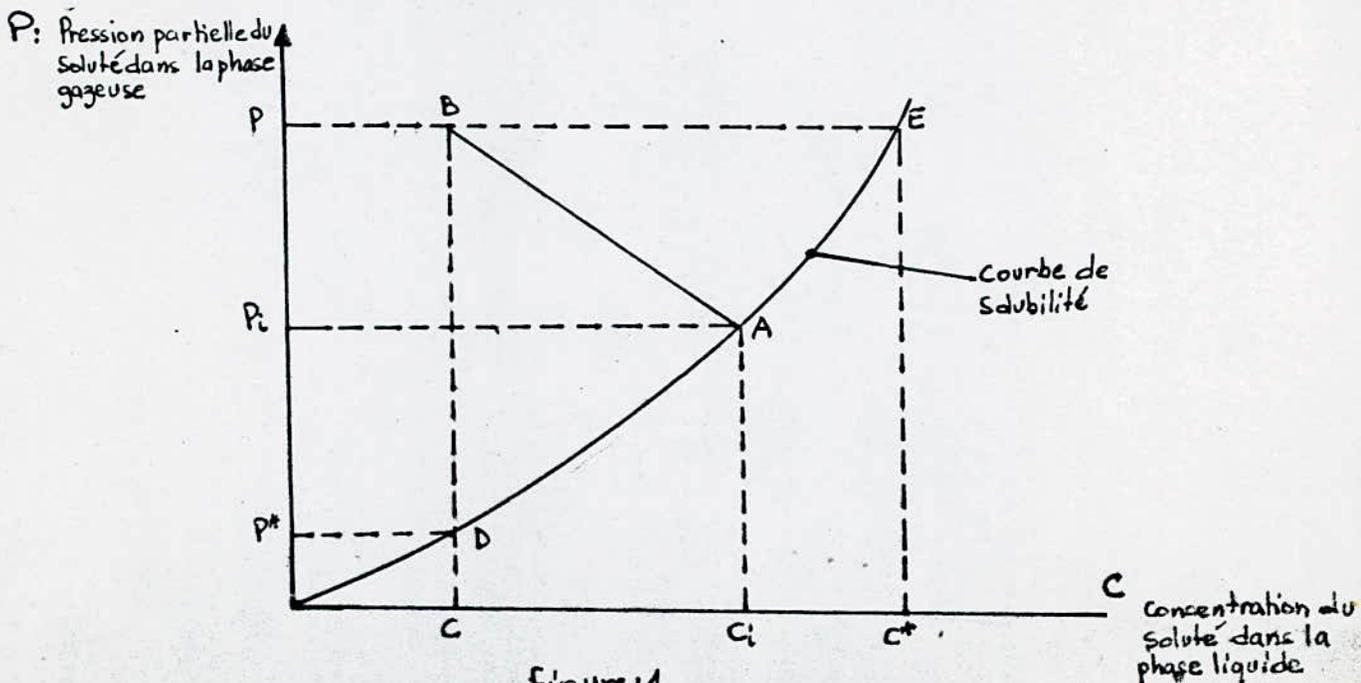


Figure:1

La pente de la droite AB est d'après l'équation (5), égale à :

$$\frac{P - P_i}{c - c_i} = - \frac{k_1}{k_g} \quad (7)$$

Si les points D, A, E sont sur une droite de pente m, on déduit des équations (5) et (6), et des équations géométriques de la figure DAEB.

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{m k_g} \quad (8)$$

$$\frac{1}{K_g} = \frac{m'}{k_1} + \frac{1}{k_g} \quad (9)$$

C'est le cas, lorsque la loi de HENRY s'applique.

m étant le coefficient de la relation d'équilibre $p = m.C$

Lorsque m est petit, c'est à dire gaz très soluble, la résistance $\frac{1}{K_1}$ dans le film liquide devient négligeable et K_g est peu différent de k_g , c'est le film gazeux qui contrôle la vitesse d'échange.

Au contraire, si m est grand, c'est à dire gaz peu soluble, K_1 est peu différent de k_1 , donc la résistance dans le film liquide contrôle l'échange.

2-2-MODELES A RENOUVELLEMENT DE SURFACE (4)

On suppose que les éléments de liquide situés à l'interface sont remplacés périodiquement par des éléments, venus de l'intérieur du liquide tant que l'élément est à l'interface.

Donc au contact du gaz, il absorbe comme une couche de liquide stagnante d'épaisseur infinie.

le transfert de matière est alors caractérisé.

- Soit par un temps de contact θ (modèle de HIGBIE)

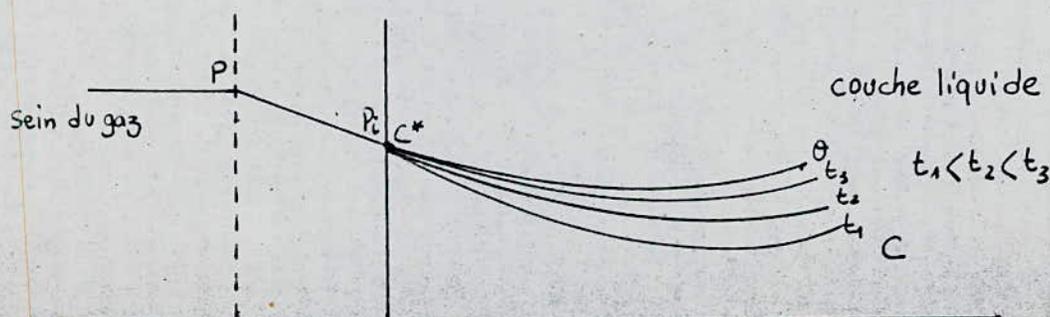
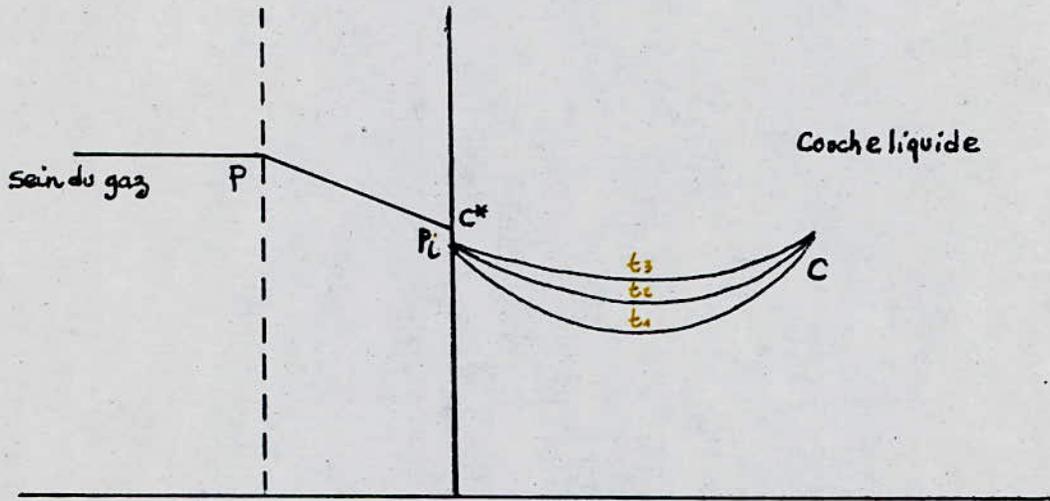


Figure: 2

$$K_1 = 2 \sqrt{\frac{D_1}{\pi \cdot \theta}} \quad (10)$$

θ = Temps de contact

- Soit par une vitesse de renouvellement S des éléments de liquide situés à l'interface (Modèle de DANCIWERTS)



$$K_1 = \sqrt{D_1 \cdot S} \quad (11)$$

figure: 3

3. HYDRODYNAMIQUE D'UNE COLONNE GARNIE

Le fonctionnement optimal de la colonne d'absorption à garnissage nécessite une bonne connaissance des paramètres hydrodynamiques qui en conditionnent l'efficacité .

Parmi ces paramètres :

- La forme et la porosité du garnissage .
- La perte de charge relevée dans le garnissage sec ou mouillé.
- La quantité totale de liquide contenue dans la colonne ainsi que sa distribution aléatoire à travers le garnissage .
- Les débits optimaux des fluides à l'engorgement .

3-1- LES GARNISSAGES

Le garnissage placé dans une colonne agit de trois façons (9) :

- Il augmente l'aire de contact gaz - liquide et donc la surface d'échange par unité de volume .
- Il provoque des microtourbillons locaux dans le film liquide , renouvelle sa surface et favorise ainsi le brassage et l'homogénéisation locale de sa concentration en soluté.
- Il empêche la formation de grands mouvements de convection et de turbulence longitudinale dans la phase gazeuse. Il maintient ainsi une forte différence de concentration de l'entrée à la sortie de la colonne .

Il existe une très grande variété de corps de remplissage tel que les anneaux Raschig, les anneaux Pall, les selles de Berl, les Selles intalox , etc...

- Les anneaux Raschig (13)

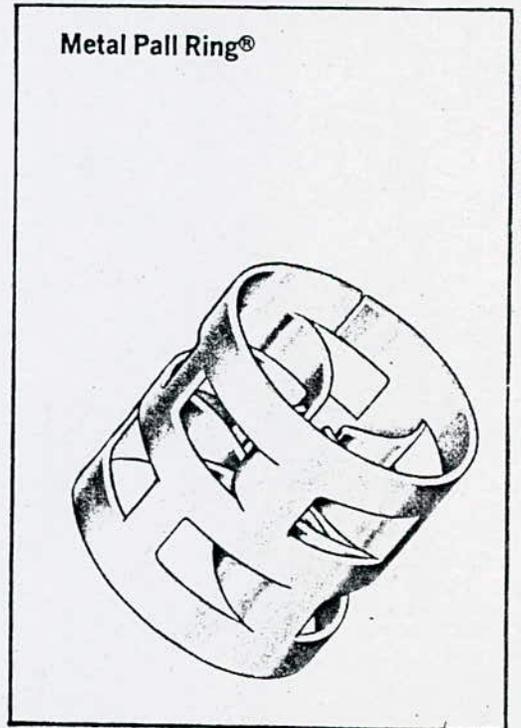
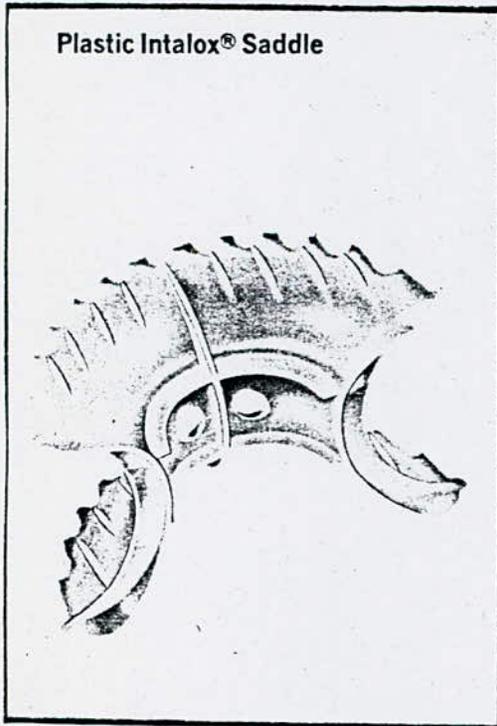
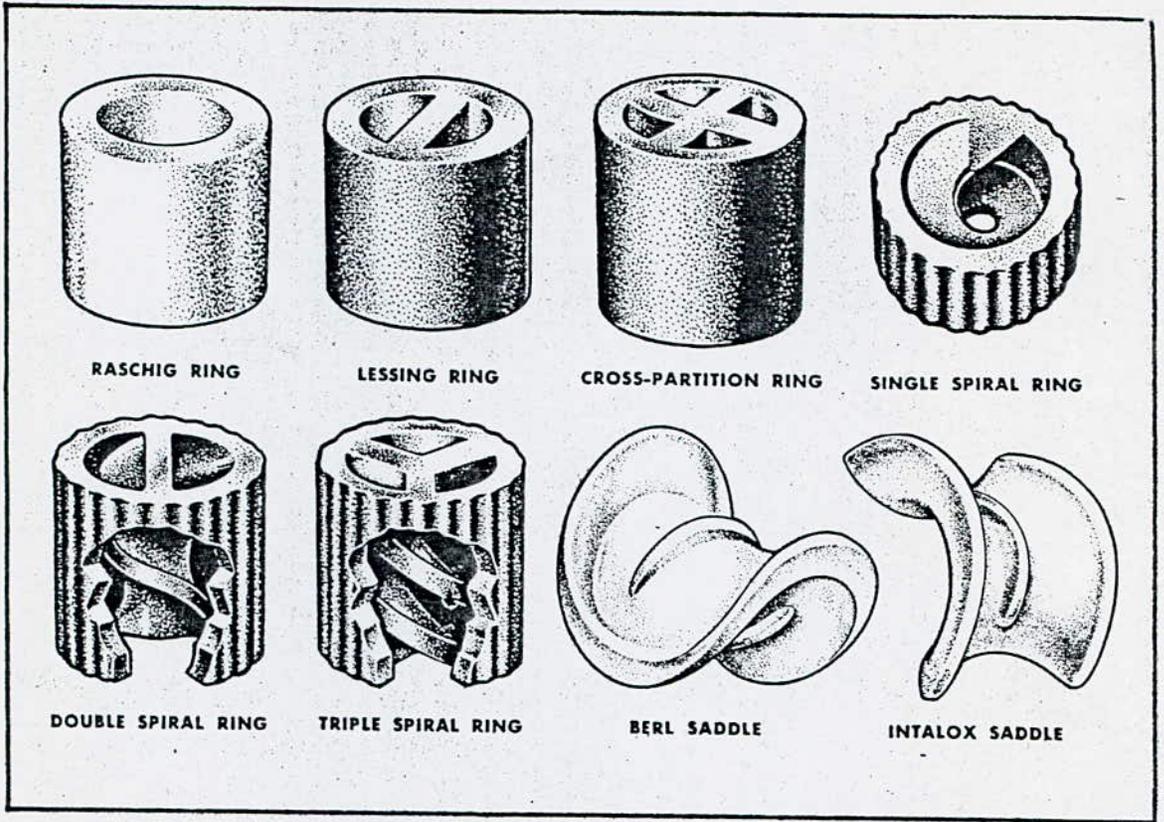
Ce sont les plus utilisés dans l'industrie à cause de leurs prix de revient modestes , ce sont des manchons cylindriques de hauteur égale au diamètre extérieur .

Le choix du matériau est extrêmement vaste : céramique (grés ou porcelaine), graphite, plastiques, verres et métaux etc...

Les dimensions nominales courantes vont de 6,4 à 102 mm ($\frac{1}{4}$ à 4 in)

- Les selles de Berl (4)

Ces corps ont une forme dérivée du parabolôïde hyperbolique avec renforcement des arêtes et adjonction de nervures .



Différentes formes de garnissage

Le volume à mettre en oeuvre pour une opération déterminée est sensiblement de 20% inférieur à ce qu'il serait avec des anneaux Raschig .

- Les anneaux Pall (4)

Un perfectionnement aux anneaux Raschig en céramique ou métal, a consisté à réaliser l'anneau Pall.

Il est percé de fentes prolongées par des languettes vers l'intérieur, ils permettent de réduire le volume de garnissage à mettre en oeuvre pour une opération donnée d'environ 30 à 40 % .

Il existe d'autres types de garnissage de formes plus complexes tels que les selles intalox, les anneaux Hj - Pak, etc Ils sont très coûteux et l'amélioration qu'ils apportent n'est pas proportionnelle à leur coût .

- Garnissages en éléments occupant toute la section de la colonne .

Au lieu de déposer en vrac des solides de formes variées, certains inventeurs ont eu l'idée de créer des écoulements réguliers à partir de remplissages de forme spéciale tel que le garnissage STEDMAN, ce sont des cônes de toile métallique qui sont soudés les uns aux autres pour former un empilage, des ouvertures ménagées de chaque cône, permettent le passage de la vapeur, alternativement à l'intérieur et à l'extérieur des cônes, pendant que le liquide ruisselle sur la toile métallique .

3-1-1 - caractéristiques physiques d'un élément de garnissage (4)

La fraction pleine $(1 - \epsilon)$ V du volume garni V est égale au produit du nombre d'éléments NV par le volume d'un élément V_E , d'où :

$$NV_E = 1 - \epsilon \quad (12)$$

La surface a V offerte par le volume garni V est égale au produit du nombre d'éléments NV par la surface d'un élément $a_E V_E$, d'où :

$$a = Na_E V_E \quad (13)$$

En combinant les équations (12) et (13), on obtient la relation entre la surface volumique du garnissage et celle d'un élément

$$a = a_E (1 - \epsilon) \quad (14)$$

- Relations empiriques (4)

La surface volumique d'un garnissage en vrac a est inversement proportionnelle à la dimension nominale de ses éléments d :

- Anneaux Raschig $a d = 4,67$

- Selles de berl $a d = 5,75$

(15)

Le nombre d'éléments N par unité de volume est inversement proportionnel au cube de la dimension nominale des éléments d

- Anneaux Raschig $Nd^3 = 0,763$
 - Selles de Berl $Nd^3 = 1,135$
- (16)

Le facteur de garnissage est donné par l'équation de SHERWOOD

$$F = a / \varepsilon^3 \quad (17)$$

La fonction essentielle d'un garnissage est de favoriser un contact intime entre les fluides en présence. Un garnissage est dit bon, s'il présente une surface spécifique a_g élevée ainsi qu'une porosité importante permettant d'opérer avec de grands débits liquides sans le risque de créer des pertes de charge élevées (9)

Quelque soit le type de garnissage, sa dimension doit être adaptée au diamètre de la colonne; la limite supérieure généralement admise est de un huitième de la colonne.

Selon ECKERT (7), il vaut mieux prendre comme limite un trentième du diamètre de la colonne pour les anneaux Raschig, un dixième pour les anneaux Pall.

3-1-2- ARRANGEMENT DU GARNISSAGE

Arrangement Ordonné

L'Arrangement ordonné permet d'obtenir une plus faible perte de charge et une plus grande capacité des fluides, pratiquement on ne l'utilise que pour les éléments de grande taille (supérieure à 5 cm).



Anneaux Raschig ordonnés en couches successives

Arrangement désordonné

La mise en place du garnissage est une opération délicate. En aucun cas, on ne doit le laisser tomber en chute libre dans l'air, de tels errements aboutissent à une casse ou une déformation importante des garnissages, ce qui favorise les passages préférentiels, augmente la perte de charge et les risques d'engorgement.

La plus simple des méthodes préconisées consiste à remplir la colonne d'eau avant chargement.

3-2- TAUX DE MOUILLAGE (9)

L'écoulement de liquide sur un garnissage doit être suffisant pour mouiller toute la surface du garnissage.

Quand le débit de liquide devient trop important, l'épaisseur du film augmente, le liquide tend à déborder. Quand, au contraire, le débit de liquide diminue, il apparaît dans la colonne des zones sèches, réduisant les performances du garnissage.

Le taux de mouillage est donné par la relation suivante:

$$M = \frac{L_v}{A} \frac{1}{a_g(1 - \xi)} \quad (10)$$

avec M = taux de mouillage, en $m^3 / m.h$

L_v = débit volumique de liquide, en m^3 / h

A = section droite de la colonne, en m^2

MORRIS et JACKSON (10) conseillent de prendre pour la limite inférieure du taux de mouillage $M = 0,08 m^3 / h.m$

Pour les anneaux et selles de dimensions inférieures à 70 mm et des grilles de pas inférieurs à 50 mm.

3-3- PERTE DE CHARGE .

Aux faibles débits gazeux, le taux de rétention varie peu, et la pente des courbes de pertes de charge reste constante et sensiblement la même, que celle de l'écoulement du gaz seul sur la garnissage sec. Ceci est dû au fait qu'il n'existe pas d'interactions importantes entre le gaz et le liquide.

A partir d'un certain débit de gaz, le taux de rétention commence à augmenter sous l'influence du frottement du gaz et la perte de charge croît selon une fonction puissance G^3 ou G^4 . C'est le " point de charge ".

Il se produit des rides sur la surface du garnissage et une accumulation de liquide dans les espaces morts .

Lorsqu'on accroît davantage le débit gazeux , on se situe dans la zone de charge .

Et " l'engorgement " du garnissage apparaît quand la courbe représentée en $\ln \frac{\Delta P}{Z} = f(Ln C)$ (Fig 4) commence la verticale

La relation généralement proposée pour le calcul de la perte de charge est présentée comme suit :

$$\Delta P = \alpha \cdot 10 \frac{\beta L' \cdot G'^2}{S_G} \quad (19)$$

avec ΔP = perte de charge, en mm Hg par mètre de hauteur garnie

G' = débit massique spécifique du gaz , en kg / m² s .

S_G = masse volumique du gaz , en kg / m³ .

L' = débit massique spécifique du liquide, en kg / m² s .

α et β = Constantes différentes pour chaque garnissage .

(20)

GARNISSAGE					α	β
Type	Dimension (in)	(mm)	Epaisseur de la paroi (mm)	Fraction de vide (%)		
Anneaux Raschig en céramique	3	76	9,5	75	0,74	0,031
	2	51	6,5	75	1,00	0,030
	1	25	3,0	73	2,20	0,045
	1/2	13	2,5	64	10,00	0,100
Anneaux Raschig en acier	2	51	1,2	94	0,95	0,030
	1 1/2	38	0,9	94	1,2	0,040
	1	25	0,7	93	1,7	0,043
Anneaux Pall en céramique	2	51	5	78	0,55	0,025
	1	25	3	73	1,45	0,033
Anneaux Pall en acier	2	51	1	95	0,25	0,025
	1 3/8	35	0,8	95	0,40	0,033
	1	25	0,6	94	0,60	0,04
Selles de Berl	1 1/2	38		75	0,60	0,030
	1	25		70	1,50	0,035
	1/2	13		65	5,00	0,040
Selles Intalox	1	25		75	1,70	0,033
	1/2	13		73	4,30	0,040

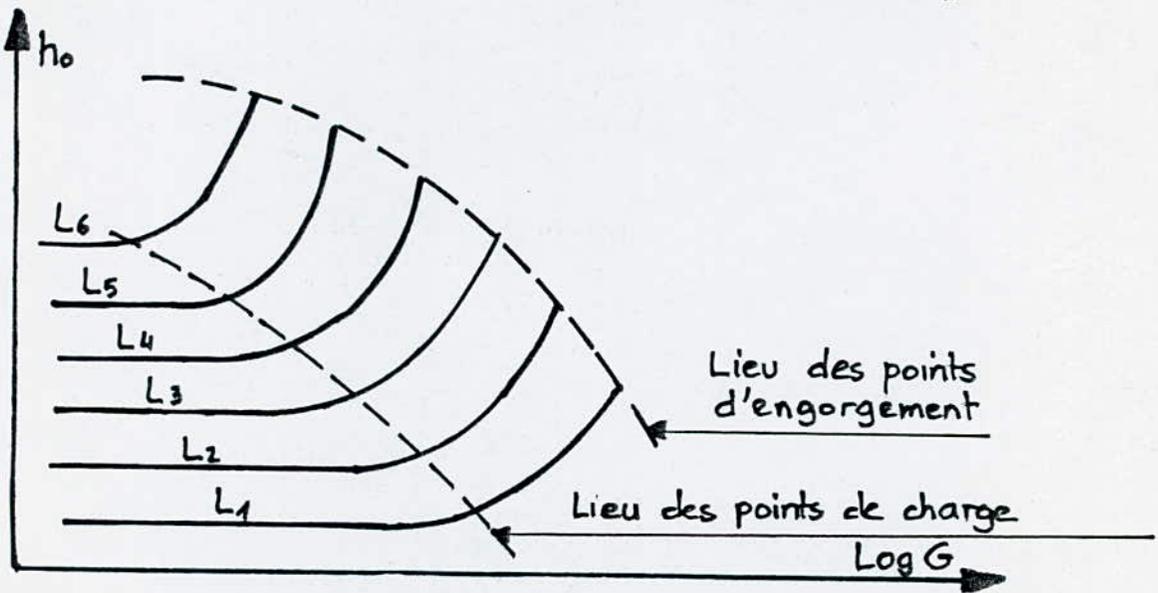
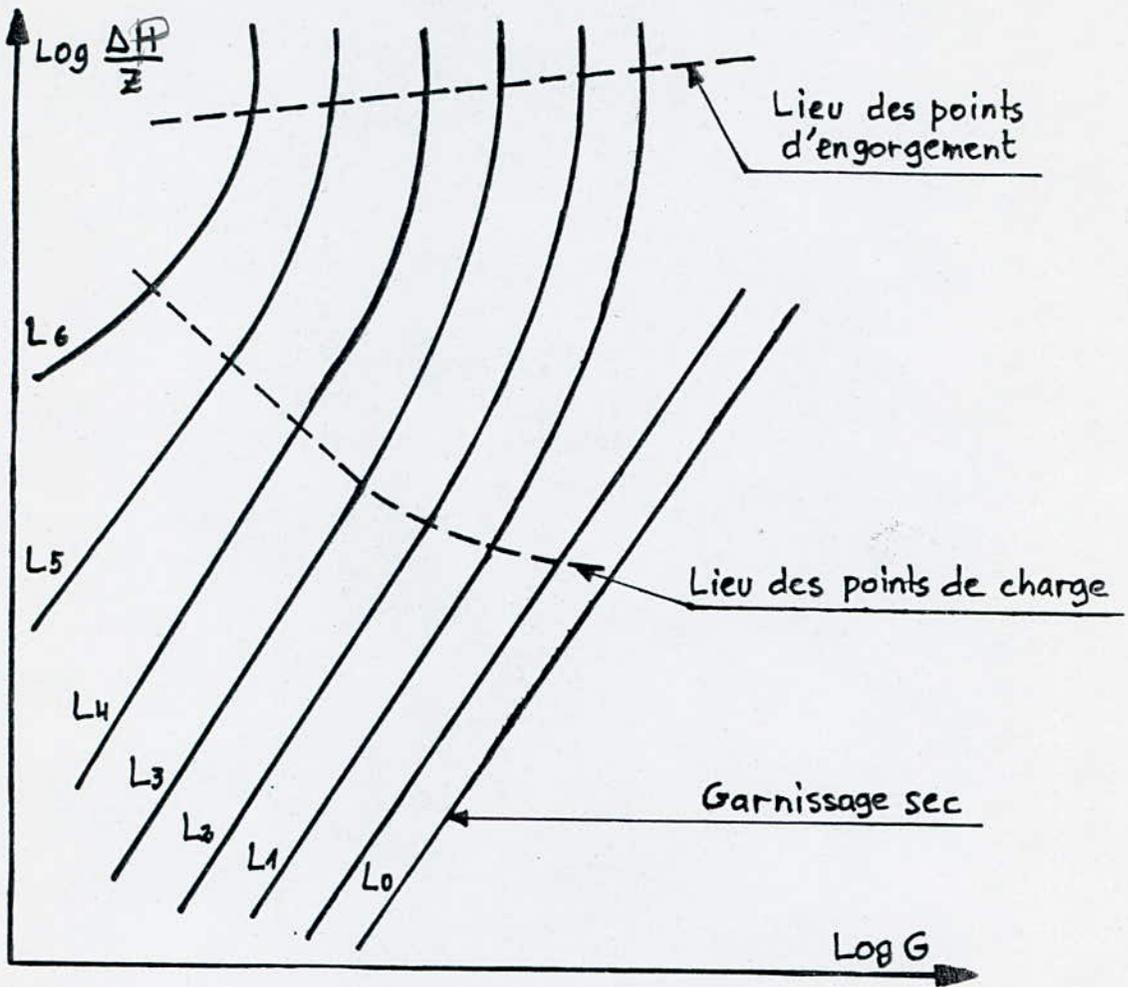


Figure 4 : Représentation schématique de la perte de charge et du taux de Retention dans un garnissage

3-4 RETENTION DE LIQUIDE DANS LE GARNISSAGE (4;9)

La rétention (Hold-up) est le volume de liquide accumulé par unité de volume garni.

La rétention totale h_t est la somme de la rétention capillaire h_c et de la rétention opératoire h_o .

La rétention capillaire localisée principalement aux points de contact entre les éléments de garnissage et dans les pores sans communication avec le bas.

La rétention capillaire dépend de la nature, de l'état de surface, de la dimension du garnissage ainsi que de la nature du liquide.

La rétention opératoire correspond au liquide en mouvement dans le garnissage. Cette quantité caractérise le temps de séjour du liquide dans la colonne.

OTAKE et OKADA proposent :

$$h_o = 1,295 \cdot a \cdot d \cdot Re_1^{0,676} Ga_1^{-0,44} \quad (21)$$

avec $Re_1 = \frac{d \cdot L'}{\mu_l}$ (Re_1 = Nombre de REYNOLDS)

$$Ga_1 = \frac{\epsilon \cdot d^3 \cdot \rho_l}{2 \mu_l} \quad (Ga_1 = \text{Nombre de GALILEE})$$

h_o = La rétention opératoire, en m^3 / m^3

μ_l = viscosité dynamique du liquide, en $kg / m \cdot s$

ρ_l = masse volumique du liquide, en kg / m^3

On trouvera de plus dans l'ouvrage de LEVA, la correction à apporter à la relation (21) pour les liquides dont la tension superficielle est très différente de celle de l'eau.

Pour les opérations industrielles, la rétention est une grandeur importante qui doit-être aussi faible que possible. En effet, une rétention importante augmente le poids de la colonne, et la perte de charge du gaz.

3-5 - L'ENGORGEMENT (9;12)

L'engorgement d'une colonne de diamètre donné, est une condition limite de fonctionnement qu'il est important de connaître, car elle fixe le débit maximum de gaz pour un débit de liquide donné.

Il se définit de deux façons :

- Visuellement, par examen du garnissage en fonctionnement au sommet duquel se forme une couche de liquide bouillonnant.

- Graphiquement, comme étant le point à partir duquel, en coordonnées

logarithmiques, les courbes de perte de charge en fonction du débit de gaz et pour un débit de liquide donné deviennent presque verticales.

De nombreuses formules sont proposées pour tenter de relier le point d'engorgement à la nature du garnissage et aux paramètres caractéristiques des fluides. Parmi les courbes ou relations empiriques présentées, la plus connue est celle de SHERWOOD et Coll. (5) dont la forme améliorée par LOBO et Coll. relie graphiquement le paramètre de capacité.

$$X = \frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}}$$

au paramètre d'écoulement .

$$Y = \frac{G e^2 F (\nu_L / \nu_w)^{0,2}}{E \cdot \rho_G \cdot \rho_L} \quad (22)$$

avec $G e$: débit massique spécifique du gaz à l'engorgement, en $\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$

ν_L : viscosité cinématique du liquide ($\nu_L = \mu_L / \rho_L$), en m^2 / s

ν_w : viscosité cinématique de l'eau à 20°C

L et G peuvent désigner des débits totaux ou des débits par unité de surface de section droite de la colonne (7).

Cette corrélation a fait l'objet d'un certain nombre de perfectionnement.

LEVA (8), pour représenter les données obtenues avec des liquides visqueux de densité différente de celle de l'eau, a proposé de compléter le paramètre

d'écoulement par un facteur de correction ψ^2 donné par: $\psi = \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_L}$

Mais selon ECKERT, cette correction est un peu excessive, il est préférable de multiplier Y par ψ plutôt que par ψ^2 .

D'autres relations empiriques ont été proposées à partir desquelles, on peut calculer les limites d'engorgement pour différents types de garnissage.

SANISTOWSKI a repris une étude de BAIN et HOUGEN pour proposer l'approximation

$$(17) \quad Y = \text{Exp} (-4,0 X^{0,25}) \quad (23)$$

Valable dans l'intervalle $0,02 \ll X \ll 4$

Pour des calculs plus précis et tant que $X \ll 10$, il suggère

$$Y = 0,684 \text{ Exp} (-3,61 X^{0,286}) \quad (24)$$

2-6 DISTRIBUTION DU LIQUIDE (9)

Les relations théoriques de transfert de matière entre gaz et liquide reposent sur l'hypothèse que ces deux phases sont uniformément réparties dans toute section droite de la colonne. Tout écart à ces conditions idéales conduit à une diminution de l'efficacité dont l'ampleur dépend des concentrations terminales et des relations d'équilibres entre le gaz et le liquide.

Une mauvaise distribution du gaz et du liquide est **extrêmement néfaste** quand on s'approche très près de l'équilibre puisque l'absence de liquide dans une section de colonne empêche l'absorption du soluté et réduit ainsi l'efficacité de la colonne.

Surface mouillée du garnissage (9)

De nombreux travaux ont porté sur la surface mouillée du garnissage en vue d'interpréter les variations de coefficients de transfert de matière gaz - liquide, en fonction des débits de gaz et de liquide pour des opérations à contre courant.

Les études effectuées principalement sur des anneaux Raschig et les selles de Berl, montrent que :

- La fraction de surface mouillée augmente avec le débit liquide. Elle est de l'ordre de 20 à 80% pour les débits généralement utilisés et n'atteint 100% qu'à l'engorgement.

$$\frac{S_1}{S} = 0,24 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \quad \text{Pour les anneaux Raschig} \quad (25)$$

$$\frac{S_1}{S} = 0,35 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,20} \quad \text{Pour les selles de Berl.}$$

S et S_1 sont respectivement l'aire totale et l'aire mouillée du garnissage.

Les distributeurs en tête de colonne (6)

Ce sont en général, des récipients de formes variables qui seront destinés à répartir le liquide uniformément sur le garnissage dans le but d'avoir un bon mouillage de la partie garnie.

La conception de ce type de distributeurs revêt un caractère assez complexe, car il faut arroser tous les éléments du garnissage de la même façon.

Or ceci n'est que théorique, en réalité le liquide s'écoule suivant des chemins préférentiels et l'idéal n'est pas réalisé.

Pour la plupart des installations, ces distributeurs sont de petites cuvettes percées de petits trous (pour déverser le liquide) entre lesquels sont intercalés par endroits des cheminées pour véhiculer les vapeurs ascendantes (voir fig 5)

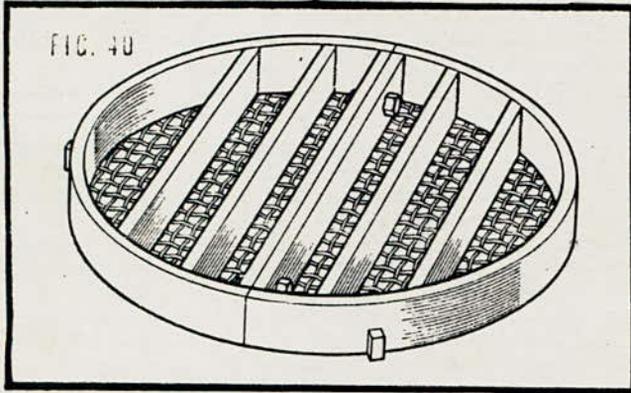
3-7 SUPPORT DU GARNISSAGE (4, 8 ; 12)

A La base du garnissage, il doit y avoir un support qui sert à maintenir le garnissage en place et doit être conçu pour laisser passer le gaz et le liquide.

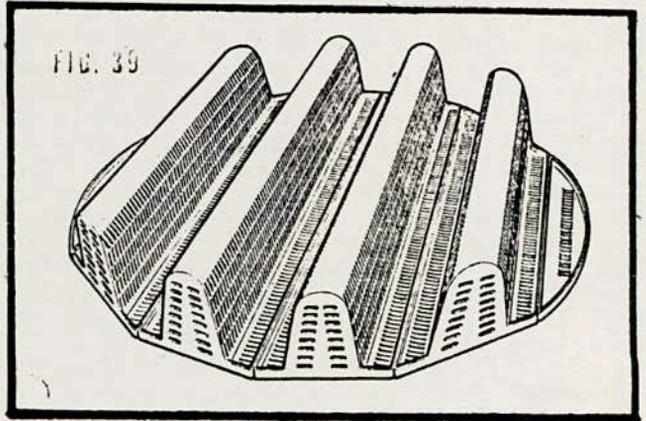
Il se présente en général sous forme de grille ou de plaque perforée, cette dernière ne doit pas introduire une résistance à l'écoulement des fluides. Le support doit être suffisamment solide pour porter la masse de la hauteur raisonnable du garnissage et doit avoir une large surface de vide pour permettre l'écoulement du liquide et du gaz avec un minimum de restriction. D'après LEVA ⁽⁶⁾, les plateaux conventionnels présentent 20 à 30 % de surface de vide. Il est donc indésirable d'avoir ce pourcentage de vide, car une telle condition peut amener le garnissage à boucher l'ouverture, causer une perte de charge élevée et baisser considérablement la limite d'engorgement de la colonne.

Le remède de cette condition est de fournir assez d'espace libre qui peut aller à plus de 50 %.

Le garnissage pourra être aussi supporté par un système de grille distributrice (fig 5), cette dernière doit comporter des mamelons ou des ondes afin d'assurer l'injection du gaz dans les différentes directions des chenaux qui s'offrent entre les éléments de garnissage en contact avec la grille.



Simple type.



multi-beam heavy duty type

Supports

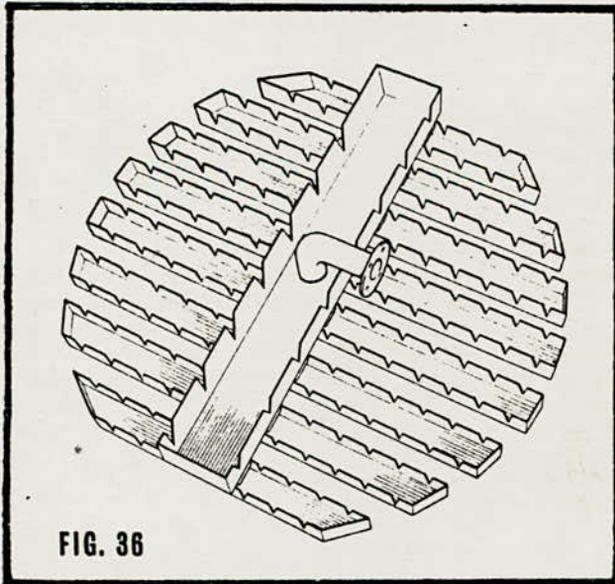


FIG. 36

notched trough distributor

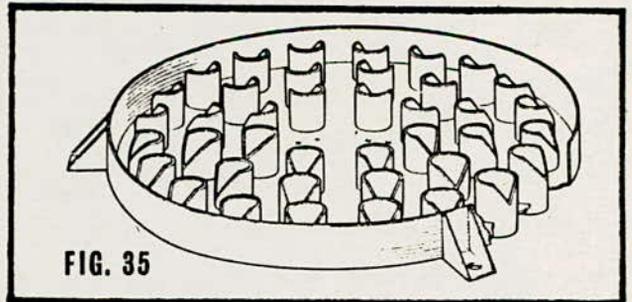


FIG. 35

notched chimney type of distributor

Distributors.

Figure 5

4 - OPERATION D'ABSORPTION

Le diamètre d'une colonne d'absorption à garnissage dépend :

- Des débits du liquide et gaz traités.
- Des propriétés du gaz et du liquide .
- Du rapport des deux écoulements entre eux

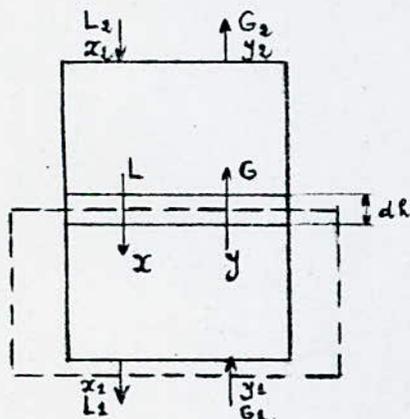
La hauteur de la colonne dépend de la grandeur des changements de concentrations désirés et du flux de transfert de matière par unité de volume du garnissage .

Les calculs de la hauteur de la colonne , cependant , sont basés sur le bilan de matière, des estimations des forces motrices et des coefficients de transfert de matière .

4-1 BILAN DE MATIERE (2)

Dans une unité à contact différentiel telle qu'une colonne d'absorption à garnissage , les variations de compositions sont continues d'une extrémité à l'autre de l'appareillage.

Le bilan de matière pour la portion de colonne qui se trouve au dessous de la coupe transversale est :



$$L_2 + G = L + G_1 \quad (26)$$

Le bilan sur le soluté A :

$$L_1 \cdot x_1 + G y = L x + G_1 y_1 \quad (27)$$

Avec G : débit molaire de la phase gazeuse , en mole /h

L : débit molaire de la phase liquide , en mole /h

x et y : fractions molaires dans les phases liquide et gazeuse respectivement .

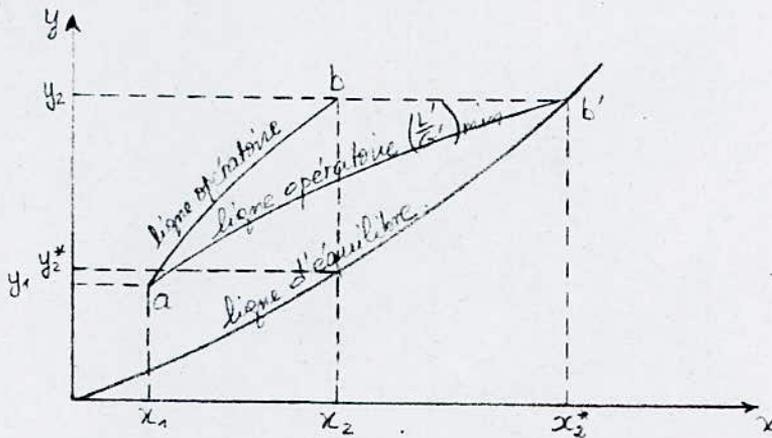
L'équation de la droite opératoire pour une unité à contact différentiel est donc :

$$y = \frac{L}{G} x + \frac{G_1 y_1 - L_1 x_1}{G} \quad (28)$$

4-2 LE RAPPORT LIMITE GAZ - LIQUIDE (2)

L'équation précédente montre que la pente moyenne de la ligne opératoire est $\frac{L}{G}$, rapport de débits molaires du liquide et du gaz.

Ainsi, pour un débit de gaz donné, une réduction du débit liquide décroît la pente de la ligne d'équilibre.



Considérons la ligne opératoire a b, on admet que le débit de gaz et les concentrations x_1 , y_1 et y_2 sont maintenus constants, et qu'on fait décroître le débit de liquide.

L'extrémité supérieure de la ligne opératoire se déplace dans la direction de la ligne d'équilibre et x_2 croît. La concentration maximale de liquide et le débit minimum de liquide sont obtenus lorsque la ligne opératoire intersecte la ligne d'équilibre ab'.

L'équation (27), devient :

$$L'(x_1 - x) = G'(y_1 - y) \quad (29)$$

Avec G' : débit molaire du gaz sans soluté, en mole / h

L' : débit molaire du liquide sans soluté, en mole / h

X_1, X, Y_1, Y : rapports molaires du soluté.

Le rapport $\left(\frac{L'}{G'}\right)_{\min}$ est important dans l'économie de l'absorption dans une colonne à contre courant.

Lorsque le débit du liquide par unité de section d'une colonne devient trop faible, l'efficacité du garnissage diminue rapidement.

Le garnissage n'est plus alors entièrement mouillé et l'aire de contact gaz - liquide diminue d'autant.

Des fractions de liquide peuvent demeurer stagnantes en certains points. La distribution des liquides devient irrégulière et la tendance naturelle de certains garnissages, tels que les anneaux raschig disposés en vase, de diriger le liquide vers les parois s'accroît (9).

4-3 LA HAUTEUR DE LA COLONNE (4)

- Résistance gazeuse prédominante

Pour une colonne ayant une section égale à l'unité. La quantité absorbée dans la hauteur dh pendant l'unité de temps est :

$$d(G'Y) = K_G a dh = k_G a dh(p-p_i) \quad (30)$$

Avec a : surface mouillée du garnissage, en m^2/m^3
D'une part G' , débit du gaz, est constant, d'où :

$$d(G'Y) = G' d\left(\frac{y}{1-y}\right) = G' \frac{dy}{(1-y)^2} = G' P \frac{dp}{(P-p)^2} \quad (31)$$

D'autre part, la différence de concentration dans le film liquide est négligeable, donc $p_i = p^*$ (pression partielle en équilibre avec la fraction molaire en phase liquide), d'où :

$$G' P \frac{dp}{(P-p)^2} = k_G a dh (p-p^*) \quad (32)$$

La hauteur de colonne est donnée par :

$$h = G' \int_{p_2}^{p_1} \frac{P dp}{k_G a (P-p)^2 (p-p^*)} \quad (33)$$

En milieu dilué, G' est pratiquement égal à G , p est petit par rapport à P et le coefficient $k_G a$ garde de la même valeur sur toute la hauteur de la colonne. L'équation (33) devient :

$$h = \frac{G}{Pk_G a} \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{p-p^*} = \frac{G}{Pk_G a} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y^*} \quad (34)$$

avec $k_G a$ peu différent de $K_G a$.

- Résistance liquide prédominante

Le gradient de pression partielle dans le gaz est négligeable et $C_i = C^*$ comme précédemment, la quantité absorbée dans la hauteur dh est :

$$d(L'X) = L'dX = \frac{L' dx}{(1-x)^2} = k_1 a dh (C^* - C). \quad (35)$$

$$\text{où } h = L' \int_{x_2}^{x_1} \frac{dX}{k_1 a (C^* - C)} = L' \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{k_1 a (C^* - C)(1-x)^2} \quad (36)$$

En milieu dilué, L' est pratiquement égal à L , le coefficient $k_1 a$ garde la même valeur sur toute la hauteur de la colonne, dans ce cas, x est petit et l'on a approximativement x moles de soluté pour un volume $\frac{H}{S}$ de liquide, d'où $C \approx x S / H$, l'équation précédente devient :

$$h = \frac{H}{k_1 a} \int_{C_2}^{C_1} \frac{dC}{C^* - C} = \frac{L'}{k_1 a} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x^* - x} \quad (37)$$

Avec $k_1 a$ peu différent de $K_1 a$.

-Cas Général

Aucune des deux résistances, dans le film liquide ou dans le film gazeux, ne peut être considérée comme négligeable vis à vis de l'autre.

Les conditions à l'interface C_i et p_i ne sont généralement pas connues.

Lorsque la courbe d'équilibre est voisine d'une droite et que le rapport $\frac{k_L}{k_G}$ reste constant, les coefficients globaux $K_G a$ et $K_L a$ seront utilisés à la place de $k_G a$ et $k_L a$ dans les équations () et () ou () et ().

L'emploi de ces coefficients globaux permet d'utiliser les forces motrices $C^* - C$ et $p - p^*$ mieux connues, au lieu de C_i et C et $p - p_i$ avec $k_1 a$ et $k_2 a$.

Les coefficients $k_G a$ et $k_L a$ ne peuvent être obtenus directement de l'expérience, sauf dans les cas où la résistance est prépondérante dans un seul film. Leur connaissance est néanmoins nécessaire.

En effet $K_G a$ et $k_1 a$ dépendent à la fois de $k_G a$ et $k_1 a$, or ces derniers varient différemment suivant les différentes conditions de l'absorption.

-Le nombre d'unités de transfert ⁽²⁾

L'intégrale dans l'équation (34) représente le changement en concentration de gaz divisée par la moyenne de la force motrice et est appelée "nombre d'unités de transfert global NUT_{og} ", l'autre partie de l'équation a une unité

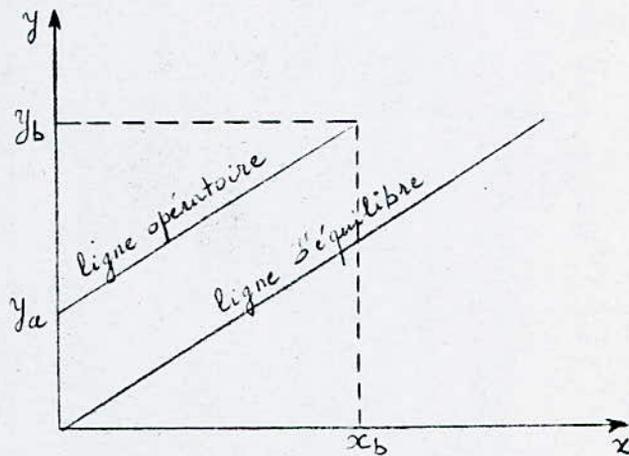
de longueur et est appelée " hauteur d'unités de transfert global $HUTog$ ".

$$h = HUTog \cdot NUTog \quad (38)$$

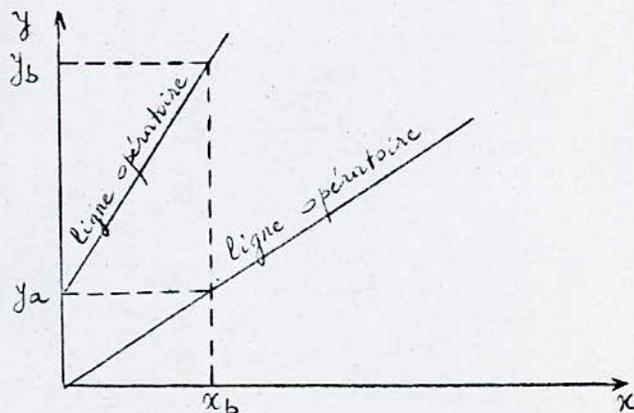
Dans le cas général , l'intégration peut être faite en traçant la courbe $\frac{1}{(y-y^*)}$ en fonction de y et en évaluant graphiquement l'aire comprise entre cette courbe et l'axe des abscisses y .

*Si la ligne opératoire et la ligne d'équilibre sont droites et parallèles comme c'est montré dans la figure ci-dessous, le nombre d'unités de transfert est égal au nombre d'étages théoriques et l'équation dans ce cas est :

$$NUTog = \frac{y_2 - y_1}{y - y^*}$$



Quand la ligne opératoire est droite, mais pas parallèle à la ligne d'équilibre le nombre d'unités de transfert est plus grand que le nombre d'étages idéales .



Pour une droite opératoire et une ligne d'équilibre, le "nombre d'unités de transfert est le changement en concentration de gaz divisé par la moyenne logarithmique de la force motrice.

$$NUT_{og} = \frac{y_2 - Y_1}{\Delta \bar{y}_1}$$

Avec $\Delta \bar{y}_1$: moyenne logarithmique de $y_2 - y_2^*$ et $y_1 - y_1^*$

La hauteur totale d'une unité de transfert peut - être définie comme la hauteur de la section garnie, laquelle nécessite à accomplir un changement en concentration égal à la moyenne de la force motrice dans cette section.

Les valeurs de HUT_{og} pour un système particulier sont tirés quelques fois de la littérature, mais souvent, ils peuvent - êtres estimés à des corrélations empiriques pour des coefficients individuels ou des hauteurs individuelles d'une unité de transfert.

Juste comme il ya quatre types de bases de coefficients de transfert de matière, il y a quatre types d'unités de transfert. Ils sont basés sur des forces motrices individuelles ou globales pour les phases liquides et gazeuses. Ce sont:

film gazeux	$HUT_g = \frac{G}{P k_{ga}}$	$NUT_g = \int \frac{dy}{y - y_i}$	(40)
-------------	------------------------------	-----------------------------------	------

film liquide	$HUT_l = \frac{LM}{k_{la}}$	$NUT_l = \int \frac{dx}{x_i - x}$	(41)
--------------	-----------------------------	-----------------------------------	------

gaz global	$HUT_{og} = \frac{G}{PK_{ga}}$	$NUT_{og} = \int \frac{dy}{y - y^*}$	(42)
------------	--------------------------------	--------------------------------------	------

Liquide global	$HUT_{ol} = \frac{LM}{K_{la}}$	$NUT_{ol} = \int \frac{dx}{x^* - x}$	(43)
----------------	--------------------------------	--------------------------------------	------

avec ρ : masse volumique du liquide, en kg /m³

M: masse molaire du liquide, en kg /kmole

Estimation des HUT (2)

Un certain nombre de corrélations ont été établies pour le calcul des valeurs des hauteurs d'unités de transfert individuels. Pour passer aux HUT globaux, on utilisé les formules suivantes.

$$HUT_{ol} = HUT_l + \frac{L}{mG} HUT_g \quad (44)$$

$$\text{et } \text{HUT}_{OG} = \text{HUT}_G + \frac{mG}{L} \text{HUT}_1 \quad (45)$$

avec $\frac{L}{mG}$: facteur d'absorption, nombre adimensionnel.

* Pour le calcul de HUT_G , PRATT (7) a proposé la formule suivante:

$$\text{HUT}_G = \frac{1}{C} \cdot \frac{\epsilon}{a} \left(\frac{de G}{\mu_g \epsilon} \right)^{0,25} \left(\frac{\mu_g}{\rho_g D_G} \right)^{0,67} \quad (46)$$

avec $de = \frac{4 \epsilon}{a}$, diamètre équivalent du garnissage, en m

G: débit massique spécifique du gaz, en m²/h

μ_g : viscosité du gaz, en kg/m.h

C: Constante adimensionnelle, dont la valeur est 0,105 pour les anneaux raschig en vrac; 0,125 pour les anneaux Pall et 0,07 pour les selles de Berl ou Intalox.

* Pour le calcul de HUT_1 , la formule de SHERWOOD et HOLLOWAY (5)

la forme suivante :

$$\text{HUT}_1 = A \left(\frac{L}{\mu_l} \right)^{0,25} \left(\frac{\mu_l}{\rho_l D_1} \right)^{0,5} \quad (47)$$

avec L: débit massique spécifique du liquide, en kg / m² h

μ_l : viscosité du liquide, en kg / m h

ρ_l : Masse volumique du liquide, en kg / m³

D_1 : Coefficient de diffusion du liquide, en m² / h

Valeurs de la constante A

Dimension du garnissage		Type de garnissage	
(in)	(mm)	Anneaux	Selles
2	51	0,28	-
1 1/2	38	0,25	0,14
1	25	0,23	0,13
1/2	13	0,08	-

II PARTIE
CALCUL

PARTIE CALCUL

Après avoir parcouru la disponibilité du marché et à partir des données physico-chimiques relatives à notre système de travail (NH_3 - Air - H_2O) et des relations empiriques régissant les lois de la mécanique des fluides et du transfert de matière.

Nous avons essayé de soigner le calcul des différentes pièces constituant notre colonne garnie.

Nous disposons des données suivantes

- Données concernant le garnissage.

Le garnissage choisi du type anneaux raschig en plexiglass a les dimensions suivantes:

. Dimension nominale $d = 0,013 \text{ m}$

. Epaisseur $e = 0,002 \text{ m}$

- Données concernant le gaz.

. Débit volumique à l'entrée $G_v = 5 \text{ m}^3/\text{h}$

. Masse volumique à la température normale, $\rho_{g0} = 1,29 \text{ kg/m}^3$ ^[12]

. Viscosité dynamique $\mu_g = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ ^[8]

. Coefficient de diffusion $D_g = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ^[12]

- Données concernant le liquide

Le liquide à l'entrée est pur.

- . Débit volumique à l'entrée $L_v = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$
- . Masse volumique à la température de 20°C $\rho_e = 998,23 \text{ kg/m}^3$ [12]
- . Viscosité dynamique $\mu_e = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ [14]
- . Coefficient de diffusion $D_e = 1,76 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ [14]
- . Masse molaire $M_e = 18 \text{ kg/kmole}$

Les données d'équilibres

- . fraction molaire du soluté en phase gazeuse à l'entrée ... $y_1 = 0,100$
- . fraction molaire du soluté en phase gazeuse à la sortie $y_2 = 0,001$
- . A la température de 20°C et à la pression de 1 atm , les données d'équilibres pour le système NH_3 - Air - Eau, en rapports molaires sont comme suit :

X	0,0206	0,0310	0,0407	0,0502	0,0735	0,0962
Y	0,0158	0,0240	0,0329	0,0418	0,0660	0,0920

[8]

- . Viscosité cinématique de l'eau à 20°C $\nu_w = 1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- . Accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- . facteur de sécurité $\frac{G}{G_e} = 65\%$

1 - Détermination des caractéristiques physiques du garnissage.

a - Surface spécifique du garnissage α .

La surface spécifique du garnissage pour les anneaux de type Raschig est donnée par la relation empirique (15)

$$\alpha d = 4,67$$

pour $d = 0,013 \text{ m}$

$$\alpha = \frac{4,67}{0,013} = 359,231$$

d'où la surface spécifique $\alpha = 359,231 \text{ m}^2/\text{m}^3$

b - Nombre d'éléments de garnissage par unité de volume N .

Le nombre d'éléments de garnissage est donné par la relation (16)

$$N d^3 = 0,763$$

A.N $N = \frac{0,763}{(0,013)^3} = 3,473 \cdot 10^5$

d'où le nombre d'éléments de garnissage $N = 3,473 \cdot 10^5 \text{ m}^{-3}$

c - Surface d'un élément de garnissage A_g .

La surface d'un anneau Raschig est

$$A_g = 2 \left(\frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi (d-2e)^2}{4} \right) + \pi d h + \pi (d-2e) h$$

pour l'anneau Raschig $d = h = 0,013 \text{ m}$

A.N $A_g = 2 \left(\frac{\pi (0,013)^2}{4} - \frac{\pi (0,013 - 2 \times 0,002)^2}{4} \right) + \pi (0,013)^2 + \pi (0,013 - 2 \times 0,002) 0,013$

d'où la surface de l'anneau Raschig $A_g = 1,037 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

d - Volume d'un élément de garnissage V_g

Le volume d'un anneau Raschig est :

$$V_g = \left(\frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi (d-2e)^2}{4} \right) h$$

A.N $V_g = \left(\frac{\pi (0,013)^2}{4} - \frac{\pi (0,013 - 2 \times 0,002)^2}{4} \right) 0,013$

d'où le volume d'un anneau Raschig $V_g = 8,985 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$

e - Fraction de vide volumique ϵ

La fraction de vide volumique du garnissage est donnée par l'équation (14)

$$a = a_g (1 - \epsilon)$$

avec $a_g = \frac{A_g}{V_g}$; Surface spécifique de l'anneau raschig.

On tire de l'équation $\epsilon = 1 - \frac{a}{A_g/V_g}$

A.N $\epsilon = 1 - \frac{359,231}{\frac{1,037 \cdot 10^{-3}}{8,985 \cdot 10^{-7}}} = 0,689$

d'où la fraction de vide volumique de l'anneau $\epsilon = 0,689$

f - Facteur de garnissage F

D'après la relation de SHERWOOD (17)

$$F = \frac{a}{\epsilon^3}$$

A.N $F = \frac{359,231}{(0,689)^3} = 1098,288$

$F = 1098,288 \text{ m}^2/\text{m}^3$

2 - Calcul du diamètre de la colonne.

Après le choix du garnissage et la détermination des caractéristiques physiques de ce dernier, l'étape suivante dans le calcul de la colonne est la détermination du diamètre qui se ramène au calcul du point d'engorgement. Dans ce but, nous préconisons l'utilisation de la relation de SAWISTOWSKI (24)

$$Y = 0,684 \text{ Exp}(-3,61 X^{0,286})$$

Valable pour $X \leq 10$

avec $X = \frac{L_m}{G_m} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}$, paramètre de capacité

et $Y = \frac{G_e^2 F (V_e/V_w)^{0,2}}{\rho_l \rho_l g}$, paramètre d'écoulement

L_m = débit massique du liquide, en kg/h

G_m = débit massique du liquide, en kg/h.

G_e = débit massique spécifique du gaz à l'engorgement, en kg/m².s

- La masse volumique du gaz à la température de travail ($T=20^\circ\text{C}$)

$$\rho_g = \rho_{g0} \frac{T_0}{T}$$

A.N $\rho_g = 1,29 \frac{273,15}{20+273,15} = 1,202 \text{ kg/m}^3$

Ainsi le paramètre de capacité $X = \frac{0,4 \times 998,23}{1,202 \times 5} \sqrt{\frac{1,202}{998,23}}$

$X = 2,305$

Comme $X \leq 10$, On peut appliquer la relation de SAWISTOWSKI

$$Y = 0,684 \text{ Exp}(-3,61 (2,305)^{0,286})$$

On aura $\underline{Y = 6,987 \cdot 10^{-3}}$

A partir de cette valeur, on en déduit le débit à l'engorgement G_e

$$G_e = \sqrt{\frac{Y S_g S_e g}{F (\nu_L / \nu_w)^{0,2}}}$$

$$\nu_w = 1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

ν_e = viscosité cinématique du liquide à la température de travail, donnée

$$\text{par } \nu_e = \frac{\mu_e}{S_e}$$

A.N $\nu_e = \frac{1,005 \cdot 10^{-3}}{998,23} = 1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\underline{\nu_e = 1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$G_e = \sqrt{\frac{6,987 \cdot 10^{-3} \times 1,202 \times 998,23 \times 9,81}{1098,288 \times \left(\frac{1,007 \cdot 10^{-6}}{1,007 \cdot 10^{-6}}\right)^{0,2}}}$$

d'où le débit à l'engorgement $\underline{G_e = 0,274 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}$

- Le débit de gaz G est de 65% le débit à l'engorgement.

$$G = 0,65 G_e$$

A.N $G = 0,65 \times 0,274 = 0,178$

Donc on travaille avec un débit de gaz $\underline{G = 0,178 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}$.

On calcule la section de la droite garnie, sachant que le débit du gaz est de $5 \text{ m}^3/\text{h}$

$$A_c = \frac{G_v \cdot S_g}{3600 \cdot G}$$

A.N $A_c = \frac{5 \times 1,202}{3600 \times 0,178} = 9,379 \cdot 10^{-3}$

d'où la section droite de la colonne est $A_c = 9,379 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Et de là, le diamètre de la colonne

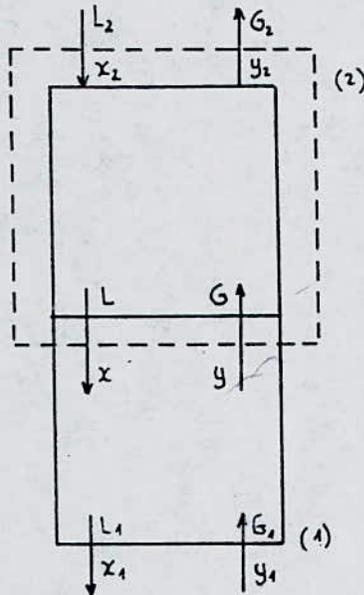
$$D = \sqrt{\frac{4 A_c}{\pi}}$$

A.N $D = \sqrt{\frac{4 \times 9,379 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,109 \text{ m}$

$D \approx 11 \text{ cm}$

Le diamètre est plus grand de plus de 8 fois la dimension nominale du garnissage, ce choix est cependant raisonnable.

3 - Calcul de la hauteur de la colonne garnie H



Bilan de matière sur la portion de colonne se trouvant au dessus de la coupe transversale, Nous aurons

- bilan global $L_2 + G = L + G_2$

- bilan sur le soluté $L_2 x_2 + G y = L x + G_2 y_2$ (a)

Le solvant à l'entrée est pur, donc, la composition en phase liquide à l'entrée de la colonne est nul, $x_2 = 0$.

Désignant par L' , le débit molaire du solvant sans le soluté

G' , le débit molaire de l'inerte sans le soluté

avec $L' = L_2(1 - x_2) = L(1 - x)$

$G' = G_2(1 - y_2) = G(1 - y)$

L'équation (a) devient :

$$\frac{G'}{1-y} y = \frac{L'}{1-x} x + \frac{G'}{1-y_2} y_2$$

$$G'Y = L'X + G'Y_2$$

d'où l'équation de la droite est de la forme:

$$Y = \frac{L'}{G'} X + Y_2$$

avec $X = \frac{x}{1-x}$, $Y = \frac{y}{1-y}$, $Y_2 = \frac{y_2}{1-y_2}$

X, Y, Y_2 : rapports molaires

a - Calcul du nombre d'unités de transfert global en phase gazeuse NUT_{og} .

$$NUT_{og} = \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{dY}{Y - Y^*}$$

avec $Y = \frac{L}{G} X + Y_2$, Equation de la droite opératoire trouvée précédemment

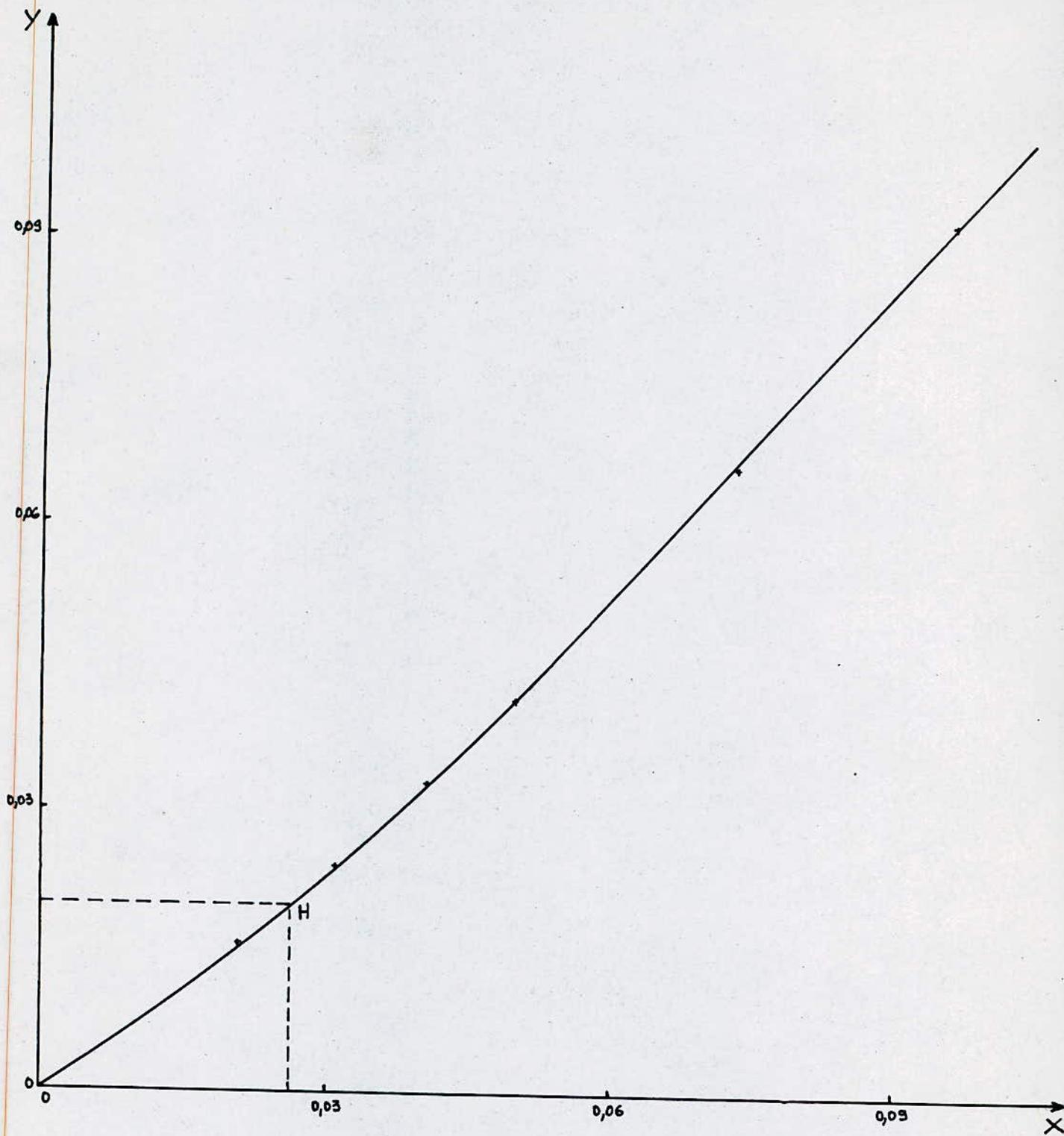
En dérivant cette équation, on trouve

$$dY = \frac{L}{G} dX$$

Et $Y^* = mX$, Equation de la droite d'équilibre, où m représente la pente de la droite d'équilibre.

En traçant Y^* en fonction de X , on trouve une pente $m = 0,75$ pour la portion OH (figure 6)

$$\begin{aligned} NUT_{og} &= \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{dY}{Y - Y^*} \\ &= \int_{X_2}^{X_1} \frac{\frac{L}{G} dX}{\frac{L}{G} X + Y_2 - mX} \end{aligned}$$



Courbe d'équilibre pour le système $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$

figure 6

$$= \frac{L/G}{\frac{L}{G} - m} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dX}{X + \frac{Y_2}{\frac{L}{G} - m}}$$

$$= \frac{L/G}{\frac{L}{G} - m} \left[\ln \left(X + \frac{Y_2}{\frac{L}{G} - m} \right) \right]_{x_2}^{x_1}$$

$$= \frac{L/G}{\frac{L}{G} - m} \left[\ln \left(X_1 + \frac{Y_2}{\frac{L}{G} - m} \right) - \left(\ln \left(X_2 + \frac{Y_2}{\frac{L}{G} - m} \right) \right) \right]$$

Pour calculer NU_{Tog} , on doit déterminer

1 - a - le débit molaire du liquide L

$$L = \frac{L_v S_e}{M_e} = \frac{0,4 \times 998,23}{18} = 22,183 \text{ kmole/h}$$

Donc $L = 22,183 \text{ kmole/h}$

2 - a - le débit molaire du gaz G.

$$1 \text{ kmole/h de gaz} \longrightarrow 22,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$G \longrightarrow 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{d'où } G = \frac{5 \times 1}{22,4} = 0,223 \text{ kmole/h}$$

Donc $G = 0,223 \text{ kmole/h}$

3 - a - les rapports molaires du soluté

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0,100}{1 - 0,100} = 0,1111$$

$Y_1 = 0,1111$

$$Y_2 = \frac{0,001}{1-0,001} = 0,001$$

$$\underline{Y_2 = 0,001}$$

4-a- la quantité du soluté absorbé Q_{ab} .

$$Q_{ab} = \frac{G_v}{22,4} Y_1 E_f$$

Or l'efficacité de la colonne E_f est donnée par :

$$E_f = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 - Y_2^*} \quad \text{avec } Y_2^* = m X_2 = 0 \text{ (Solvant pur)}$$

$$\text{Donc } E_f = \frac{0,111 - 0,001}{0,111} = 0,991$$

Et, la quantité absorbé est:

$$Q_{ab} = \frac{5}{22,4} \times 0,111 \times 0,991$$

$$\underline{Q_{ab} = 2,455 \cdot 10^{-2} \text{ kmole/h}}$$

5-a- le rapport molaire du soluté dans la phase gazeuse à la sortie de la colonne

$$X_1 = \frac{Q_{ab}}{Q_{ab} + L}$$

A.N

$$X_1 = \frac{2,455 \cdot 10^{-2}}{2,455 \cdot 10^{-2} + 22,183} = 1,105 \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{X_1 = 1,105 \cdot 10^{-3}}$$

D'où le nombre d'unités de transfert global.

$$\underline{NUT_{og} = 4,737.}$$

b. Calcul de la hauteur d'unités de transfert individuel en phase gazeuse

Appliquant la relation de PRATT (46)

$$HUT_g = \frac{1}{c} \frac{\varepsilon}{a} \left(\frac{d_e G'}{\mu_g \varepsilon} \right)^{0,25} \left(\frac{\mu_g}{\rho_g \cdot D_g} \right)^{0,67}$$

avec $C = 0,105$ pour les anneaux raschig en vrac.

$$\varepsilon = 0,689$$

$$a = 359,231 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$d_e = \frac{4\varepsilon}{a}$, diamètre équivalent du garnissage

$$d_e = \frac{4 \times 0,689}{359,231} = 7,672 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\underline{d_e = 7,672 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\text{d'où } HUT_g = \frac{1}{0,105} \times \frac{0,689}{359,231} \left(\frac{7,672 \cdot 10^{-3} \times 0,178}{1,8 \cdot 10^{-5} \times 0,689} \right)^{0,25} \left(\frac{1,8 \cdot 10^{-5}}{1,202 \times 2,27 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,67}$$

On obtient $\underline{HUT_g = 4,478 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$.

c. Calcul de la hauteur d'unités de transfert individuel en phase liquide

Appliquant la relation de SHERWOOD et HOLLOWAY (47)

$$HUT_l = A \left(\frac{L'}{\mu_l} \right)^{0,25} \left(\frac{\mu_l}{\rho_l \cdot D_l} \right)^{0,5}$$

avec $A = 0,08$ pour les anneaux raschig de dimension égale à $0,013 \text{ m}$.

Calcul du débit massique spécifique du liquide L'

$$L' = \frac{L_v \cdot S_e}{3600 \times A_c}$$

A.N
$$L' = \frac{0,4 \times 998,23}{3600 \times 9,379 \cdot 10^{-3}} = 11,826$$

$$\underline{L' = 11,826 \text{ kg/m}^2 \cdot \Delta}$$

d'où
$$HUT_e = 0,08 \left(\frac{11,826}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} \left(\frac{1,005 \cdot 10^{-3}}{998,23 \times 1,76 \cdot 10^{-9}} \right)^{0,5}$$

On trouve $\underline{HUT_e = 19,928 \text{ m}}$

L'équation de la hauteur d'unités de transfert global en phase gazeuse

HUT_{og} est donnée par :

$$HUT_{og} = HUT_g + m \frac{G}{L} HUT_e$$

avec $m = 0,75$

A.N
$$HUT_{og} = 4,478 \cdot 10^{-2} + 0,75 \frac{0,223}{22,183} \times 19,928$$

on trouve $\underline{HUT_{og} = 0,195 \text{ m}}$

D'où la hauteur de la colonne garnie

$$H = HUT_{og} \cdot NUT_{og}$$

A.N

$$H = 0,195 \times 04,737 \\ = 0,924 \text{ m}$$

La hauteur garnie. $\underline{H = 0,924 \text{ m}}$

4 - Calcul du nombre d'éléments de garnissage nécessaire à la colonne.

On a le nombre d'éléments de garnissage pour un volume de 1 m^3

Pour la colonne, on aura besoin de N_g éléments.

$$N \text{ ————— } 1\text{ m}^3$$

$$N_g \text{ ————— } V = H \cdot A_c$$

Alors $N_g = N \cdot H \cdot A_c$

A.N $N_g = 3,473 \cdot 10^5 \times 0,924 \times 9,379 \cdot 10^{-3}$

d'où $N_g = 3009,770$

Donc, nous prenons 3010 anneaux.

5 - Débit molaire de liquide minimum.

En faisant un bilan sur l'inerte sur toute la colonne, on aura.

$$L'X_2 + G'Y_1 = L'X_1 + G'Y_2$$

$$\frac{L'}{G'} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1} \quad \text{avec } X_1 = \frac{Y_1^*}{m}$$

d'où, le débit de liquide minimum :

$$L'_{\min} = G' \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1^*/m}$$

A.N $L'_{\min} = 0,223 \times \frac{0,111 - 0,001}{\frac{0,111}{0,75}} = 0,166 \text{ kmole/h}$

6 - Calcul du taux de mouillage M

Le taux de mouillage est donné par la relation (18)

$$M = \frac{L_v}{A_c} \frac{1}{\frac{A_g}{V_g} (1 - \epsilon)}$$

A.N
$$M = \frac{0,4}{9,379 \cdot 10^{-3}} \frac{1}{\frac{1,037 \cdot 10^{-3}}{8,985 \cdot 10^{-7}} (1 - 0,689)}$$

d'où
$$\underline{M = 0,119 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}}$$

7 - Calcul de la rétention opératoire du liquide h_o

L'équation de la rétention opératoire est donnée par les auteurs OTAKE et OKADA [4]

$$h_o = 1,295 a d Re_e^{0,676} G_{ae}^{-0,44} \quad (21)$$

avec, $Re_e = \frac{dL'}{\mu_e}$, nombre de REYNOLDS

et $G_{ae} = \frac{g d^3 \rho_e^2}{\mu_e^2}$, nombre de GALILEE

A.N
$$Re_e = \frac{0,013 \times 11,826}{1,005 \cdot 10^{-3}} = 152,973$$

$$\underline{Re_e = 152,973}$$

$$G_{ae} = \frac{9,81 \times (0,013)^3 (998,23)^2}{(1,005 \cdot 10^{-3})^2} = 2,126 \cdot 10^7$$

$$\underline{G_{ae} = 2,126 \cdot 10^7}$$

Et
$$h_o = 1,295 (359,231) (0,013) (152,973)^{0,676} (2,126 \cdot 10^7)^{-0,44}$$

d'où
$$\underline{h_o = 0,108 \text{ m}^3/\text{m}^3}$$

8. Calcul de la perte de charge dans la colonne ΔH .

ZABORONKOV^[15] a établi une formule simplifiée du coefficient de perte de charge d'un garnissage mouillé, avant que commence l'accumulation du liquide.

$$\xi = \frac{\Delta H}{\frac{\rho_g U^2}{2g}} = \xi_{\text{sec}} (1 + 0,06 A_s) + \Delta T \quad (b)$$

Avec $\xi_{\text{sec}} = \lambda \frac{H}{d_H} \frac{1}{\epsilon^2}$

et $\Delta T = \frac{T_{\text{sort}} - T_{\text{ent}}}{273,15 + T_{\text{moy}}}$

Où ξ_{sec} = Coefficient de perte de charge d'un garnissage sec

H = hauteur de la colonne garnie, en m

d_H = diamètre hydraulique du garnissage, en m.

A_s = débit volumique spécifique du liquide, en $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

U = vitesse d'écoulement du gaz, en m/s

T = température, en K.

La formule (b) est valable pour :

- Une vitesse de gaz $U \leq U_{\text{eng}}$

- débit $A_s \approx 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ environ

- Pour un diamètre hydraulique $5 < d_H < 30 \text{ à } 35 \text{ mm}$.

a. Calcul de la vitesse du gaz U .

$$U = \frac{G'}{\rho_g} = \frac{0,178}{1,202} = 0,148 \text{ m/s}$$

La vitesse du gaz à l'engorgement est:

$$U_{eng} = \frac{G_e}{S_g} = \frac{0,274}{1,202} = 0,228 \text{ m/s}$$

Donc $U < U_{eng}$

b - Calcul du débit volumique spécifique du liquide

$$A_s = \frac{L_v}{A_c} = \frac{0,4}{9,379 \cdot 10^{-3}} = 42,648 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

c - Calcul du diamètre hydraulique

Le diamètre hydraulique est donné par la formule suivante:

$$d_H = 4 \frac{\varepsilon^{2/3}}{a}$$

A.N
$$d_H = \frac{4 \times (0,689)^{2/3}}{359,231} = 8,686 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Puisque $U < U_{eng}$, $A_s \approx 50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ et d_H est compris dans l'intervalle exigé, nous pouvons alors appliquer la formule de ZABORONKOV. Pour cela on commence par calculer

1/ le coefficient de perte de charge du garnissage sec.

$$\xi_{sec} = \lambda \frac{H}{d_H} \frac{1}{\varepsilon^2}$$

avec $\lambda = \frac{180}{Re}$ pour $Re = \frac{U d_H}{\nu_g} \frac{1}{\varepsilon} < 3$

et $\lambda = \frac{164}{Re} + \frac{7,68}{Re^{0,11}}$ pour $3 < Re < 1000$

- Calcul du nombre de REYNOLDS

$$Re = \frac{0,148 \times 8,686 \cdot 10^{-3}}{\frac{1,8 \cdot 10^{-5}}{1,202}} \times \frac{1}{0,689} = 124,593$$

$$\underline{Re = 124,593}$$

$$\text{d'où } \lambda = \frac{164}{124,593} + \frac{7,68}{(124,593)^{0,11}} = 5,833$$

on trouve $\lambda = 5,833$

Et, le coefficient de perte de charge du garnissage sec est:

$$\xi_{\text{sec}} = 5,833 \times \frac{0,924}{8,686 \cdot 10^{-3}} \frac{1}{(0,689)^2} = 1307,091$$

$$\xi_{\text{sec}} = \underline{1307,091}$$

2/ Calcul du coefficient de perte de charge du garnissage mouillé

$$\xi = 1307,091 (1 + 0,06 \times 2,648)$$

$$\text{d'où, } \xi = \underline{4651,780}$$

$$\text{Alors } \Delta H = \frac{\xi \rho u^2}{2g}$$

$$\text{A.N } \Delta H = \frac{4651,780 \times 1,202 \times (0,148)^2}{2 \times 9,81}$$

$$\text{On obtient } \underline{\Delta H = 6,242 \text{ kg/m}^2}$$

La Perte de charge en mmHg devient : $\Delta H = 0,474 \text{ mmHg}$.

choix du diamètre économique des conduites [4]

Un problème très classique que l'on trouve dans de nombreux manuels de mécanique des fluides est celui du choix du diamètre économique d'une conduite.

Pour ce fait, nous avons été contraints de concilier entre les dimensions standards disponibles et les vitesses économiques du gaz et du liquide.

Pour cela, il est recommandé de prendre :

- Pour les liquides peu visqueux ($\eta \leq 10 \text{ mPas}$) , $U_m = 1,25 \text{ à } 2,50 \text{ m.s}^{-1}$
- Pour les gaz $U_m = 10 \text{ à } 30 \text{ m.s}^{-1}$

Le calcul du diamètre économique pour le liquide et le gaz s'est fait à la base de ces recommandations données dans la littérature.

Pour le liquide, et pour une vitesse choisie $U_m = 1,75 \text{ m/s}$, on trouve un diamètre $d = 9 \text{ mm}$.

Pour le gaz, la vitesse choisie est de 10 m/s , et le diamètre est de 14 mm .


```

C ! U1 :Viscosite cinematique du liquide _____ [m2/s]!
C ! Uw :Viscosite cinematique de l'eau a 200c _____ [m2/s]!
C ! Vcg :Viscosite cinematique du gaz _____ [m2/s]!
C ! Vg :Volume d'un element de garnissage _____ [m3]!
C ! Vig :Viscosite dynamique du gaz _____ [kg/m.s]!
C ! Vil :Viscosite dynamique du liquide _____ [kg/m.s]!
C ! X :Parametre de capacite _____
C ! x1 :Fract. mol. du solute en ph. liq. a la sort. de la col. !
C ! x2 :Fract. mol. du solute en ph. liq. a l'entree de la col. !
C ! X1 :Rapp. mol. du solute en ph. liq. a la sort. de la col. !
C ! X2 :Rapp. mol. du solute en ph. liq. a l'entree de la col. !
C ! Y :Parametre d'ecoulement _____
C ! y1 :Fract. mol. du solute en ph. gaz. a l'entree de la col. !
C ! y2 :Fract. mol. du solute en ph. gaz. a la sort. de la col. !
C ! Y1 :Rapp. mol. du solute en ph. gaz. a l'entree de la col. !
C ! Y2 :Rapp. mol. du solute en ph. gaz. a la sortie de la col. !

```

```

C ++++++
C REAL Lmol,dmin,Lm,Lv,p,m,J,Ml,Mm,Mvg,Mvgo,Mvl,N,NUTog,k
C ++++++

```

```

C OPEN(unit=5,FILE='RES.DAT',STATUS='NEW')
C -----

```

```

C *****
C * DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GARNISSAGE *
C *****

```

```

C 1/ Calcul de la surface specifique du garnissage "a":
C -----

```

```

C PRINT*,'Donnez la dimension nominale du garnissage d'
C ACCEPT*,d
C a=4.67/d
C PRINT*,'la surface specifique du garnissage a=',a

```

```

C 2/ Calcul du nbre d'elements de garnissage par unite de vol. "N":
C -----

```

```

C N=0.763/(d**3)
C PRINT*,'le nbre d elements de garnissage par unite de vol. N=',N

```

```

C 3/ Calcul de la surface d'un element de garnissage "Ag":
C -----

```

```

C PRINT*,'Donnez l epaisseur du garnissage e'
C ACCEPT*,e
C Ag=2*((3.1416*d**2/4)-(3.1416*(d-2*e)**2/4))+3.1416*d**2+3.1416*d
C 1*(d-2*e)
C PRINT*,'la surface d un element de garnissage Ag=',Ag

```

```

C 4/ Calcul du volume d'un element de garnissage "Vg":
C -----

```

```

C Vg=((3.1416*d**2/4)-(3.1416*(d-2*e)**2/4))*d
C PRINT*,'le volume d un element de garnissage Vg=',Vg

```

```

C 5/ Calcul de la fraction de vide volumique "E":
C -----

```

```

C E=1-(a/(Ag/Vg))
C PRINT*,'la fraction de vide volumique E=',E

```

```

C 6/ Calcul du facteur de garnissage "F":
C -----

```

```

C F=a/E**3
C PRINT*,'le facteur de garnissage F=',F

```

```

C *****
C * CALCUL DU DIAMETRE DE LA COLONNE "Dc"
C *****

```

C 1) Calcul de la masse vol. du gaz a la temp. de travail "Mvg":

C PRINT*, 'Donnez la masse volumique du gaz a la temp. normale Mvgo'
ACCEPT*, Mvgo
C PRINT*, 'Donnez la temperature de travail T'
ACCEPT*, T
Mvg=(Mvgo*273.15)/(T+273.15)
C PRINT*, 'la masse volumique du gaz a la temp. de travail Mvg=', Mvg

C 2) Calcul du parametre de capacite "X" par la rel. de LOBO ():

C PRINT*, 'Donnez le debit volumique du gaz Gv'
ACCEPT*, Gv
C PRINT*, 'Donnez le debit volumique du liquide Lv'
ACCEPT*, Lv
C PRINT*, 'Donnez la masse volumique du liquide Mvl'
ACCEPT*, Mvl
X=((Lv*Mvl)/(Gv*Mvg))*SQRT(Mvg/Mvl)
C PRINT*, 'Le parametre de capacite X=', X
IF(X.LE.10)GOTO20
C PRINT*, 'Donnez d autres valeurs de Lv et Gv'
PRINT*, 'Donnez la valeur de Lv'
PRINT*, 'Donnez la valeur de Gv'

C 3) Calcul du parametre d'ecoul. "Y" par la rel. de SAWISTOWSKI:

C 20 Y=0.684*EXP(-3.61*X**0.286)
C PRINT*, 'Le parametre d ecoulement Y=', Y

C 4) Calcul de la viscosite cinematique du liquide "U1":

C PRINT*, 'Donnez la viscosite dynamique du liquide Vil'
ACCEPT*, Vil
C U1=Vil/Mvl
C PRINT*, 'la viscosite cinematique du liquide U1=', U1

C 5) Calcul du debit massique specifique du gaz a l'eng. "Gme":

C PRINT*, 'Donnez la viscosite cinematique de l eau a 200c Uw'
ACCEPT*, Uw
C PRINT*, 'Donnez l acceleration de la pesanteur g'
ACCEPT*, g
Gme=(g*Y*Mvg*Mvl/F*(U1/Uw)**0.2)**0.5
C PRINT*, 'Le debit massique specifique du gaz a l eng. Gme=', Gme

C 6) Calcul du debit massique specifique "Gm":

C PRINT*, 'Donnez le facteur de securite k'
ACCEPT*, k
C Gm=k*Gme
C PRINT*, 'Le debit massique specifique Gm=', Gm

C 7) Calcul de la section droite de la colonne "Ac":

C Ac=(Gv*Mvg)/(3600*Gm)
C PRINT*, 'La section droite de la colonne Ac=', Ac

C le diametre de la colonne Dc est:

C Dc=((4*Ac)/3.1416)**0.5
C PRINT*, 'Le diametre de la colonne Dc=', Dc

C *****
C * CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA COLONNE GARNIE "H"
C *****

1/ Calcul du nombre d'unités de transfert global en phase gazeuse
"NUTog":
=====

1_1/ Calcul du débit molaire du liquide "Lmol":

PRINT*, 'Donnez la masse molaire du liquide M1'
ACCEPT*, M1
 $Lmol = Lv * Mvl / M1$
PRINT*, 'Le débit molaire du liquide Lmol=', Lmol

1_2/ Calcul du débit molaire du gaz "Gmol":

$Gmol = Gv / 22.4$
PRINT*, 'Le débit molaire du gaz Gmol=', Gmol

1_3/ Calcul des rapports molaires du soluté:

PRINT*, 'Donnez la fraction molaire du soluté en phase gazeuse a 1
1 entrée de la colonne y1'

ACCEPT*, y1
 $Y1 = y1 / (1 - y1)$

PRINT*, 'Le rapport molaire du soluté en phase gazeuse a 1 entrée
1 de la colonne Y1=', Y1

PRINT*, 'Donnez la fraction molaire du soluté en phase gazeuse a 1
la sortie de la colonne y2'

ACCEPT*, y2
 $Y2 = y2 / (1 - y2)$

PRINT*, 'Le rapport molaire du soluté en phase gazeuse a la sortie
1 de la colonne Y2=', Y2

PRINT*, 'Donnez la fraction molaire du soluté en phase liquide a 1
1 entrée de la colonne x2'

ACCEPT*, x2
 $X2 = x2 / (1 - x2)$

PRINT*, 'Le rapport molaire du soluté en phase liquide a 1 entrée
1 de la colonne X2=', X2

1_4/ Calcul de l'efficacité de la colonne "Ef":

PRINT*, 'Donnez la valeur de la pente de la droite d'équilibre m'

ACCEPT*, m
 $Ef = (Y1 - Y2) / (Y1 - m * X2)$

PRINT*, 'l'efficacité de la colonne Ef=', Ef

1_5/ Calcul de la quantité du soluté absorbée "Qab":

$Qab = Gmol * Y1 * Ef$

PRINT*, 'la quantité du soluté absorbée Qab=', Qab

1_6/ Calcul du rapport molaire du soluté en phase liquide a la
sortie de la colonne "X1":

$X1 = Qab / (Qab + Lmol)$

PRINT*, 'le rapport molaire du soluté en phase liquide a la sortie
1 de la colonne X1=', X1

Le nombre d'unité de transfert global en phase gazeuse "NUTog":
=====

$NUTog = (1 / (1 - (Gmol / Lmol))) * LOG((1 - (m * Gmol / Lmol)) * ((y1 - m * x2) / (y2 - m * x2))) + m * Gmol / Lmol$

PRINT*, 'le nombre d'unité de transfert global en phase gazeuse
1NUTog=', NUTog

2/ Calcul de la hauteur d'unités de transfert global en phase
gazeuse "HUTog":

2_1/ Calcul de la hauteur d'unité de transfert individuel en phase gazeuse "HUTg" par la relation de PRATT

_ Calcul du diamètre équivalent du garnissage "de":

$$de = 4 * E / a$$

PRINT*, 'Le diamètre équivalent du garnissage de=', de

PRINT*, 'Donnez la viscosité du gaz Vig'

ACCEPT*, Vig

PRINT*, 'Donnez le coefficient de diffusion du gaz Dg'

ACCEPT*, Dg

PRINT*, 'Donnez la constante c'

ACCEPT*, c

$$HUTg = (E / (c * a)) * (((de * Gm) / (Vig * E)) ** 0.25) * ((Vig / (Mvg * Dg)) ** 0.67)$$

PRINT*, 'La hauteur d'unité de transfert individuel en phase gazeuse HUTg=', HUTg

2_2/ Calcul de la hauteur d'unité de transfert individuel en phase liquide "HUTl":

_ Calcul du débit massique spécifique du liquide "Lm":

$$Lm = (Lv * Mvl) / (3600 * Ac)$$

PRINT*, 'Le débit massique spécifique du liquide Lm=', Lm

PRINT*, 'Donnez le coefficient de diffusion du liquide Dl'

ACCEPT*, Dl

PRINT*, 'Donnez la constante b'

ACCEPT*, b

$$HUTl = b * (Lm / Vil) ** 0.25 * (Vil / (Mvl * Dl)) ** 0.5$$

PRINT*, 'La hauteur d'unité de transfert individuel en phase liquide HUTl=', HUTl

La hauteur d'unité de transfert global en phase gazeuse "HUTog":
=====

$$HUTog = HUTg + (m * Gmol / Lmol) * HUTl$$

PRINT*, 'la hauteur d'unité de transfert global en phase gazeuse HUTog=', HUTog

LA HAUTEUR DE LA COLONNE GARNIE "H":
=====

$$H = NUTog * HUTog$$

PRINT*, 'la hauteur de la colonne garnie H=', H

* Calcul du nombre d'éléments de garnissage nécessaire à la *
* colonne "Ng" *

$$Ng = H * Ac * N$$

PRINT*, 'le nombre d'élément de garnissage Ng=', Ng

* Calcul du débit molaire de liquide minimum "dmin" *

$$dmin = Gmol * ((Y1 - Y2) / (Y1 / m))$$

PRINT*, 'Le débit molaire de liquide minimum dmin=', dmin

* Calcul du taux de mouillage "Tm" *

$$Tm = Lv / (Ac * a)$$

PRINT*, 'Le débit minimum de mouillage Tm=', Tm

```
*          Calcul de la retention operatoire du liquide "ho"          *
*****
```

```
1_ Calcul du nombre de REYNOLDS "Re":
```

```
-----
Re=d*Lm/Vil
PRINT*, 'Le nombre de REYNOLDS Re=', Re
```

```
2_ Calcul du nombre de GALILLE "Ga":
```

```
-----
Ga=g*(d**3)*(Mvl**2)/(Vil**2)
PRINT*, 'Le nombre de GALILLE Ga=', Ga
```

```
ho=1.295*a*d*(Re**0.676)*(Ga**(-0.44))
PRINT*, 'La retention du liquide ho=', ho
```

```
*****
*          Calcul de la perte de charge "DH"          *
*****
```

```
1_ Calcul de "Dt":
```

```
-----
PRINT*, 'Donnez la temperature a l entree de la colonne te'
ACCEPT*, te
PRINT*, 'Donnez la temperature a la sortie de la colonne ts'
ACCEPT*, ts
Dt=2*(ts-te)/(273.15+((ts+te)/2))
PRINT*, 'Dt=', Dt
```

```
2_ Calcul du diametre hydraulique "Dhy":
```

```
-----
Dhy=4*(E**0.666)/a
PRINT*, 'Le diametre hydraulique Dhy=', Dhy
```

```
3_ Calcul du nombre de REYNOLDS "Re":
```

```
-----
Ug=Gm/Mvg
Vcg=Vig/Mvg
Re=Ug*(Dhy/Vcg)*(1/E)
IF(Re.GT.3.AND.Re.LT.1000)GOTO1140
IF(Re.LT.3)GOTO 1190
```

```
1190 J=180/Re
GOTO 2000
```

```
1140 J=(164/Re)+(7.68/(Re**0.11))
```

```
2000 PRINT*, 'Le coeff. de perte de charge dependant du REYNOLDS J=', J
```

```
4_ Calcul du coeff. de perte de charge du garnissage sec "qsec":
```

```
-----
qsec=J*(H/Dhy)*(1/(E**2))
PRINT*, 'Le coeff. de perte de charge du garn. sec qsec=', qsec
```

```
5_ Calcul du coeff. de perte de charge du garnissage mouille "q":
```

```
-----
As=Lv/Ac
q=qsec*(1+0.06*As)+Dt
PRINT*, 'Le coeff. de perte de charge du garn. mouille q=', q
```

```
DH=(q*Mvg*(Ug**2))/(2*g)
PRINT*, 'La perte de charge DH=', DH
```

```
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$          FIN DU PROGRAMME          $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
```


 # RESULTATS OBTENUS #
 #####

Les caracteristiques physiques du garnissage:
 =====

Surface specifique du garnissage _____ a= 359.231 m²/m³
 Nbre d elements de garnissage _____ N= 0.347E+06 m⁻³
 Surface d un element de garnissage _____ Ag= 0.104E-02 m²
 Volume d un element de garnissage _____ Vg= 0.898E-06 m³
 Fraction de vide volumique _____ E= 0.689
 Facteur de garnissage _____ F=1099.882 m²/m³
 Diametre equivalent du garnissage _____ de= 0.767E-02 m

=====

Masse volumique du gaz a 200°C _____ Mvg= 1.202 kg/m³
 Viscosite cinematique du liquide a 200°C _____ Ul= 0.101E-05 m²/s
 Parametre de capacite _____ X= 2.305
 Parametre d ecoulement _____ Y= 0.699E-02
 Debit de gaz a l engorgement _____ Gme= 0.273 kg/m²s
 Debit de gaz _____ Gm= 0.178 kg/m²s
 Section droite de la colonne garnie _____ Ac= 0.939E-02 m²

DIAMETRE DE LA COLONNE _____ Dc= 0.109 m

=====

Debit molaire du gaz _____ Gmol= 0.223 kmole/h
 Debit molaire du liquide _____ Lmol= 22.183 kmole/h
 Debit massique specifique du liquide _____ Lm= 11.807 kg/m²s
 Rapports molaires du solute en phase gazeuse:
 ___ A l entree de la colonne _____ Y1= 0.111
 ___ A la sortie de la colonne _____ Y2= 0.001
 Rapport molaires du solute en phase liquide :
 ___ A l entree de la colonne ----- X2= 0.000
 ___ A la sortie de la colonne _____ X1= 0.111E-02
 Efficacite de la colonne _____ Ef= 0.991
 Quantite de solute absorbee _____ Qab= 0.025 kmole/h
 Nombre d unites de transfert global _____ NUTog= 4.750
 Hauteur d unites de transfert ind. _____ HUTg= 0.045 m
 Hauteur d unites de transfert ind. _____ HUTl= 19.920 m
 Hauteur d unites de transfert global _____ HUTog= 0.195 m

HAUTEUR DE LA COLONNE GARNIE _____ H= 0.927 m

=====

Nbre d elements de garnissage dans la col. _____ Ng=3022
 Debit molaire de liquide minimum _____ Dmin= 0.166 kmole/h
 Taux de mouillage _____ Tm= 0.119 m³/mh
 Retention operatoire du liquide _____ ho= 0.108 m³/m³
 Perte de charge de la colonne garnie _____ DH= 6.248 kg/m²

PARTIE

CONCEPTION

- PARTIE CONCEPTION -

III - 1 - 7 INTRODUCTION :

Nous nous proposons de concevoir une colonne d'absorption à garnissage pour un système NH_3 - Air - Eau pour une éventuelle réalisation.

La conception de ce type d'appareil semi - pilote revêt un intérêt particulier exploitable lors des séances de travaux pratiques.

Notre souci majeur est d'arriver à concevoir une colonne d'absorption fonctionnant aux conditions optimales.

L'un des paramètres qui guident notre calcul est la disponibilité des dimensions standards de quelques pièces de l'appareillage, par conséquent nous nous trouvons contraints de concilier entre les dimensions standards existantes et le calcul.

III - 2 - CHOIX DU SYSTEME :

Nous avons choisi le système NH_3 - Air - Eau à cause de la bonne solubilité de l'ammoniac dans l'eau (la solubilité du gaz est élevée permettant ainsi un bon degré d'absorption, de l'absence de réaction chimique et, de dégagement de chaleur, de sa disponibilité, de son coût modeste.

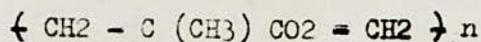
L'eau est utilisée comme solvant, elle est chimiquement inerte vis à vis du matériau choisi (appareillage en plexiglas).

III - 3 - CHOIX DU MATERIAU UTILISE :

Le choix du materiau repose principalement sur son comportement en présence du gaz et du liquide dans les conditions opératoires.

Pour ce fait, nous avons pensé à utiliser le métal, le verre et enfin le plexiglas.

Mais après, consultations d'ouvrages, de références et d'essais au laboratoire entre autre l'effet d'une solution ammoniacale sur le plexiglas, nous avons opté pour le plexiglas, qui n'est autre que le polyméthacrylate de méthyle de formule chimique.



Ce dernier est une matière plastique, employé comme verre de sécurité.

Le choix du plexiglas s'est finalement fait en vertu des critères suivants :

- Sa légèreté (le plexiglas confère une souplesse assez bonne à l'installation) .
- Sa facilité de montage et démontage (moins de risque de casse que le verre) .
- Sa transparence (facilité de visualiser les phénomènes).
- Sa disponibilité.

En vertu de ces critères, nous avons conçu la colonne, le garnissage, le support de garnissage, le distributeur, les brides, les rotamètres en plexiglas.

III - 4 - PRINCIPAUX ORGANES DE L'INSTALLATION

III - 4 - 1 : - La Source d'Air

La source d'air est un compresseur, se trouvant au niveau du halle de notre departement.

Caractéristiques du compresseur :

Type	1004 T
Vitesse (Tr/Mn)	1100
Pression de travail (Kg/Cm ²)	12

Mode d'emploi

Grâce à 2 detendeurs disposés en série, nous arrivons à avoir un débit de 1 à 20 m³/h .

Nous utilisons rotamètre pour mesurer le debit d'air entrant dans la colonne

III - 4 - 2 : - Source du gaz soluble

Nous disposons d'une bouteille d'ammoniac et nous alimentons la colonne en contrôlant le débit par l'intermediaire d'un rotamètre.

III - 4 - 3 : - La Pompe

Nous avons opté pour une pompe centrifuge en verre " EIVS " de type " P4.12 " .

Caractéristiques de la pompe :

Vitesse (Tr/Mn)	1400
Puissance (CV)	0,5
Poids (Kg)	25
Tension (V)	220,380
Fréquence (Hz)	50

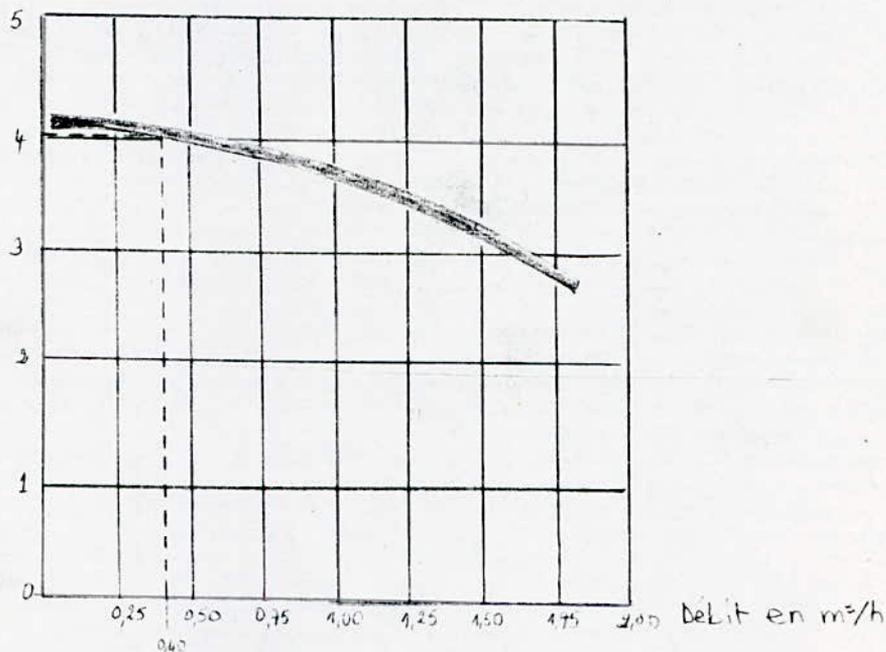
Du diagramme de la figure ci-dessous, on tire la hauteur de dénivellation et cela en projetant la valeur du débit volumique sur la courbe.

Comme, le débit volumique choisi du liquide est de :

$$Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

d'où, la hauteur de dénivellation $h = 4,06 \text{ m}$.

hauteur
en m



L'écoulement liquide est réglé grâce à un rotamètre.

III - 4 - 4 : - La Robinetterie :

Les robinets à " passage intégral" DIVS présentent de nombreux avantages :

- Passage intégral (le diamètre du siège est égal au diamètre de la conduite correspondante)
- Perte de charge très faible.
- Résistance à la corrosion
- Peu ou pas de rétention

Nous avons ^à utiliser deux sortes de robinets :

- Robinet passage direct
- Robinet passage d'équerre

III - 4 - 5 : - GARNISSAGE ET SUPPORT DE GARNISSAGE

- Le Garnissage

Le premier pas dans la conception d'une colonne d'absorption est le choix du garnissage.

Il existe une grande variété de corps de remplissage:

Parmi les différents types cités dans la théorie, nous avons retenu les anneaux raschig en plexilas du fait que ces derniers ont servi dans maintes recherches à l'étude des colonnes garnies et à cause de leur usinage aisé.

Parmi la variété de dimensions disponibles, celle choisie était la plus petite.

- Le Support de garnissage

La fonction d'un plateau de support est d'éviter aux anneaux de chuter à l'intérieur de la colonne et de maintenir aussi la colonne garnie en place. Pour cela, nous avons conçu notre support sous forme de plaque perforée (en vertu des critères relatés au niveau de la partie théorique), qu'est un modèle simple à usiner.

Ce support présente en plus des 70% de surface de vide pour faciliter le passage des gaz ascendants et du liquide descendant, une épaisseur suffisante pour supporter tout le poids du garnissage.

II - 4 - 6 : - DISTRIBUTEUR EN TÊTE DE COLONNE

Au sommet de la colonne, nous avons un distributeur qui nous assure l'arrosage du garnissage.

Ce dernier se trouve sous diverses formes et cela suivant la taille de la colonne. Son utilisation se fait donc suivant certains critères relatés dans la partie théorique.

Comme notre colonne n'est pas de taille suffisamment grande, par conséquent, nous avons pensé à utiliser simplement un tube central par lequel passe le liquide et est directement projeté sur le garniss .

Seulement, nous avons ajouté à cela des raccords sous forme de manchons filetés (petits tubes filetés), qui feront l'objet d'expériences pour d'éventuelles séances de travaux pratiques, c'est à dire pour voir l'effet de la hauteur de jet du liquide sur la mouillabilité du garnissage.

III - 4 - 7 : - BAC DE STOCKAGE

La capacité de la colonne d'absorption est d'environ 1, nous avons décidé de concevoir un bac en plexiglas de contenance 1,5 fois la capacité de la colonne, afin d'éviter à la pompe de fonctionner à vide et d'imposer à un volume mort un long temps de séjour.

Le bac choisi à une contenance de 1.

III - 5 : - PREPARATION POUR LES ESSAIS EXPERIMENTAUX

III - 5 - 1 : - Prises d'échantillons du liquide

Il s'agit de concevoir une installation réservée exclusivement aux expériences. Elle doit alors comporter les dispositifs de prélèvements de liquide dans la mesure où ceci ne perturbe pas l'évolution du procédé.

Pour cela, nous avons prévu quatre (04) points de prélèvements.

- Le premier point en tête de colonne (i.e à l'entrée du premier tronçon garni)
- Le deuxième point à la sortie du premier tronçon garni.
- Le troisième point à l'entrée du second tronçon garni
- Le quatrième point à la sortie du second tronçon garni

Les prélèvements aux points (2) et (3) se font surtout pour voir l'effet de l'absorption sur film tombant dans la partie de colonne non garnie.

III - 5 - 2 : - PRISES D'ECHANTILLONS DE GAZ A LA SORTIE

Nous avons pensé à faire ces prises d'échantillons, en ayant recours à l'appareil dit "d'ORSAT" .

Appareil d'ORSAT

Cet appareil nous permet de déterminer la quantité de NH_3 contenue dans le mélange gazeux sortant de la colonne.

L'orifice (8) est relié au sommet de la colonne à travers une colonne, remplie de sillicagel (cristaux absorbant l'humidité de l'air), après avoir vidanger le cylindre gradué, nous faisons pénétrer dans ce dernier une quantité bien déterminée de mélange (100 ml), puis nous isolons cette quantité.

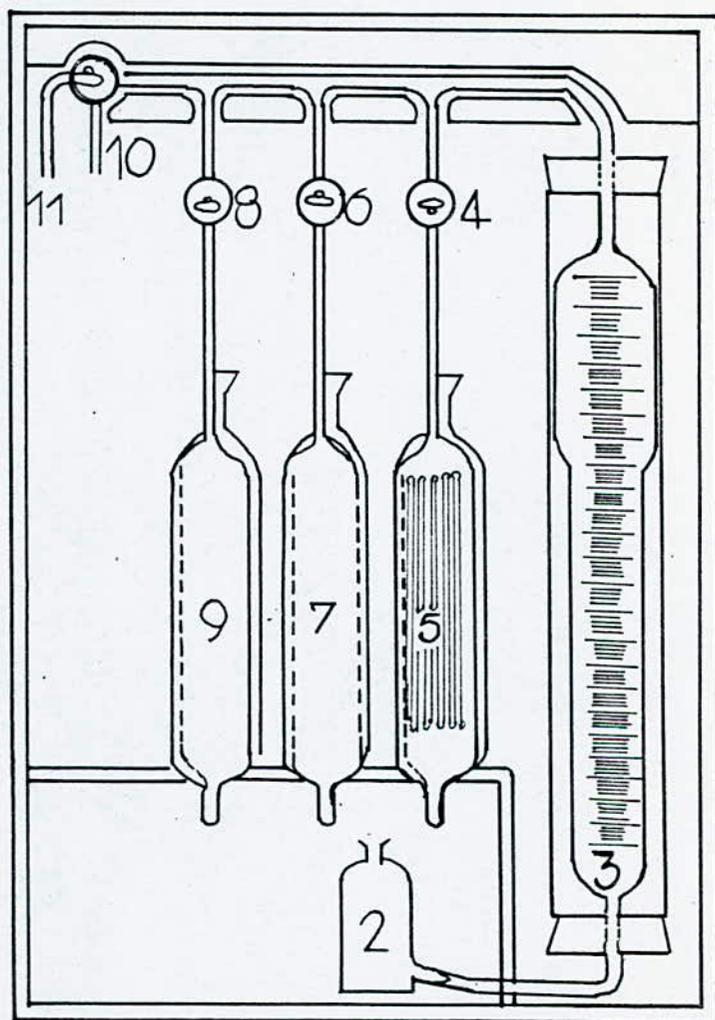
En ouvrant le robinet (6), les 100 ml de mélange sont mis en contact avec une solution d'acide chlorhydrique, dans les colonnes de KOHN, (cette solution possède la propriété d'absorber le gaz ammoniac).

L'absorption de NH_3 entraîne une dépression à l'intérieur du cylindre se traduisant par une élévation du niveau de mercure, élévation qui nous indique la quantité d' NH_3 absorbée.

(Les différentes opérations reposent sur le principe des vases communicants).

VII - 5 - 3 : - MONTAGE ET DEMONTAGE DES PIÈCES

La jonction par brides est le moyen le plus utilisé pour conserver une possibilité de démontage. Les brides écrasent un joint à base de caoutchouc qui assure l'étanchéité.



1

Appareil d'ORSAT

La dimension des brides, des boulons et leur nombre permet de supporter la résultante de pression longitudinale, en plus d'un serrage suffisant du joint.

Comme notre installation servira aux expériences, nous avons pensé à soigner le côté pratique, c'est à dire à concevoir tout l'appareillage de pièces démontables et interchangeables.

IV PARTIE
TECHNIQUE

CONCLUSION

CONCLUSION

Notre souhait était de réaliser au sein de notre département de Génie-Chimique une colonne de garnissage pour des essais d'absorption.

En plus du but didactique, nous désirons répondre à la politique menée actuellement dans le cadre des comités pédagogique nationaux.

Nous avons commencé par concentrer nos efforts sur la conciliation entre les calculs empiriques et les dimensions disponibles.

Nous nous sommes ensuite efforcés de trouver des moyens pratiques de prélèvements des échantillons, de faciliter les moyens de montages et démontages pour multiplier les manipulations didactiques (au niveau de la distribution du liquide, de support de garnissage, de disposition de colonne garnies).

Pour des raisons financières, notre travail ne s'est limité qu'à la conception.

Néanmoins, nous avons, après la partie calcul établi toute une partie conception avec des schémas de détails de réalisation facilitant le travail aux ateliers disposés à entreprendre une telle tâche.

Nous avons enrichi notre travail d'un complément informatique permettant de manipuler tout cet ensemble fastidieux de formules empiriques régissant l'hydrodynamique, des écoulements de fluides dans les garnissages.

Nous exprimons le désir de voir notre travail continuer afin que nos successeurs réalisent ce que nous laissons sous forme de dossier.

NOMENCLATURE

a=	Surface spécifique du garnissage.....	m ² /m ³
A=	Section droite de la colonne.....	m ²
ag=	Surface spécifique d'un élément de garnissage.....	m ² /m ³
Ag=	Surface d'un élément de garnissage	m
b=	Constante adimensionnelle, égale à 0,0043	
C=	Concentration du soluté dans la phase liquide	mole/cm ³
d=	dimension nominale du garnissage	m
Dg=	Coefficient de diffusion du gaz	m ² /s
Dl=	Coefficient de diffusion du liquide	m ² /s
e=	Epaisseur du garnissage	m
Ef=	Efficacité de la conolle	
F=	Facteur de garnissage	m ² /m ³
g=	Accélération de la pesanteur	m/s ²
G=	Débit massique du gaz	kg/h
G _t =	Débit massique spécifique du gaz	kg/m ² s
H=	Hauteur de la colonne garnie	m
ht=	Retention totale du liquide	m ³ /m ³
ho=	Retention opératoire du liquide	m ³ /m ³
hc=	Retention capillaire du liquide	m ³ /m ³
kg=	Coefficient de transfert de matière individuel en phase gazeuse	mole/m ² h/atm
Kg=	Coefficient de transfert de matière globale en phase gazeuse	mole/ m ² .h.atm
kl=	Coefficient de transfert de matière individuel en phase liquide	m/h
Kl=	Coefficient de tranfert de matière global en phase liquide	m/h
L=	Débit massique de liquide	kg/h
L'	Débit massique spécifique du liquide	kg/m ² s
M=	Taux de mouillage	m ³ /m h
MA=	Poids moléculaire du composant A	kg/k mole
MB=	Poids moléculaire du composant B	kg/k mole
MS=	Poids moléculaire du solvant	kg/k mole
N=	nombre d'éléments de garnissage	1/ m ³
NG=	Flux de matière en phase gazeuse	mole /m ² h
N _l =	Flux de matière en phase liquide	mole/ m ² h
P=	Pression totale	atm
P=	Pression partielle du soluté dans le gaz	atm
Q _{ab} =	Quantité de soluté absorbée	k mole /h

S=	Vitesse de renouvellement	
T=	Température absolue	K
U=	Vitesse d'écoulement du gaz	m/s
U _{eng}	= Vitesse d'écoulement du gaz à l'engorgement	m/s
V=	Volume de la colonne garnie	m ³
V _A =	Volume moléculaire du composant A	cm ³ /mole
V _B =	Volume moléculaire du composant B.....	cm ³ /mole
V _g =	Volume d'un élément du garnissage	m ³
V _S =	Volume moléculaire du soluté	cm ³ /mole
ΔP=	Perte de charge dans la colonne	mmhg
θ	= temps de contact.....	S
ν _w	= Viscosité cinématique de l'eau à 20° c.....	m ² /s
α	= Constante	
β	= Constante	
ε	= Fraction de vide volumique	
ν _l	= Viscosité cinématique du liquide	m ² /s
γ	= Facteur de correction densité	
ρ'	= masse volumique	kg/m ³
μ	= Viscosité dynamique	kg/m.s
f	= Coefficient de perte de charge du garnissage mouillé.....	
f _{sec}	= Coefficient de perte de charge du garnissage sec	

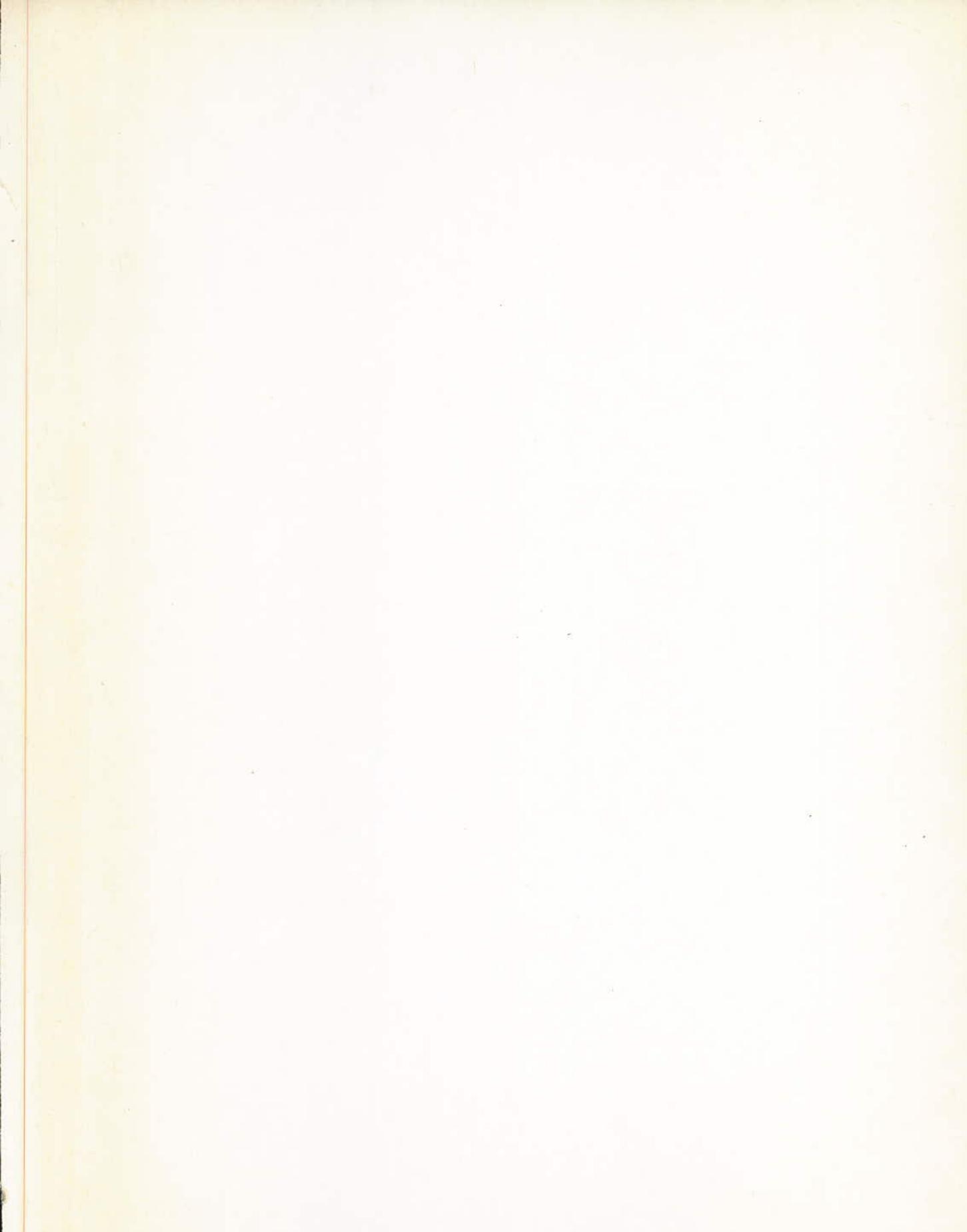
Indices

i=	Interface
g=	gaz
l=	liquide
o=	global;
1=	bas de la colonne
2=	Sommet de la colonne
m=	malaire
v=	Volumique

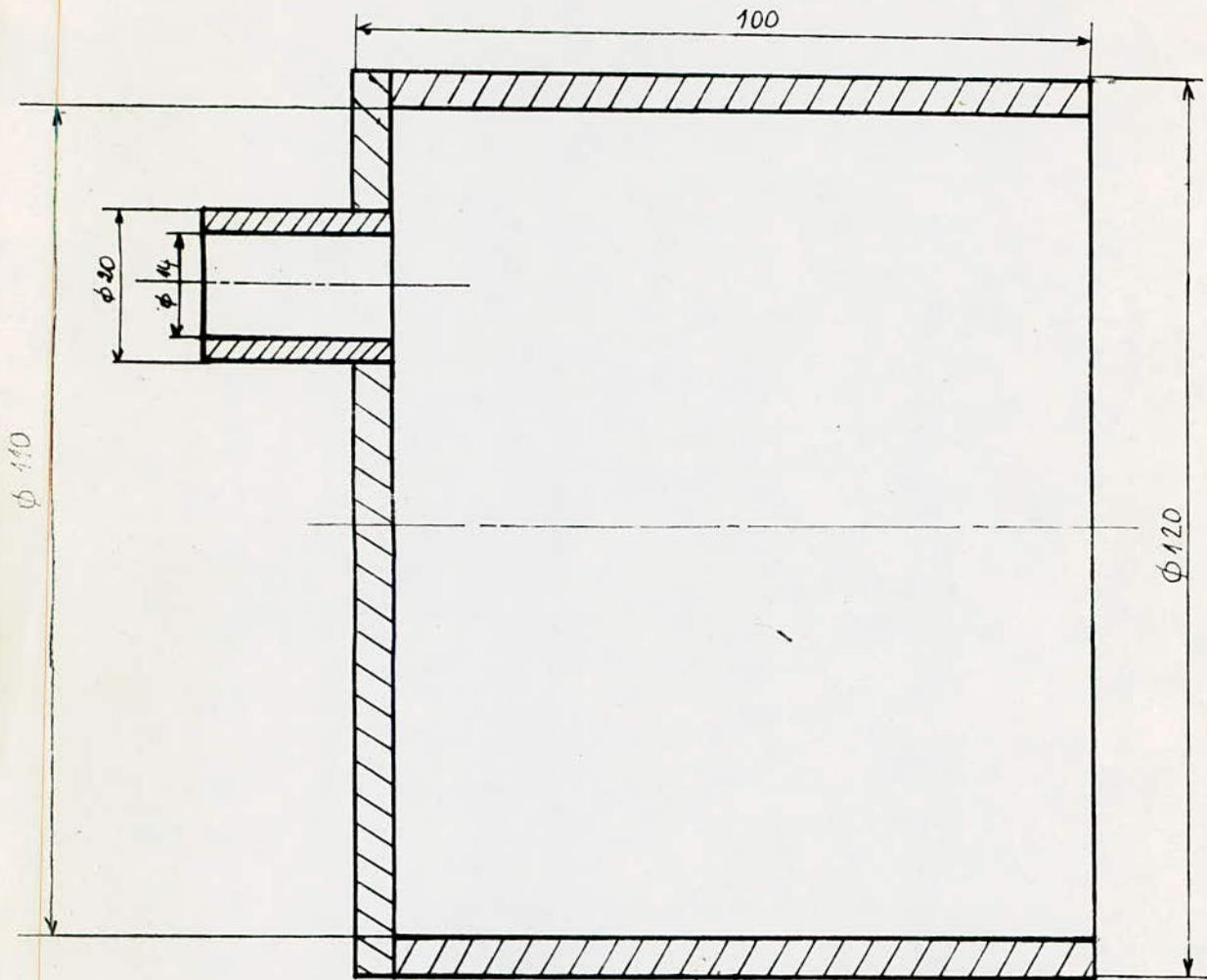
- BIBLIOGRAPHIE -

- 1- NORMAN, W.S
Ed. LONGMANS 1962
ABSORPTION, DISTILLATION AND COOLING TOWERS
- 2- McCabe, W.L Harriott.P AND SMITH,J.C
Ed. Mc Grawhill, 1985
Units operations of chemical engineering
- 3- SKELLAND,A.H.P
Ed. WILEY INTERSCIENCE, 1974
Diffusion and Mass Transfer
- 4- TECHNIQUES DE L'INGENIEUR
- P. COPICNEAUX
- C.PALLIER
Colonne garnies J 2626
Absorption J 2530
- 5- SHEERWOOD,T.K and PIGFORD,R.L
Ed. Mc CRAW HILL, 1952
Absorption and Extraction
- 6- PARIS,A
Ed. DUNOD, 1959
Les procédés de rectification dans l'industrie chimique
- 7- WUITHIER,P
Ed. TECHNIP, 1972
Raffinage et génie chimique tome II
- 8- LEVA,M
Second EDITION, 1953
Tower packing and packed tower design
- 9- CHARPENTIER,J.C
Polycopié ENSIC- CAC,1978
Hydrodynamique des reacteurs à garnissage fonctionnant à co et contre courant de gaz et de liquide
- 10- MORRIS,G.AND JACKSON,J
Ed. BUTTERWORTHS SCI.,1953
Absorption towers
- 11- TREYBAL, R.E
SECOND EDITION Mc GRAW HILL 1968
Mass transfer operations
- 12- PERRY,R.H and CHILTON,C.H
Ed. Mc CRAW HILL 1973
Chemical engineer's hand book
- 13- BADGER, Wil and BANCHERO,J.T
Ed. Mc CRAW HILL 1955
Introduction to chemical engineering

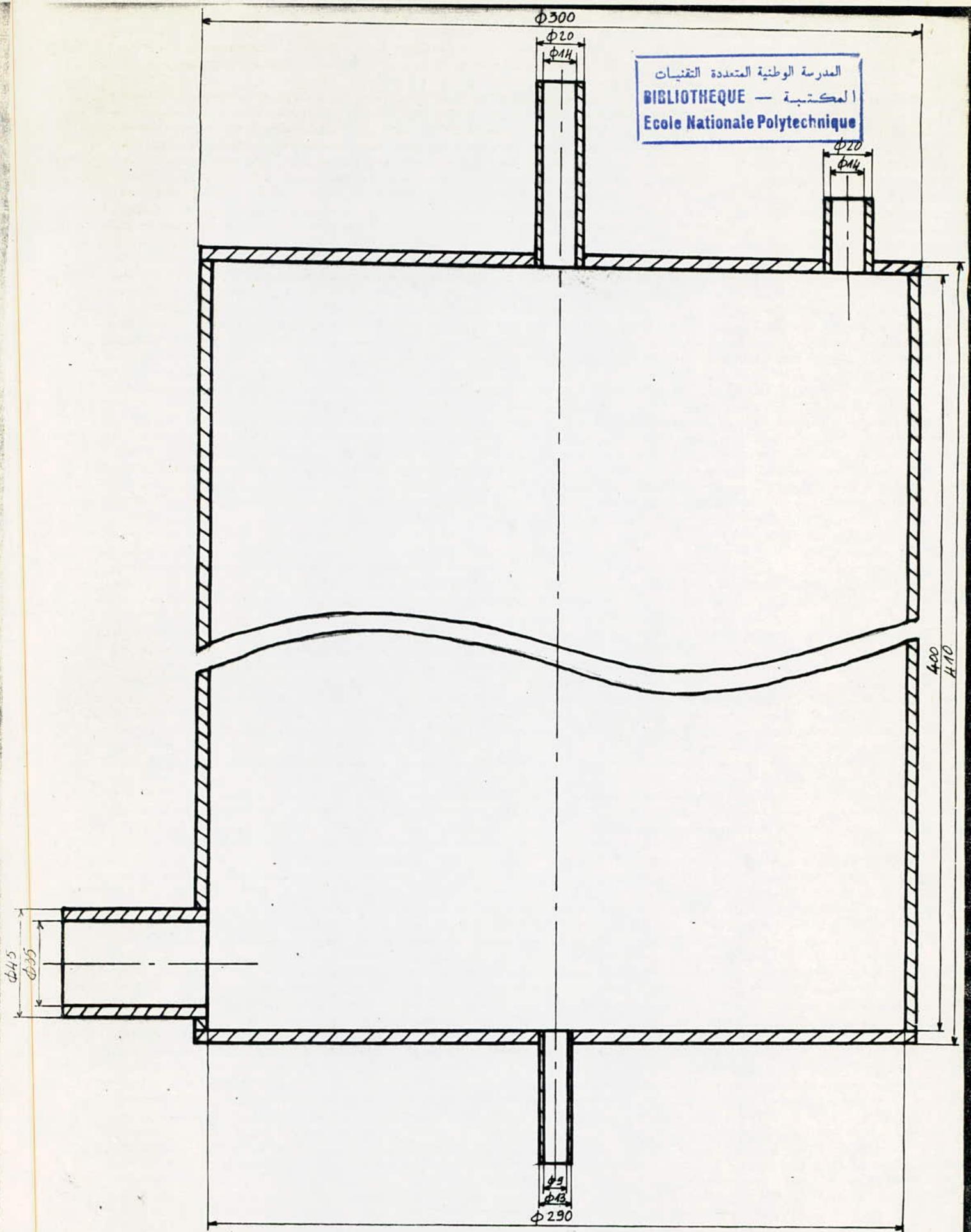
- 14 - BENNETT, C.O and MYERS, J.E
Ed. Mc GRAW HILL 1985
Momentum, Heat, and Mass
Transfer
- 15 - IDELCEK, I.E
Ed. EYROLLES 1960
Momento des pertes de charge
- 16 - PROJET DE FIN D'ETUDES DE Z.ARRAR
Proposé par AMANOWI CZ.J
JUN 1982
- 17 - COULSON, J.M and RICHARDSON, J.F
THIRD EDITION 1978
Chemical engineering (Volume 2)
- 18 - CATALOGUE EIVS
Appareils et procédés
- 19 - CATALOGUE GENERAL EIVS



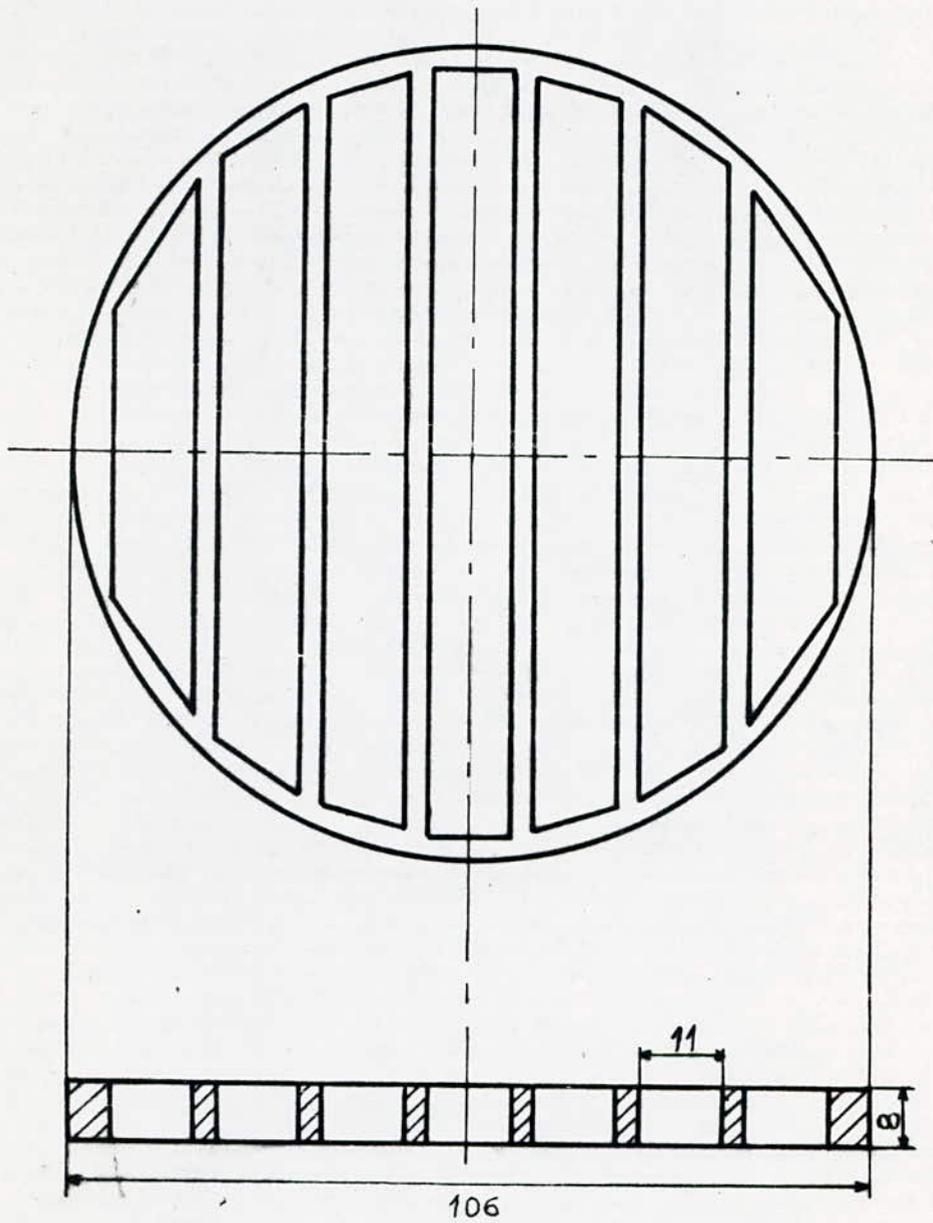
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique



Echelle: 1	JUIN 88	E N P
	N° 1	TÊTE DE COLONNE
ADJEB. AMOURA		

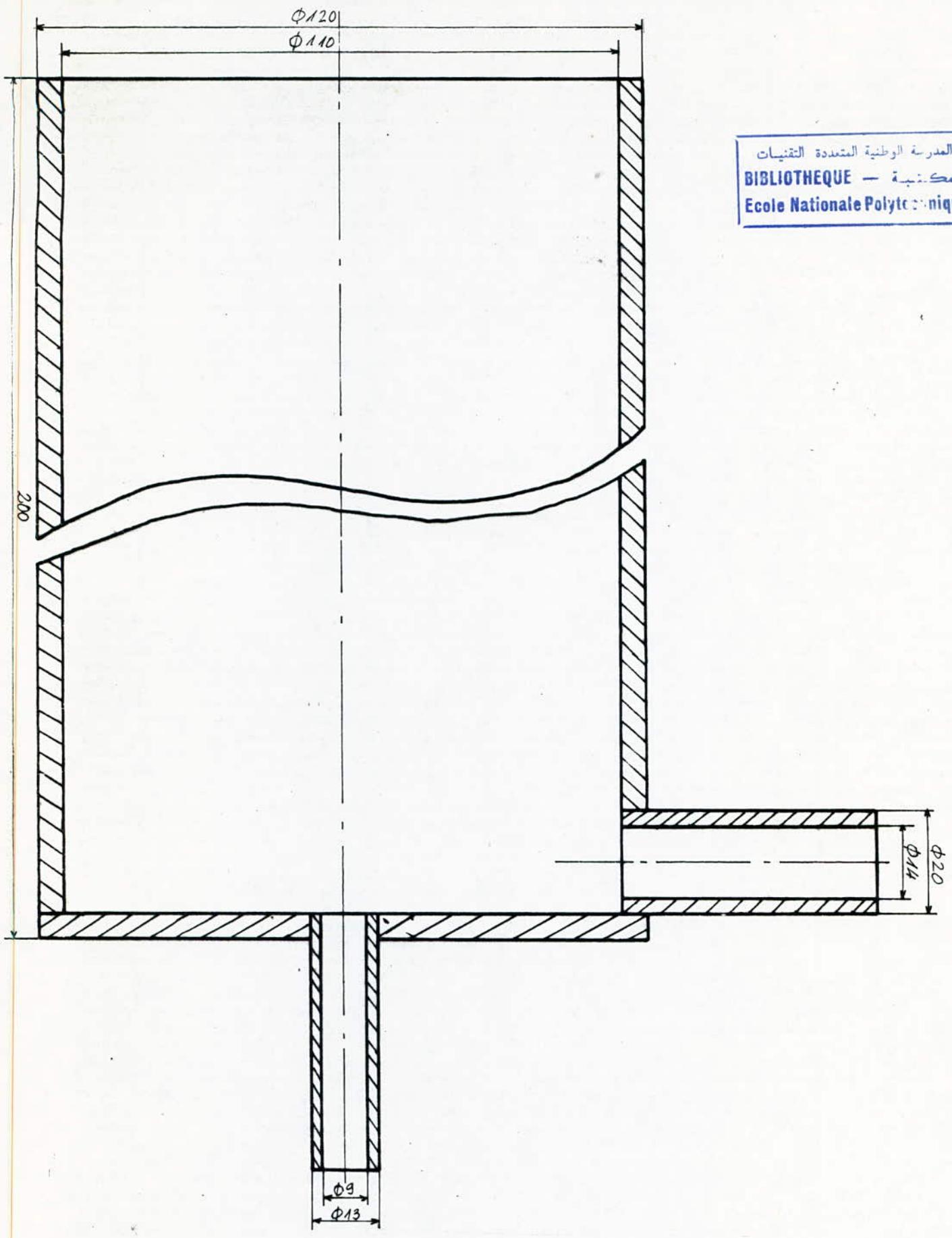


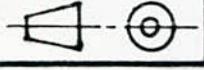
Echelle: 1/2	Juin 88	E N P
	N° 9	BAC DE STOCKAGE
ADJEB-AMOURA		

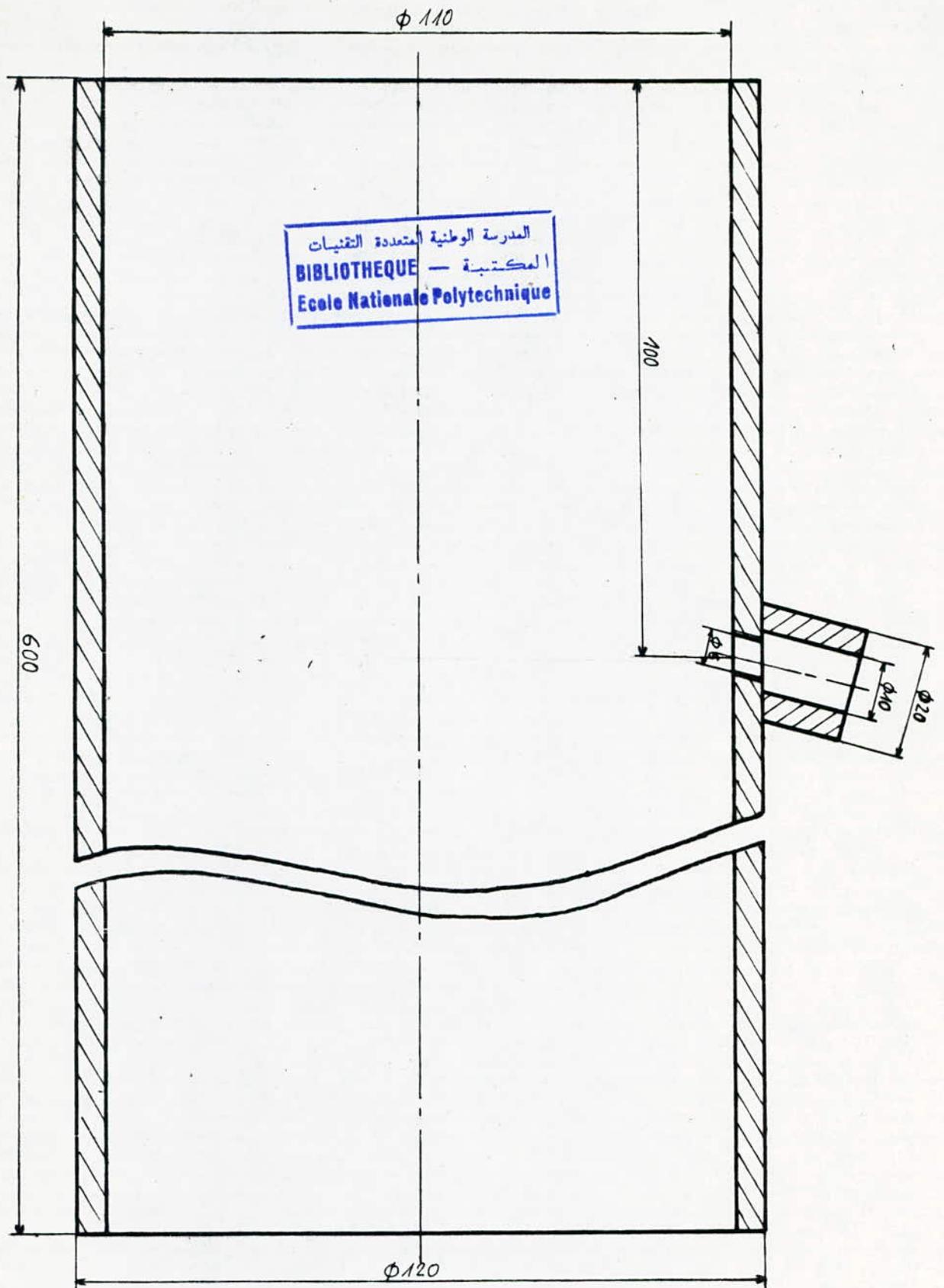


Echelle:1	Juin 88	E N P	
◁ ⊙	N° 8	SUPPORT DE GARNISSAGE	
ADJEB - AMOURA			

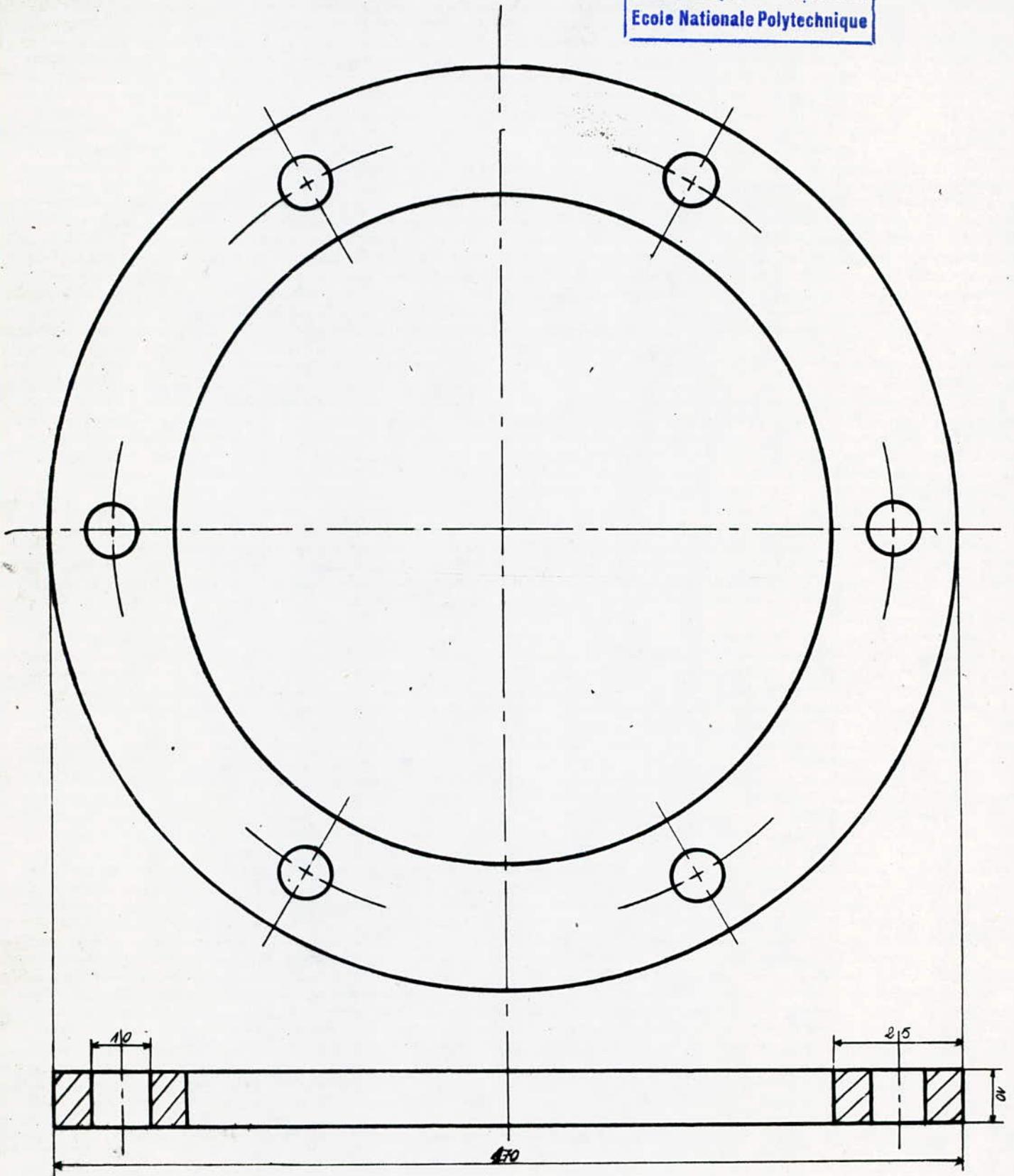
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique



Echelle: 1	Juin 883	E N P
	N° 7	PIECE AVEC EVACU. POUR LE LIQ
ADJEB-AMOURA		



Echelle: 1	Juin 88	E . N . P	
	N° 3 et 5	COLONNE	GARNIE
ADJEB-AMOURA			



Echelle: 1 | Juin 88

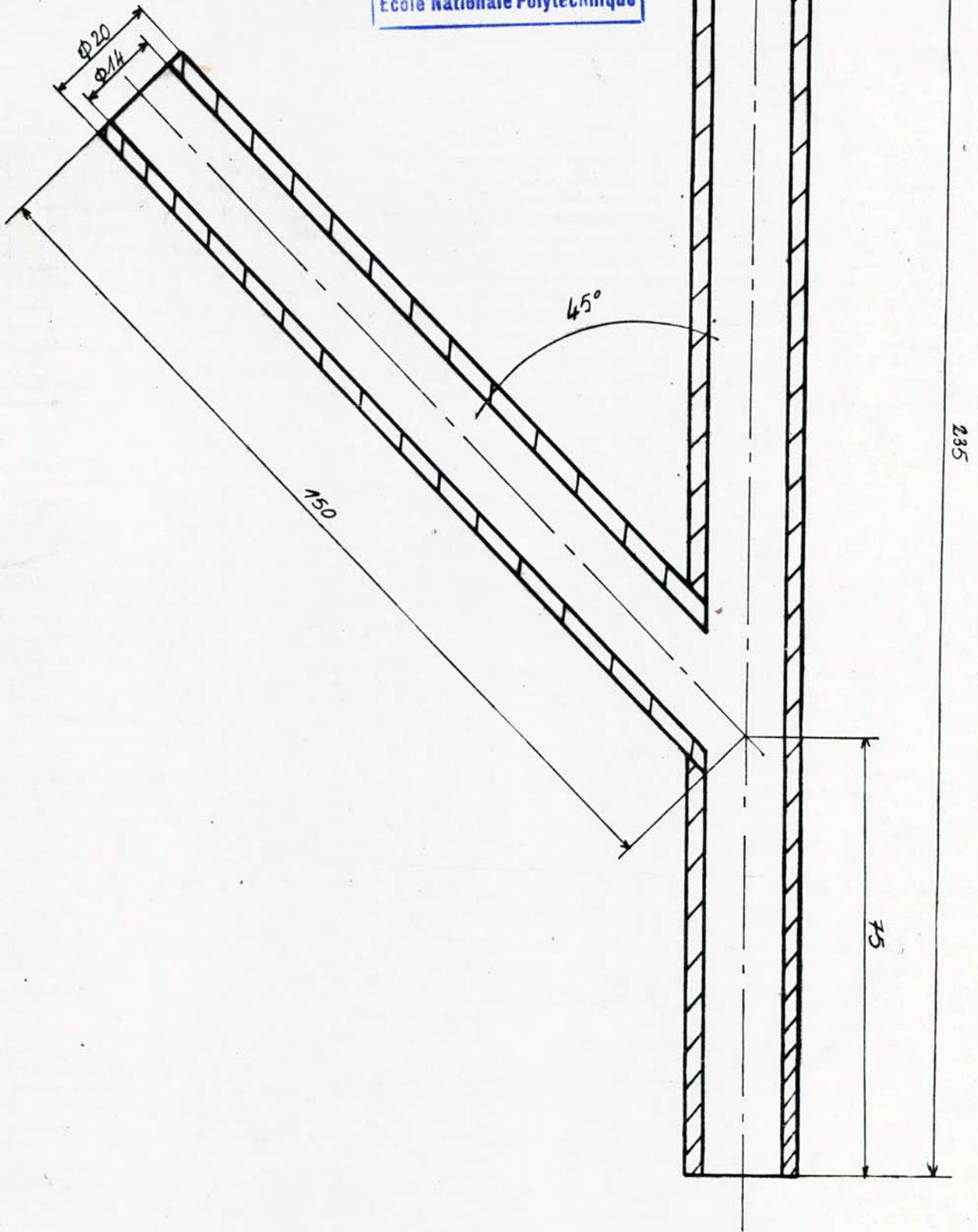
⊠ - ⊙ | N° 13

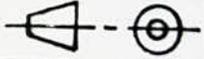
ADJEB-AMOURA

E N P

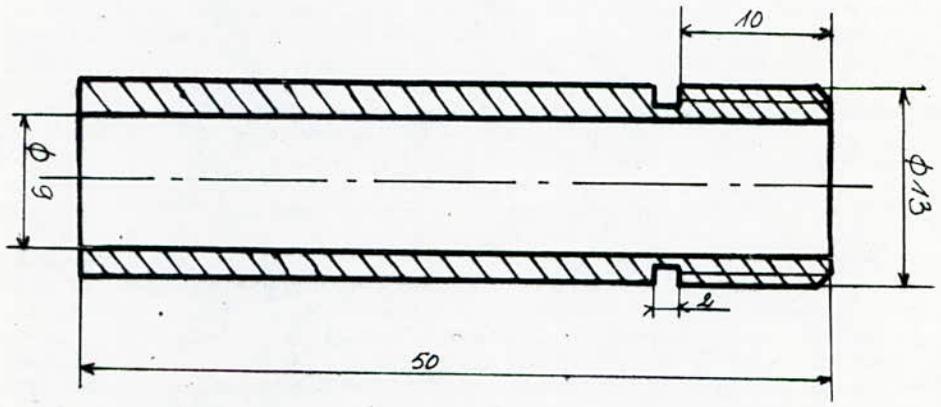
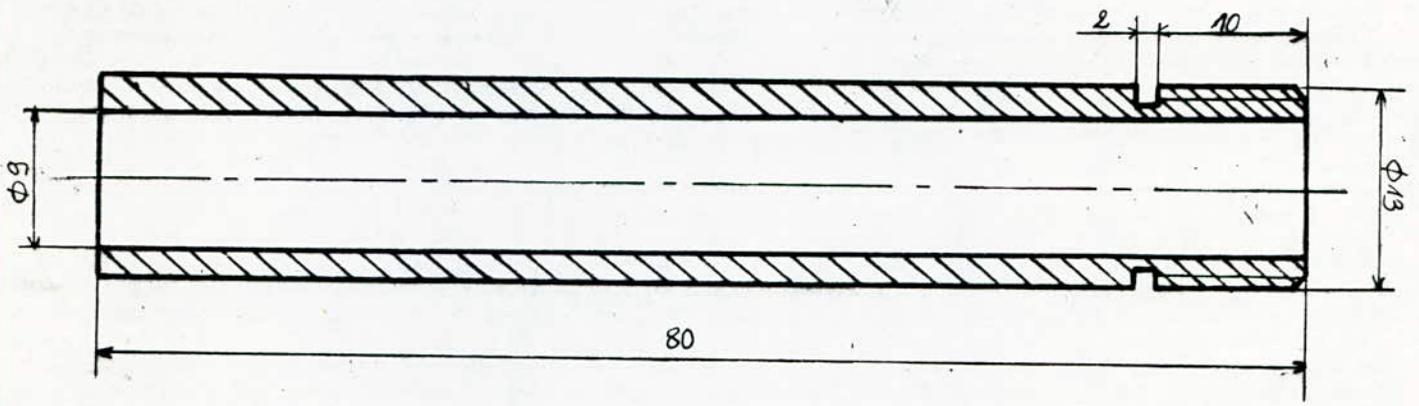
BRIDE DE FIXATION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique



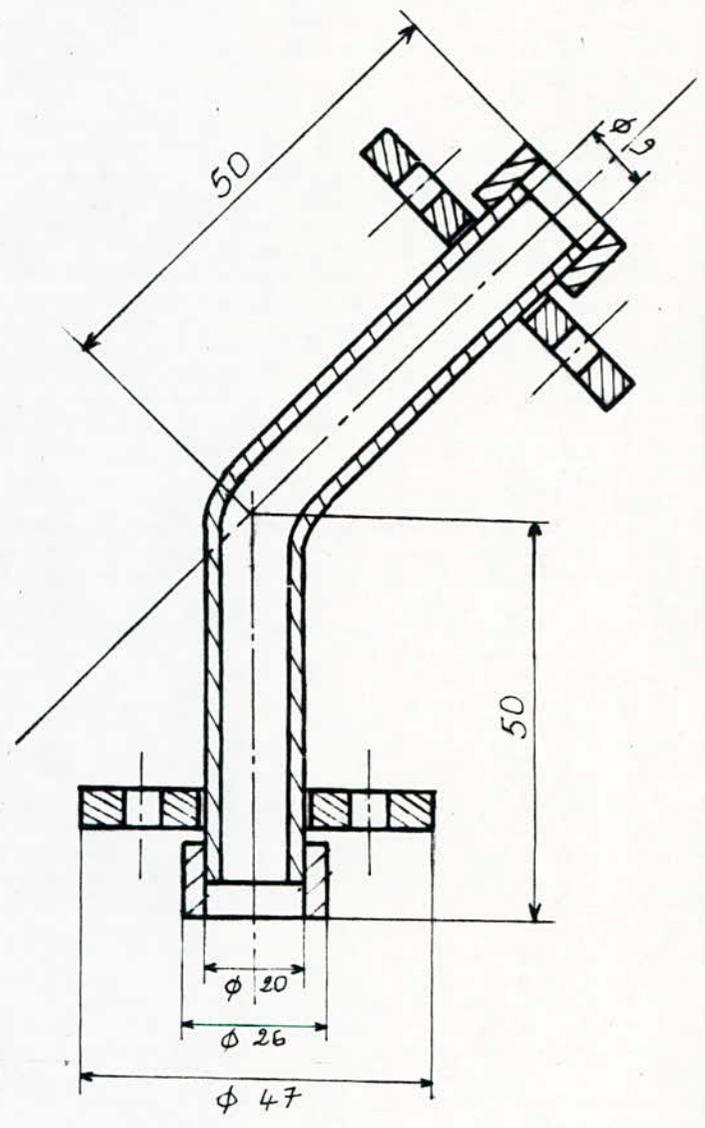
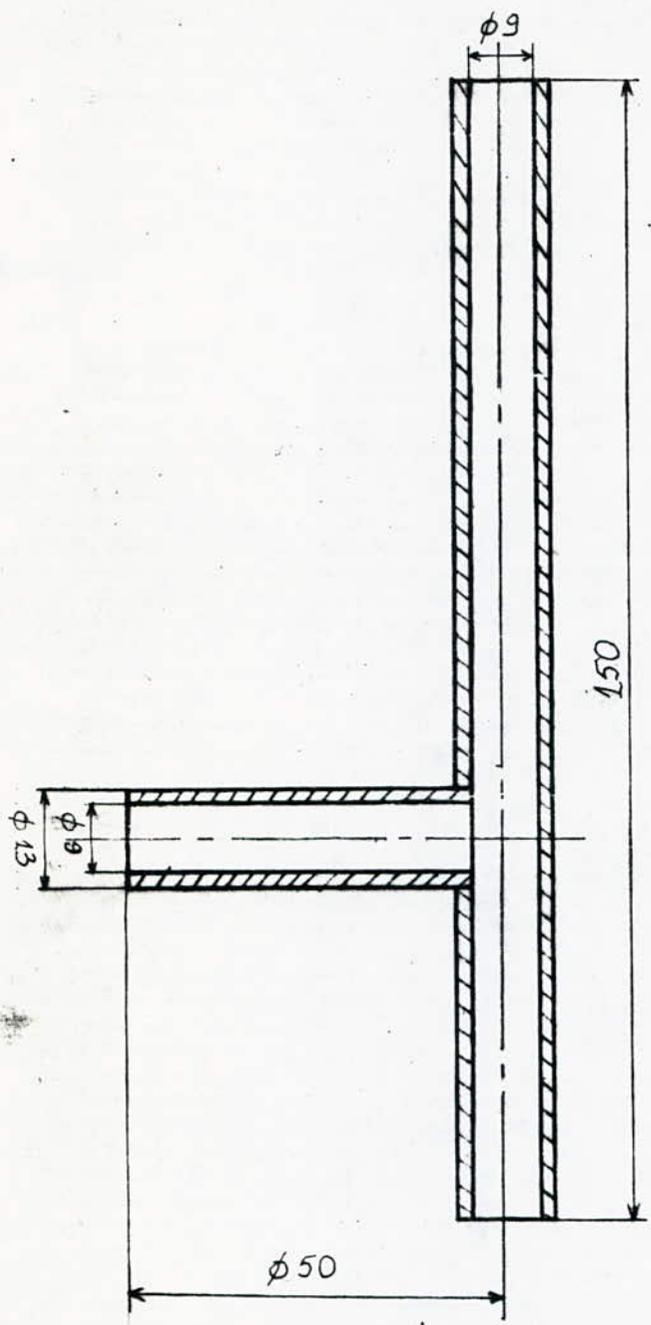
Echelle: 1	Juin 88	E N P
 N°		PIECE en Y
ADJEB-AMOURA		

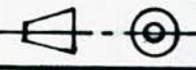
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique



Echelle	Juin 88	E	N	P
	N°	TUBES FILETES		
ADJEB-AMOURA				

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

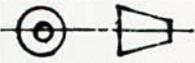


Echelle: 1	Juin 88	E N P
	N°	
ADJEB-AMOURA	PIECE EN T & COUDE A 45°	

PIECE AVEC ENTREE DU
MELANGE GAZEUX

ADJEB-AMOURA

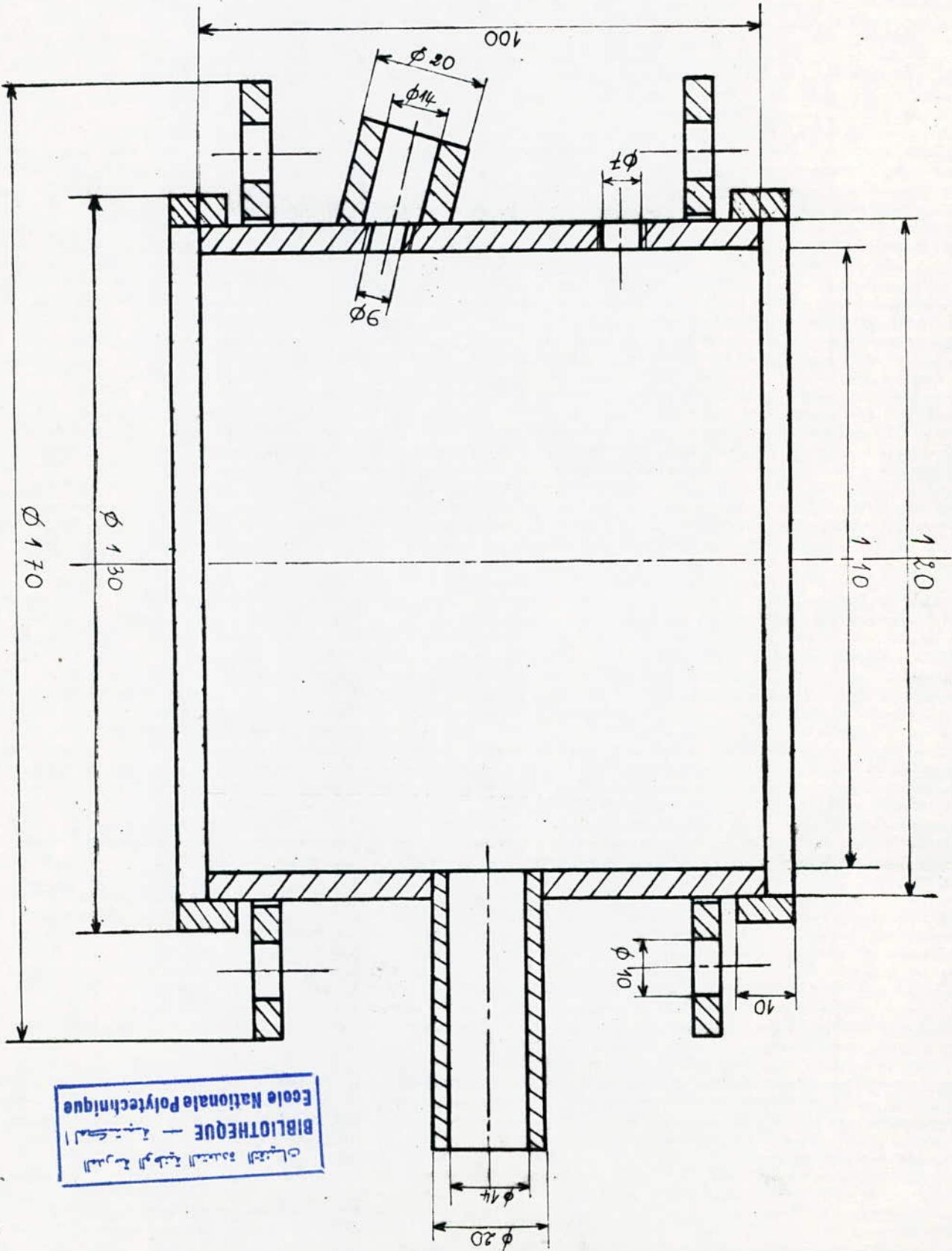
N°



Jun 88

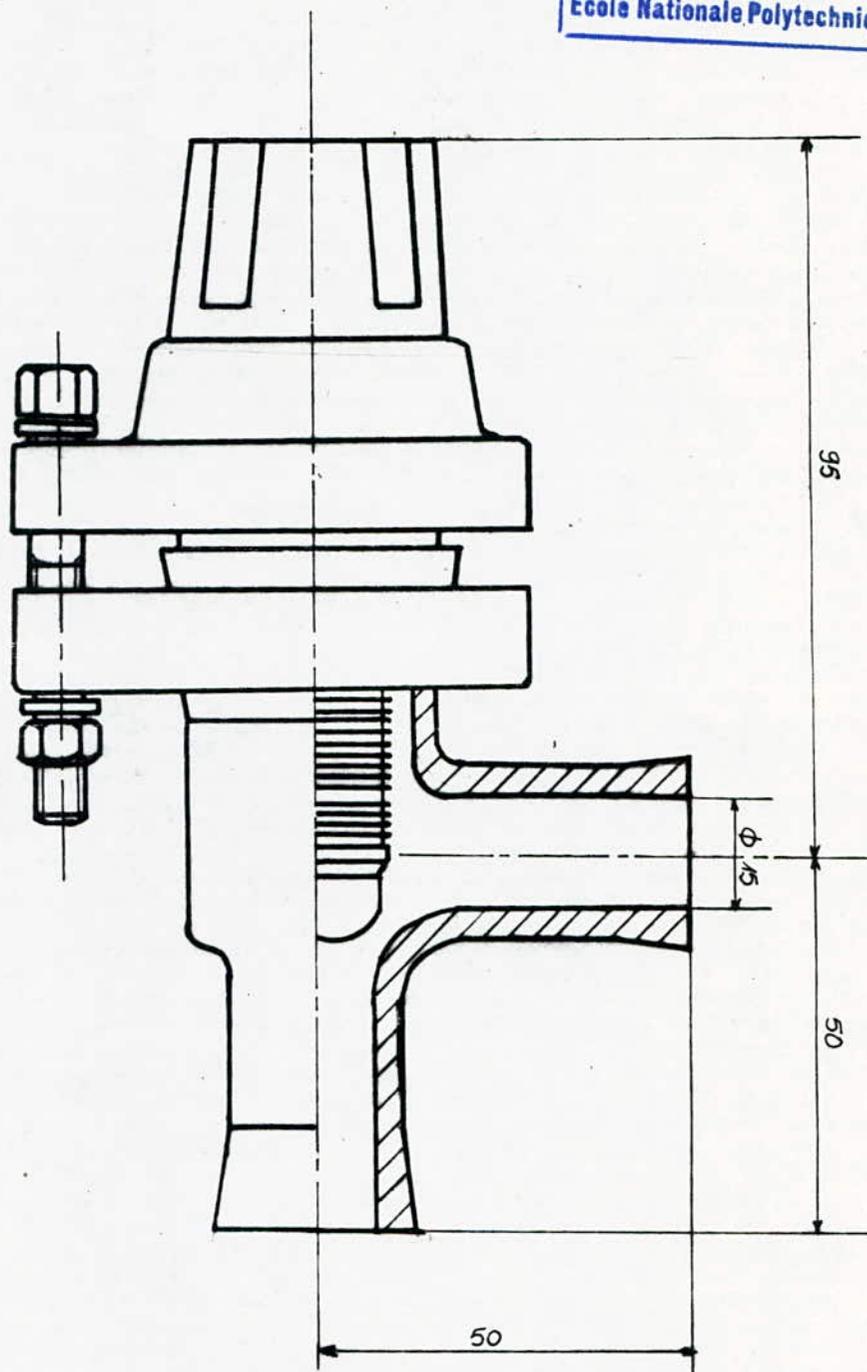
Echelle: 1

E N P

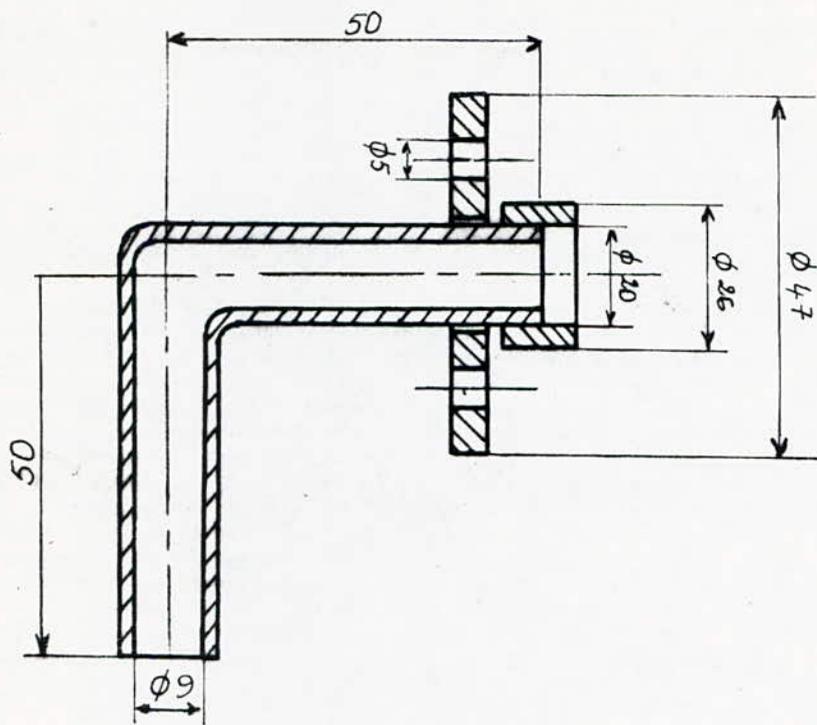


المركز الوطني للتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

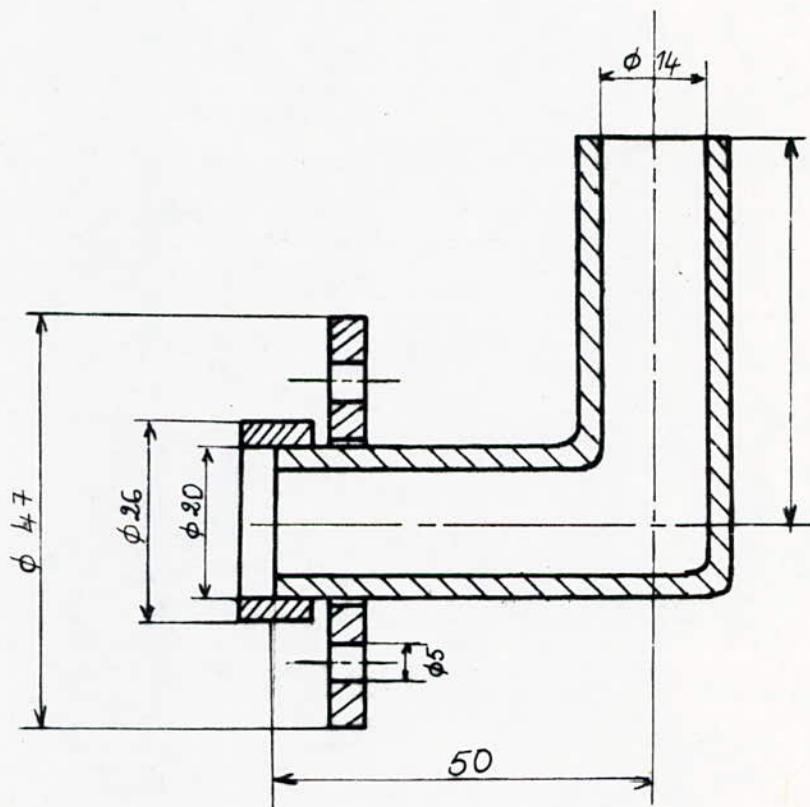
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

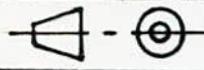


Echelle: 1	Juin 88	E	N	P
	N°	ROBINET PASSAGE D'EQUERRE		
ADJEB - AMOURA				

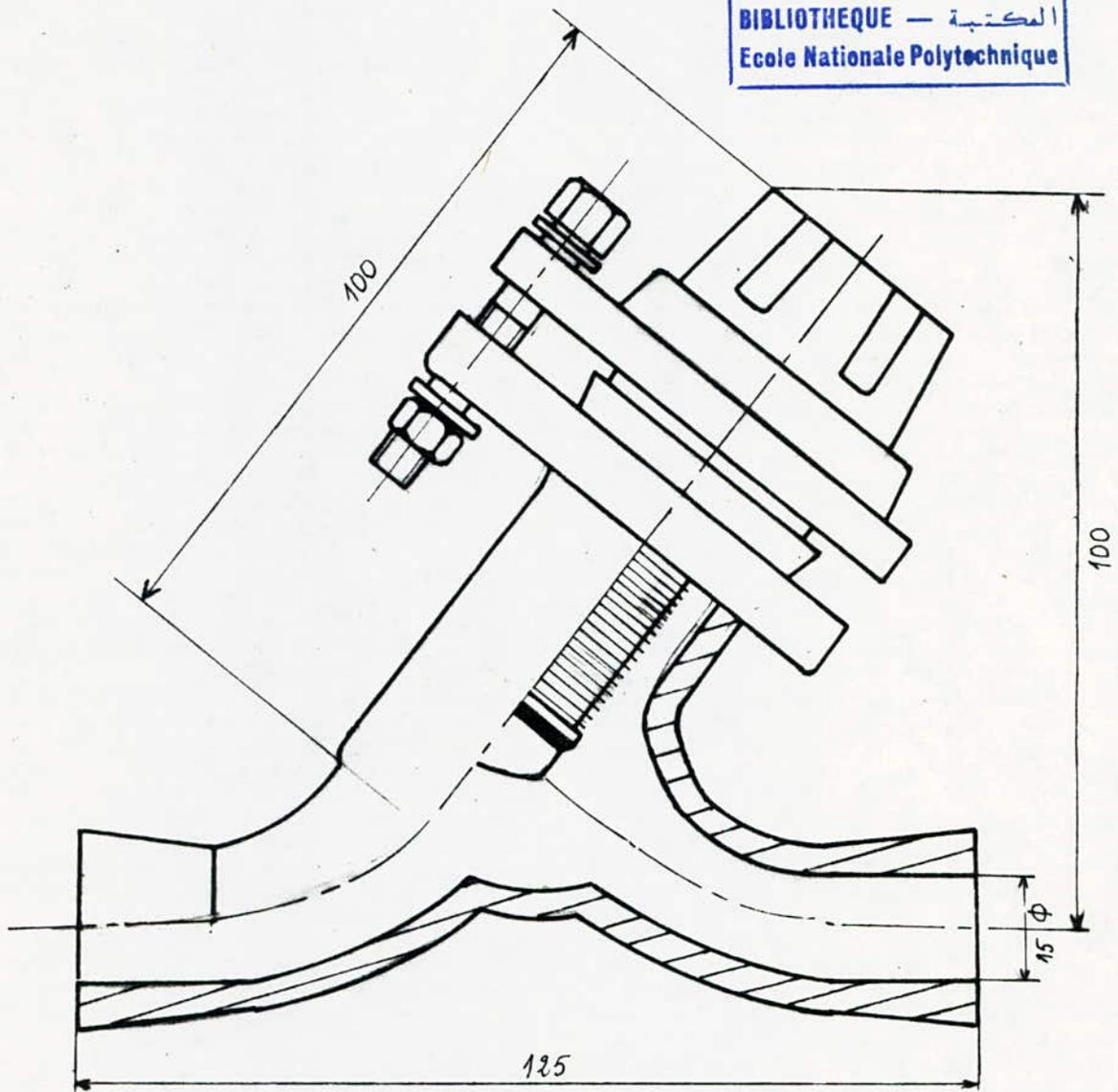


المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

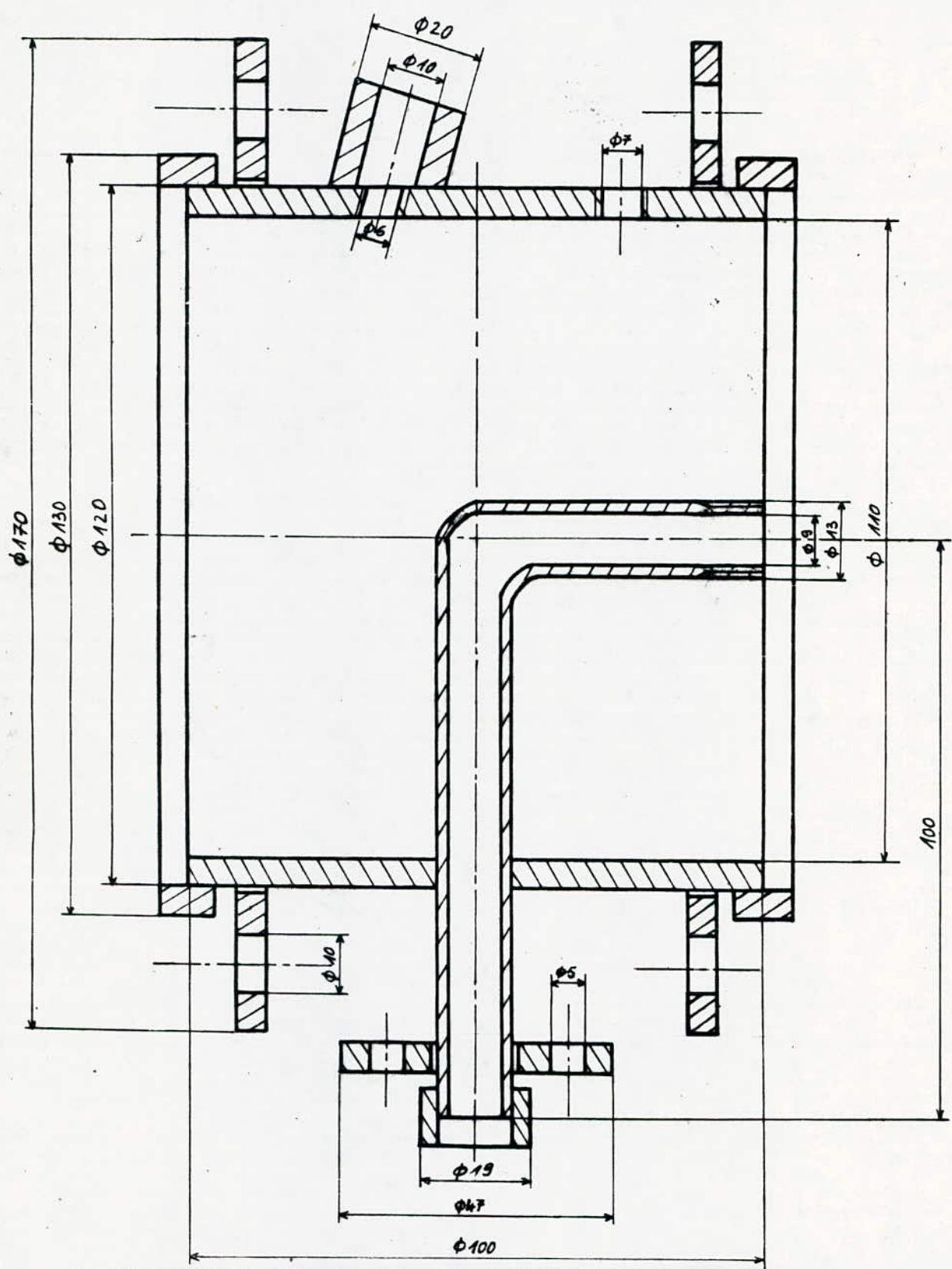


Echelle:1	Juin 88	E N P
 - 	N°	COUDES
ADJEB - AMOURA		

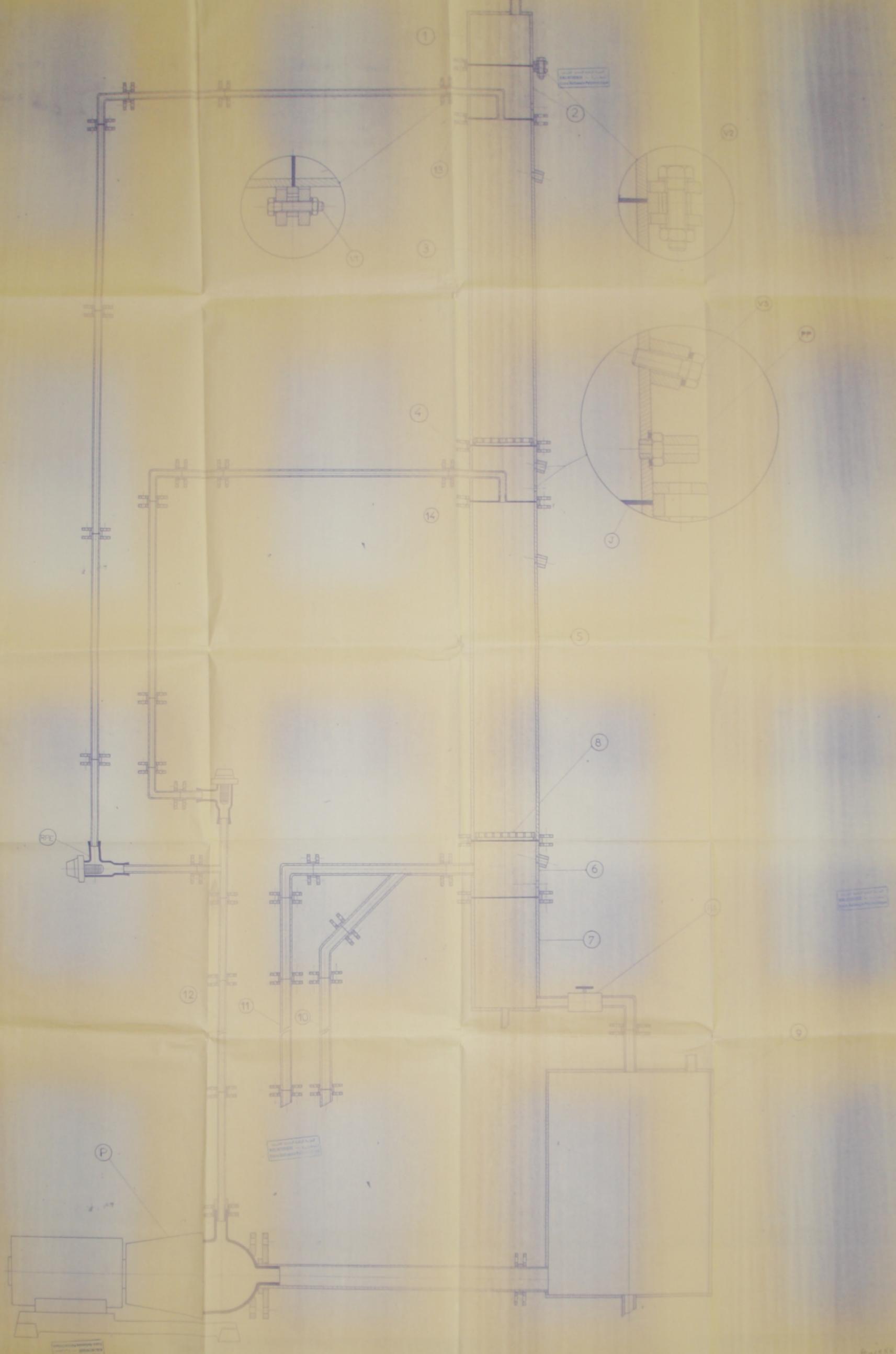
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique



Echelle: 1	Juin 88	E N P	
	N°	ROBINET PASSAGE DIRECT	
ADJEB AMOURA			



Echelle:1	JUIN 88	E N P
	N°2 et 4	PIECE D'ARRIVEE DU LIQUIDE
ADJEB-AMOURA		



№	Наименование	Материал	Количество
1	Корпус	Чугун	1
2	Крышка	Чугун	1
3	Шпindel	Сталь	1
4	Поршень	Алюминий	1
5	Поршневый палец	Сталь	1
6	Поршневое кольцо	Сталь	2
7	Поршневое кольцо	Сталь	2
8	Поршневое кольцо	Сталь	2
9	Поршневое кольцо	Сталь	2
10	Поршневое кольцо	Сталь	2
11	Поршневое кольцо	Сталь	2
12	Поршневое кольцо	Сталь	2
13	Поршневое кольцо	Сталь	2
14	Поршневое кольцо	Сталь	2
15	Поршневое кольцо	Сталь	2
16	Поршневое кольцо	Сталь	2
17	Поршневое кольцо	Сталь	2
18	Поршневое кольцо	Сталь	2
19	Поршневое кольцо	Сталь	2
20	Поршневое кольцо	Сталь	2
21	Поршневое кольцо	Сталь	2
22	Поршневое кольцо	Сталь	2
23	Поршневое кольцо	Сталь	2
24	Поршневое кольцо	Сталь	2
25	Поршневое кольцо	Сталь	2
26	Поршневое кольцо	Сталь	2
27	Поршневое кольцо	Сталь	2
28	Поршневое кольцо	Сталь	2
29	Поршневое кольцо	Сталь	2
30	Поршневое кольцо	Сталь	2
31	Поршневое кольцо	Сталь	2
32	Поршневое кольцо	Сталь	2
33	Поршневое кольцо	Сталь	2
34	Поршневое кольцо	Сталь	2
35	Поршневое кольцо	Сталь	2
36	Поршневое кольцо	Сталь	2
37	Поршневое кольцо	Сталь	2
38	Поршневое кольцо	Сталь	2
39	Поршневое кольцо	Сталь	2
40	Поршневое кольцо	Сталь	2
41	Поршневое кольцо	Сталь	2
42	Поршневое кольцо	Сталь	2
43	Поршневое кольцо	Сталь	2
44	Поршневое кольцо	Сталь	2
45	Поршневое кольцо	Сталь	2
46	Поршневое кольцо	Сталь	2
47	Поршневое кольцо	Сталь	2
48	Поршневое кольцо	Сталь	2
49	Поршневое кольцо	Сталь	2
50	Поршневое кольцо	Сталь	2

Рис. 255
Часть 1

Указано в проекте
использовать материал
по чертежам

Указано в проекте
использовать материал
по чертежам

Указано в проекте
использовать материал
по чертежам

