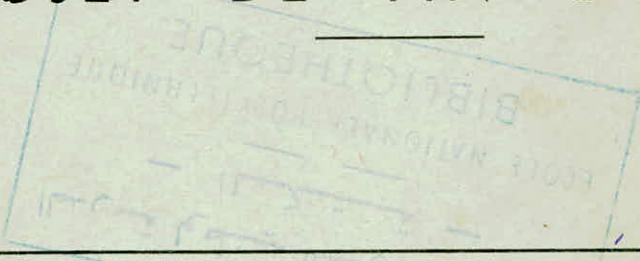


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

1er

DEPARTEMENT GÉNIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES



Sujet :

ADSORPTION DANS
UN LIT FIXE DE
CHARBON ACTIF

Proposé par : M^C. TCHIKOWSKI Etudié par : B. ABDI

A MA MERE .

A MON PERE .

A MES FRERES , SOEURS et ONCLE .

A MONSIEUR A . KERROUZI et SA FAMILLE .

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

REMERCIEMENTS .

Je tiens à remercier MONSIEUR TCHIKOWSKI, pour m'avoir guidé tout au long de mon travail et surtout pour ses conseils qu'il m'a prodigués .

Mes remerciements s'adressent également à :

MONSIEUR BEL- ABBES , PROFESSEUR à L'E.N.P.A. et VICE RECTEUR à L'USTA qui a bien voulu assurer la présidence de ce Jury , ainsi qu'à MESSIEURS les membres de Jury .

Enfin je tiens à remercier MESSIEURS A. KERROUZI , AMRI , AIT HAMID , M'hamed TALEB , M . ZERBOTA et A. ZBYDOR sur l'aide qui m'ont apporté .

Je remercie également O . ABDI et tous les gens qui ont collaboré de loin ou de pres à ce travail .



MEMBRES DE JURY .

PRESIDENT :

M^r BEL - ABBES , PROFESSEUR à L' E . N . P . A .

EXAMINATEURS :

M^{me} DJELLAS , MATTRE ASSISTANTE à L' E.N.P.A.

M^r SANDIE , PROFESSEUR à L'E.N.P.A.

M^r TCHIKOWSKI , PROFESSEUR à L'E.N.P.A.

V - 1 - Propriété des produits chimique utilisé.....	23
V - 2 - Préparation des solutions	23
V - 3 - Mode opératoire pour obtenir isotherme d'adsorption...	24
V - 4 - Technique d'Analyse	24
V - 5 - Mode opératoire pour obtenir les courbes de réponse...	25
V - 6 - Résultats expérimentaux.....K	29
V - 7 - Interpretations des résultats.....	64
V - 7	

RECTIFICATION .

PAGE	LIRE	PARAGRAPHE et LIGNE	
- 4 -	Dissymétrique , force	I - 1 -	Ligne 2
	Qu'à	I - 2 -	" 1
	Compensées	I - 2 -	" 3
	Exothermique	I - 2 - b	" 6
	Van	I - 2 - b	" I
	Couple	I - 2 - b	" 4
	Cas	I - 2 - b	" 6
- 5 -	Retiennent	I - 2 - b	" 2
	Distinction	I - 2 - b	" 4
- 6 -	Non polaire	I - 2 - b	" 3
- 8 -	Lien	II - 2 - A - 3	" 1
- 12 -	Particularité	III - 1 -	" 4
	Industrie	III - 1 -	" 5
	D'adsorption	III - 1 -	" 7
	Concassés	III - 1 -	" 13
	Fluidisé	III - 1 -	" 14
	Tourbe	III - 2 -	" 3
	Déshydratant , Chlorures	III - 2 -	" 15
	Réaction	III - 2 -	" 20
- 14 -	Teinture	III - 3 -	" 8
- 16 -	Corrosion , moisissure	IV - 1 -	" 5
	Force	IV - 1 -	" 7
- 18 -	Bas		" 2
	Détectée		" 16
	Son	IV - 2 - 2 -	" 3

INTRODUCTION .

Vu le nombre de problèmes rencontrés dans la nature , nous citons comme exemple la pollution de l'eau et de l'atmosphère par les produits chimiques on a recouru à de nombreux procédés pour l'élimination de ces produits toxiques d'une part et le développement de l'économie d'autre part .

Parmi ces procédés classiques on a la DISTILLATION, L'EXTRACTION et L'ADSORPTION . Notre étude sera plus particulièrement basée sur cette dernière technique .

Etant que l'eau est un élément vital tant pour l'économie que pour les êtres vivants donc il est commode d'utiliser l'adsorption comme moyen technique de purification des eaux résiduaires afin d'augmenter la quantité d'eau potable et aussi cela nous permet de récupérer certains produits organiques .

Cette technique est également importante pour éliminer les vapeurs toxiques de l'atmosphère .

On peut dire que l'adsorption est une méthode pour combattre à la fois le manque et la pollution .

Il semble qu'un traitement sur charbon actif pourrait être une excellente à l'épuration des eaux résiduaires . *méthode*

L'adsorption peut être utilisée dans d'autre domaine, à savoir le séchage , traitements des huiles, traitements des gaz et aussi le fractionnement des hydrocarbures en pétrochimie .

POUR régler ces problèmes rencontrés dans l'industrie on est obligé de faire développer l'adsorption .

Malgré les difficultés qui s'imposent , n'empêche que des chercheurs ont abouti à des résultats prometteurs .

Par exemple DELL a porté ses expériences sur l'adsorption du Dodécylbenzène sulfonate en solution aqueuse selon la théorie cinétique sur du charbon Actif à 298°K De la même façon ROZWADOWSKI et CALL décrivent l'adsorption d'un mélange binaire méthanol -éthanol sur le charbon Actif à 298°K .

L'adsorption est une opération de séparation des mélanges . Elle consiste à mettre en contact un fluide et un solide qui a le caractère d'un adsorbant et ainsi on aura une différence de composition entre la phase adsorbée au voisinage immédiat du solide et de la phase fluide .

C'est un phénomène qui peut être physique ou chimique , et qui se passe à l'interface de deux constituants .

On peut dire qu'on a plusieurs méthodes d'adsorption .

On a l'adsorption en étages séparés qui consiste à mettre en contact un liquide avec un adsorbant dans un mélangeur durant un temps suffisant pour que l'équilibre soit atteint , puis séparer l'adsorbant de la solution par filtration c'est le cas pour le traitement des huiles dit par contact au moyen des terres naturelles ou actives .

On a aussi l'hyposorption qui est une opération réalisant un contre courant de fluide et d'adsorbant . On peut utiliser cette méthode avec du charbon Actif pour récupérer de l'éthylène. (I)

ET enfin on a l'adsorption en lit fixe que l'on appelle PERCOLATION lorsqu'il s'agit d'un mélange liquide .

Dans notre travail on va s'intéresser à cette dernière méthode qui est la PERCOLATION. Elle consiste à faire passer une charge d'acide acétique à travers un lit de charbon actif ; le travail obtenu est représenté dans ce Polycope .

EUT DU TRAVAIL

Le but de ce projet de fin d'étude est de pouvoir donner rapidement au lecteur des idées précises sur le problème de lutte contre la pollution à travers les phénomènes d'adsorption .

L'objet de notre étude se rapporte à une colonne remplie de charbon actif comme lit fixe .

On s'est intéressé aux différents paramètres qui influent sur l'adsorption en lit fixe .

Lors de cette adsorption dynamique on s'est contenté d'étudier l'influence des phénomènes liés au Débit sur le temps de rupture et les autres paramètres .

Nous avons choisi d'étudier l'adsorption de ce système à une $T = 30^{\circ}\text{C}$, trois débits différents ($3.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$; $7.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$ et $10 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$.) concentration du mélange à traiter $0.515 \text{ mole} \cdot \text{l}^{-1}$.

On a aussi étudié l'isotherme d'adsorption de l'acide acétique sur le charbon actif granulé à $T = 30^{\circ}\text{C}$.

A la fin on a fait une comparaison entre l'équation de SHILOV obtenue à partir des courbes de réponse et celle obtenue à partir de l'isotherme d'adsorption . Les paramètres qui seront déterminés dans nos expériences sont indispensables au calcul d'un adsorbent .

ADSORPTION:

1-Introduction: Les molécules, ions ou atomes formant la surface d'un solide sont soumis à des forces dissymétriques qui se traduisent par un champ de force attractif. Le champ a une portée limitée à des distances de l'ordre de grandeur des dimensions des atomes (quelques Å), mais il est suffisant pour attirer les molécules de gaz ou liquide situées au voisinage immédiat de l'interface. Ce sont ces forces qui provoquent la fixation des molécules à la surface, ce phénomène est appelé ADSORPTION (2). Donc on peut dire que l'adsorption se passe à l'interface de deux constituants.

Il existe quatre types d'interface.

Gaz - Solide

Gaz - Liquide

Liquide - Liquide

Liquide - Solide

L'adsorption peut être définie donc comme étant le phénomène d'enlèvement des molécules d'une phase gazeuse ou liquide par la surface d'un solide. Dans ce cas le terme doit s'étendre à la totalité de la surface extérieure géométrique et de la surface interne engendrée par les fissures, cavernes ou capillaires.

I) 2- Types d'adsorptions :

L'existence d'une couche adsorbée est due au fait qu'ici la surface d'un solide, les molécules ou atomes qui le constituent ont des liaisons incomplètes avec le reste du solide. Lorsque celui-ci est mis en présence d'un fluide, les liaisons non compensées tendent à saturer à l'aide des molécules du fluide en les adsorbant.

Cette adsorption s'accompagne d'une diminution de l'énergie libre du système donc c'est un phénomène exothermique.

Suivant la nature des forces mises en jeu, l'adsorption sera dite physique ou chimique

(1)

I - 2 - adsorption chimique ou chimisorption:

l'adsorbant

Elle met en jeu des liaisons chimiques entre l'adsorbant. L'énergie mise en jeu est élevée et supérieure à 10 Kcal/mole. C'est une adsorption sélective et généralement irréversible. La désorption est plus difficile.

I - 2 -b. Adsorption physique ou physisorption:

La liaison entre adsorbant et adsorbat est due aux forces de van der Waals. Ces forces ne sont pas sélectives et s'exercent sur n'importe quelle substance.

L'énergie mise en jeu est faible et inférieure à 10 kcal/mole.

C'est une adsorption réversible, c'est à dire on peut faire décrire à un couple adsorbant fluide un cycle adsorption-désorption et on peut récupérer l'adsorbant et le fluide dans leur état initial (dans le cas où le fluide est un gaz);; (1)

peut dire que la différence entre l'adsorption physique et chimique se ramène donc à la différence entre les types de forces, donc de liaisons qui retiennent les molécules de gaz ou de liquide à la surface du solide. (2)

à aussi d'autres critères qui nous permettent de faire la distinction entre ces 2 types d'adsorption.

Vitesse d'adsorption:

Pour l'adsorption physique, cette vitesse est très rapide et conduit à une condensation.

Pour l'adsorption chimique, elle est très lente. (2)

Température :

La température d'adsorption peut influencer sur la détermination du type d'adsorption. Elle est inférieure à la température d'ébullition de l'adsorbant pour le cas de physisorption dans des conditions bien déterminées de pression. Par contre la chimisorption est possible même à des températures dépassant celles d'ébullition de l'adsorbant pour les mêmes conditions à l'exception des solides poreux (4).

Cette adsorption chimique nécessite pour la desorption une température plus élevée que l'adsorption physique.

Ces critères sont impératifs afin de déterminer avec exactitude le type d'adsorption. Il est bien clair que l'adsorption chimique dépend du potentiel chimique, substances interagissantes si bien qu'elle ne forme qu'une seule couche monomoléculaire ce qui n'est pas le cas de physisorption sur lequel on observe très souvent la formation des couches polymoléculaires.

L'expérience montre que tous ces critères ont des limites, et que leur application simultanée ne nous donne qu'une idée sur le type d'adsorption. Cependant, l'étude approfondie de la surface des solides d'une part et les espèces adsorbées d'autre part, permet de caractériser le type d'adsorption.

- A - Facteurs influant sur l'adsorption:

1) nature des adsorbants:

généralement les adsorbants se divisent en deux groupes.

a) les adsorbants polaires tels que le gel de silice, l'allumine, etc...

Ils sont des adsorbants énergiques de l'eau et des alcools.

b) Les adsorbants non polaires: Ils adsorbent de préférence des substances non polaires

Le charbon actif est un adsorbant médiocre de l'eau et est souvent classé comme hydrophobe.

2) Nature des adsorbats :

L'affinité de l'adsorbat avec l'adsorbant joue un très grand rôle dans l'évolution de l'adsorption.

En effet l'adsorbat possédant soit des groupements non polaire ou polaires se fixe sur le solide selon son affinité pour ce dernier. par exemple pour le cas des acides carboxyliques, l'affinité croit avec la longueur de la chaîne(2)

" d'où on peut énoncer la règle de Traube suivante:

" L'adsorption croit avec la longueur de la chaîne c'est à dire que la quantité du solide adsorbé sur un solide croit avec la masse moléculaire.

- (1) Acide acétique
- (2) Acide propionique
- (3) Acide n-butyrique
- (4) Acide valérique

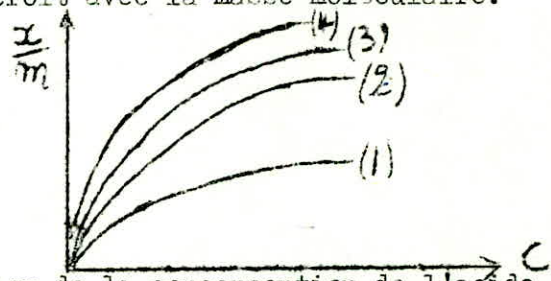


FIG 1: quantité adsorbée en fonction de la concentration de l'acide.

3) Température :

elle influe beaucoup sur les isothermes d'adsorption; plus la température est faible et plus la quantité adsorbée est élevée.

L'élévation de celle-ci peut libérer l'adsorbat (désorption).

L'augmentation de la température abaisse non seulement le taux de saturation, mais également l'efficacité et, en outre, elle agit sur le point de rupture qui devient moins prononcé quand la température s'élève.

4) Intensité d'adsorption:

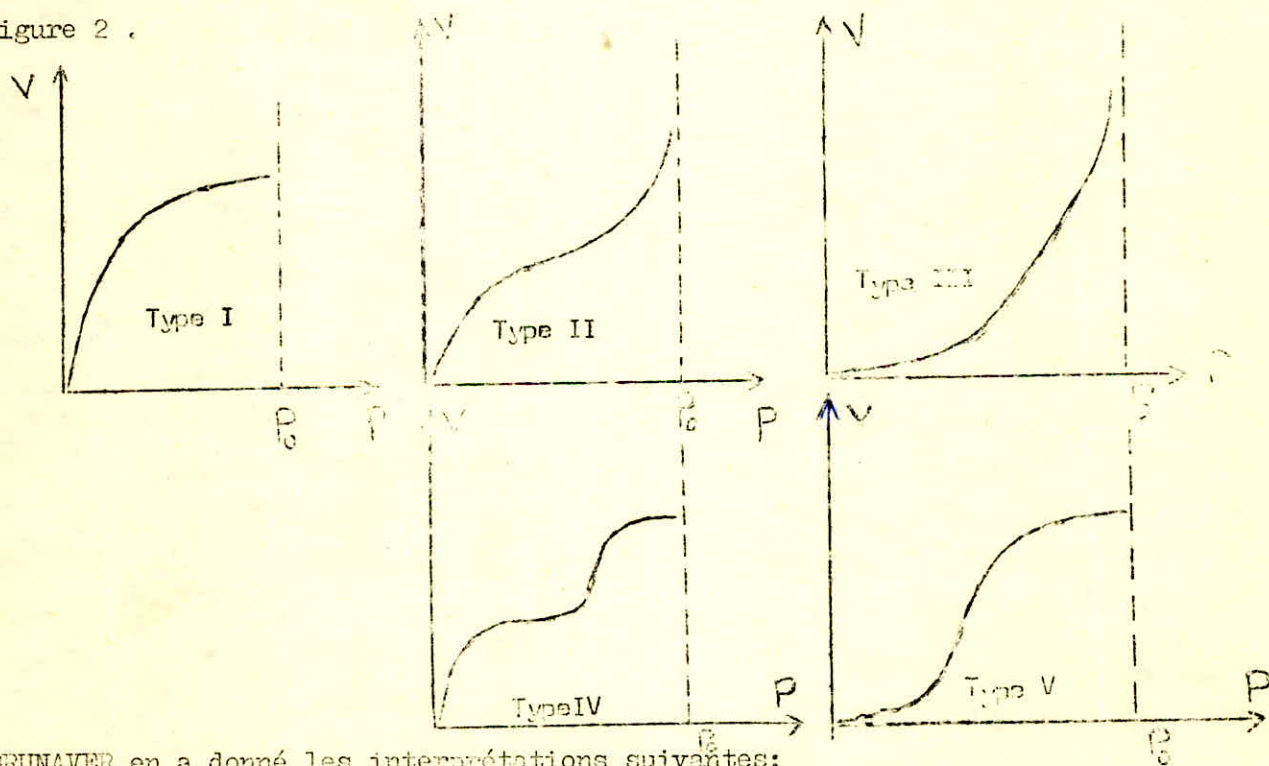
elle caractérise la force avec laquelle l'adsorbat est fixé sur l'adsorbant. Si un corps A présente vis à vis du charbon actif une intensité d'adsorption plus grande que le corps B, A sera capable de déplacer B. si tous les deux ont la même intensité il n'y aura pas de déplacement de l'un par l'autre . (5).

ETUDE THEORIQUE DES ISOTHERMES :

II - 1 Classification des isothermes :

Les courbes d'adsorption isotherme sont le plus souvent utilisées pour représenter ce phénomène; elles indiquent le volume de gaz ou vapeur adsorbé par gramme d'adsorbant en fonction de la pression partielle (concentration) à température constante. données les équilibres d'adsorption peuvent encore être exprimés d'autre façon, c'est ainsi que les courbes isobares représentent la quantité de gaz ou vapeur adsorbée en fonction de la température pour une pression partielle constante donnée, ^{quand deux courbes} les isostères d'adsorption, elles donnent la variation de la pression partielle d'équilibre en fonction de la température pour une quantité constante de gaz ou vapeur adsorbée.

Les isothermes d'adsorption s'apparentent à l'un des cinq types représentés sur la figure 2 .



BRUNAUER en a donné les interprétations suivantes:

au type I (isotherme de Langmuir) se rattachent les cas dans lesquels l'adsorbant se recouvre au maximum d'une couche monomoléculaire d'adsorbé.

les isothermes du type II (isothermes en S) se rencontrent lorsque l'attraction par l'adsorbant est supérieure aux attractions mutuelles entre molécules.

Dans ce cas les molécules se rassemblent à la surface pour former des pellicules dont l'épaisseur augmente lorsque la pression d'équilibre approche la tension de vapeur saturante. L'adsorbant est recouvert de plusieurs couches de molécules d'adsorbé.

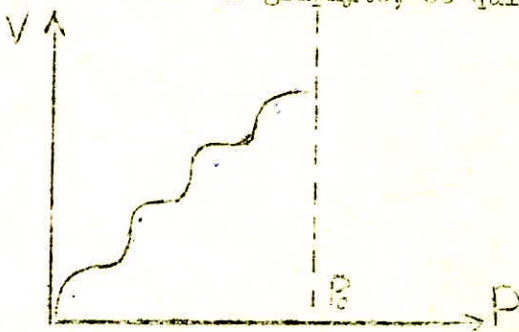
Les isothermes du type III représentent les phénomènes d'adsorption dans lesquels l'attraction entre l'adsorbant et les molécules adsorbées est faible mais suffisante pour accroître la tendance des molécules à s'agréger sur la surface.

Les isothermes des types IV et V caractérisent bien la présence de pores et capillaires dans l'adsorbant. Les parties inférieures de ces courbes sont analogues à celles des types II et III et ceci pour les mêmes raisons, mais leur parties supérieures pourraient s'expliquer par le remplissage des capillaires, qui est terminé à pression inférieure, à la pression saturante, par suite des forces d'attraction très développées régnant dans ces capillaires et qui provoquent une condensation rapide de l'adsorbé.

Les cinq types de courbes peuvent être obtenus avec un même adsorbé, le facteur variable étant la structure physique de l'adsorbant. (6).

Mais tout récemment, SING, DUVAL et THOMY ont décrit une étude d'adsorption des gaz rares et de méthane sur une surface uniforme de graphite, ce qui portera le nombre d'isothermes à six. (2)

Type VI .



III - 2 - RELATION MATHÉMATIQUES POUR LES DIFFÉRENTS ISOTHERMES :

De nombreux chercheurs ont essayé d'établir des équations pour les différents types d'isothermes.

III - 2 - A - THÉORIE DE LANGMUIR.

Langmuir a établi une relation mathématique pour l'isotherme du type I, reliant la quantité adsorbée d'une substance par unité de masse d'adsorbant et la concentration de l'adsorbé et ce en se reposant sur les hypothèses suivantes :

- 1) l'adsorption se produit sur des centres d'adsorption déterminés dont on ne connaît pas la nature physique. Chaque site ne peut fixer qu'une molécule et une seule.
- 2) La surface est supposée "énergétiquement" uniforme". C'est-à-dire que la surface ne contient qu'une seule sorte déterminée de sites d'adsorption ayant une même chaleur d'adsorption.
- 3) Pas d'interaction entre les molécules adsorbées. Le lien d'une molécule donnée avec un site donnée ne dépend pas de la présence ou de l'absence des molécules sur les centres voisins.

Il est conditionné par la nature de la molécule et le nature du centre.

WOLKEINSTEIN pour sa part, a introduit des hypothèses supplémentaires.

- 1) le nombre de sites est une constante donnée caractéristique d'une surface donnée. Le nombre total de sites ne change pas avec la température et ne dépend pas du taux de recouvrement de la surface.

b) Chaque site peut se lier à chaque molécule d'une seule façon, de sorte que l'énergie de liaison présente une valeur caractéristique d'un site donné pour une molécule donnée.

En se basant sur ces hypothèses on peut démontrer l'équation de LANGMUIR cinétiquement.

Soit θ la fraction de surface recouverte .

$1 - \theta$ la fraction de surface libre .

A l'équilibre, les vitesses d'adsorption sont égales donc

$$k_a (1 - \theta)C = k_d \theta$$

Avec k_a et k_d constantes de proportionnalités d'adsorption et de désorption .

Après transformation on obtient $\theta = \frac{b C}{1 + b C}$ avec $b = k_a / k_d$

Cette équation est valable pour la physisorption et la chimisorption . D'une manière générale

$$\theta = \frac{m}{m_0} = \frac{b C}{1 + b C} \quad (1)$$

m_0 : masse du soluté fixé quand toute la surface du solide est recouverte .

II -A- 1- Domaine d'application de l'équation de LANGMUIR :

a) Pour des concentrations faibles, l'équation se réduit à $(x/m) = m_0 b C$ qui est assimilable à la loi de HENRY .

b) Aux concentrations élevées $(x/m) = m_0$.

c) Pour des concentrations intermédiaires, l'équation se réduit à $(x/m) = m_0 b C^{1/n}$ qui est assimilable à l'équation de FREUNDLICH .

Ces trois cas se résument dans la figure suivante .

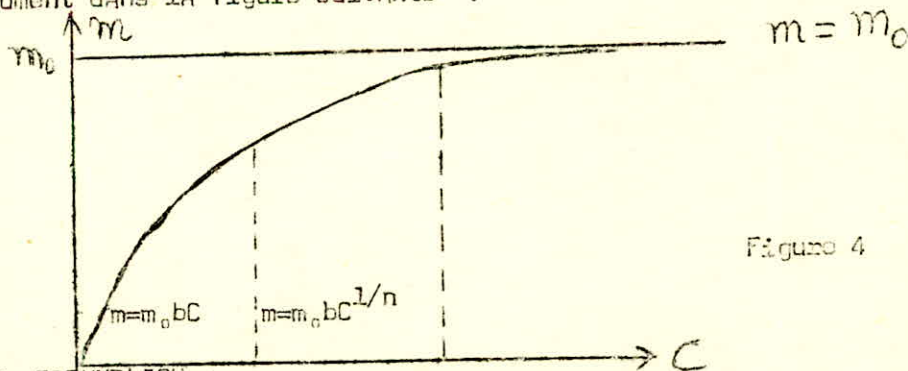


Figure 4

II -2- B - Equation de FREUNDLICH :

On peut représenter ce type de courbe à l'aide de la formule empirique suivant . $x/m = K C^n$ (2)

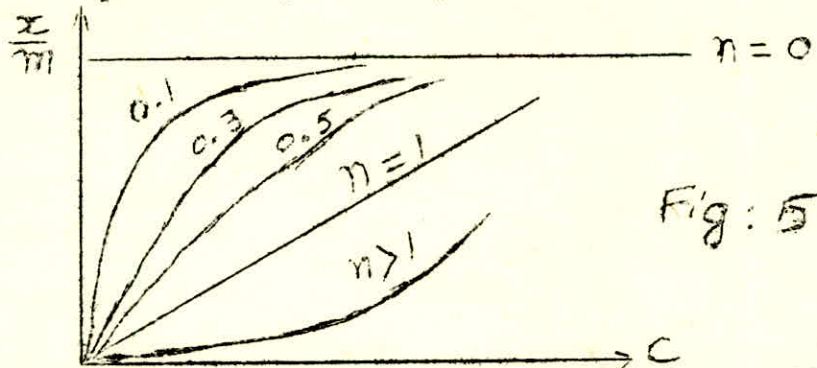
Avec x : quantité de liquide adsorbée (en g) sur m grammes de solide .

C : concentration de l'adsorbat après l'équilibre .

K et n des constantes expérimentales positives, fonction de la température et la nature de l'adsorbat et de l'adsorbant . Cette relation, proposée par BOEDECKER en (1859) et par KUSTER (1894) est généralement appelée équation de FREUNDLICH (1909) . n est souvent compris entre 0.3 et 0.5 .

Théoriquement, en portant $\log(x/m)$ en fonction de $\log C$, on devrait obtenir une droite

En pratique, aux concentrations élevées et souvent aux basses concentrations, il se manifeste des écarts toute fois, l'équation de FREUNDLICH représente assez bien la physisorption et même la chimisorption sur de nombreux solides l'adsorption est d'autant plus forte que N est petit.



Cette théorie repose sur le fait que la chaleur d'adsorption diminue linéairement avec la surface du solide occupée. (2)

On peut avoir d'autres équations qui peuvent répondre aux isothermes d'adsorption du type I.

on a la théorie de Henry qui est valable pour les concentrations faible, elle est la forme $\frac{x}{m} = kc$ (3)

on a aussi la théorie de TEMKIN, la formule proposée est $\frac{x}{m} = \frac{1}{a} \log (dc)$ (4) avec a et d des constantes.

Mais aucune de ces formules ne traduisent pas exactement le type d'adsorption. Ces formules ont été proposée dans le but de se rapprocher de la réalité .

/// - 2 - C - THEORIE DE BRUNAUER, EMMETT ET TELLER.

Pour expliquer la forme des isothermes en S, B.E.T ont développé une théorie basée sur l'hypothèse que l'adsorbant se recouvre de couche multimoléculaires sur la couche primaire postulée par LANGMUIR et ont proposé l'équation suivante: $V = \frac{V_m c \cdot x}{(1-x)} \left[\frac{1 - (n+1) X + nx}{1 + (c-1) x - cx} \right]^{n+1}$ (5) Dans laquelle V est le volume total d'adsorbé.

n: le nombre de couches moléculaires d'adsorbé

Vm le volume de gaz(ou liquide) nécessaire pour recouvrir l'adsorbant d'une couche monomoléculaire.

et $X = \frac{P}{P_0}$; P était la pression d'équilibre et P₀, la pression saturante de l'adsorbé.

On remarque que si $n=1$, cette équation se réduit à (6)

$$P/V = P/V_m + \frac{P}{C V_m} \quad (6)$$

C : Constante .

Cette théorie de l'équation reste toujours utilisée certes dans un domaine étroit de pression (0.05 à 0.35) . (2)

On peut écrire l'isotherme du B.E.T. sous la forme

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{I}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_0} \quad (7)$$

En portant $\frac{P}{V(P_0 - P)}$ en fonction de P/P_0 , on peut déterminer V_m et C . (2) .

CHAPITRE III

LES CHARBONS ACTIFS .

-III- I GENERALITES :

Par charbons actifs, on désigne des charbons ayant subi un traitement d'activation qui leur confère une grande porosité fine, dont un pouvoir adsorbant .

Le charbon actif présente la particulatité par rapport aux autres adsorbants couramment utilisés dans l'industrie, gel de silice, Alumine activée, tamis moléculaire, de mal adsorber l'eau dans certaines conditions et d'avoir une capacité d'adsorption très favorable,

Pour la majorité des produits organiques . D'où son emploi dans la récupération de ces produits .

Selon le mode d'utilisation auquel ils sont destinés, les charbons actifs sont présentés sous des formes différentes :

- poudre pour le traitement des liquides par mélange.
- granulés, filés ou concassés, pour le traitement des liquides et des gaz par percolation, en lit fixe, mobile ou fluidisé .

- III- 2°- FABRICATION DES CHARBONS ACTIFS.

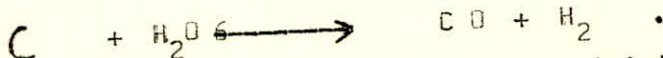
L'élaboration des charbons actifs peut être faite à partir de diverses matières premières telles que :

- Bois, coques de noix de Coco, tourbe, charbon minéral .
- La matière première est carbonisée à des températures relativement basses (600° c) (19) puis activée par oxydation ménagée en présence d'air de gaz carbonique, de vapeur d'eau ou d'acide nitrique.

La carbonisation permet d'éliminer les matières volatiles afin de ne conserver qu'une squelette carbonée, alors que l'activation proprement dite permet de développer la structure poreuse. Il faut remarquer que les traitements thermiques peuvent créer des pores mais de grands diamètres ces procédés d'activation des charbons actifs se rattachent à l'un des deux catégories : activation chimique et activation par les gaz .

Dans l'activation chimique, la matière première est chauffée vers 800 °c sans carbonisation préalable et en présence d'un agent oxydant ou deshydratant, on utilise surtout les chlorure de zinc, de calcium, l'acide sulfurique, l'acide phosphorique et le sulfate de potassium. Cette méthode qui a l'inconvénient d'introduire des impuretés dans les produits préparés est de moins en moins utilisée.

Dans l'activation par les gaz, le cas le plus général utilise l'activation de vapeur d'eau à température élevée sur du charbon; une réaction analogue à celle de la formation du gaz à l'eau.



entraîne une combustion du charbon, notamment interne, lui communiquant une grande porosité.

Cette étape se fait généralement à 900 °C . La Structure obtenue est très poreuse.

.../...

C'est le phénomène physique par lequel un solide fixe les molécules d'un corps sur sa surface, par surface il faut entendre non seulement la surface externe mais surtout la surface interne des pores de ce solide.

Le Diamètre moyen des pores des charbons actifs est de l'ordre de 15 à 20 Å, du fait de ce faible diamètre et du grand nombre de pores, la surface interne est élevée, de 800 à 1500 M²/g.

-III- 3- CAPACITE D'ADSORPTION :

Une autre caractéristique importante du charbon est sa granulométrie le liquide (ou gaz) à épurer doit traverser la masse de charbon: le choix de la taille des grains est un compromis entre le désir d'assurer un bon contact entre le charbon et le liquide, ce qui demande une granulométrie fine et de permettre le passage du liquide avec le minimum de perte de charge.

Les produits filés cylindriques de 3 à 5 mm sont en bon choix en récupération de solvants en raison de la perte de charge, plus favorable que celle des produits concassés.

La possibilité, pour le charbon actif, de retenir des produits volatils résulte de l'adsorption qui dépend de sa surface spécifique et de la condensation capillaire, fonction des volumes et diamètres des pores créés dans le charbon par l'activation.

La capacité d'adsorption est liée à plusieurs facteurs dont les principaux sont les suivants :

la concentration du liquide: plus elle est élevée, plus la capacité est grande.

la Température: plus elle est élevée plus la capacité diminue.

la Vitesse de passage ou temps de contact: Si elle augmente le front d'adsorption s'étire et le taux de chargement à rupture diminue.

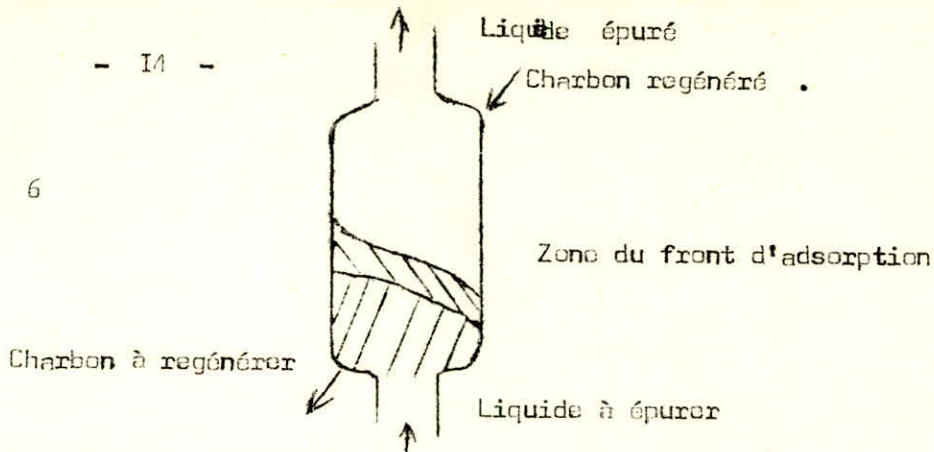
III- 4 REGENERATION DU CHARBON ACTIF.

Lorsque le charbon actif est épuisé, il peut être récupéré et régénéré en tenant compte des impuretés qu'il contient, le procédé normale s'effectue dans un four à 900 °C environ avec apport de vapeur on a aussi d'autres méthodes de régénération, lavage sodique par exemple

Enfin il est possible d'opérer un lit mobile, on utilise un adsorbant duquel on élimine périodiquement une certaine quantité de charbon Actif du côté d'arrivée du liquide et on le remplace par une quantité équivalente du côté de la sortie. De la sorte, le front d'adsorption est pratiquement entre deux limites rapprochées.

Ce procédé permet d'opérer avec un seul adsorbant, en continu avec le taux de chargement maximal et en régénérant périodiquement le charbon actif VOIR FIG 6.

FIG : 6



L'air ou les gaz chauds sont surtout utilisés pour la désorption de l'eau fixée par les adsorbants utilisés pour la dessiccation de l'air ou des gaz.

Dans le cas de désorption par la vapeur d'eau, l'adsorbant est séché par un courant de gaz chaud et ensuite refroidi avant d'être utilisé, la vapeur d'eau permet une désorption plus complète et plus rapide.

Du point de vue économique, on n'a pas intérêt, le plus souvent à desorber complètement l'adsorbant, en effet si au début une faible quantité de fluide régénérant expulse une forte proportion d'adsorbat, il n'en est plus de même enfin d'opération et l'élimination totale de l'adsorbat entraînerait une consommation excessive d'air chaud, de gaz chaud ou de vapeur suivant le type de substance à désorber, ce qui augmenterait le prix de revient de cette désorption.

III- 5 - APPLICATIONS DE L'ADSORPTION:

L'Adsorption offre à l'industrie chimique toute une gamme de possibilités nouvelles et des solutions éprouvées pour résoudre les problèmes spécifiques à cette industrie.

En pratique elle est utilisée dans les cas suivants :

- séchage
- Traitement des huiles
- traitements des gazs
- industries textiles
- Traitements des Eaux
- Décoloration par le noir animal.
- Utilisation dans la tensiture.

Le charbon actif est utilisé dans plusieurs cas :

Adsorbants	usages .
<u>Charbon Actifs :</u>	
-Charbons décolorants:	Décoloration et raffinage des sucres, décoloration huiles et graisses végétales, purification et produits alimentaires et pharmaceutiques, décoloration et purification de substances diverses inorganiques ou organiques, purification de l'eau, purification des solvants pour nettoyage à sec, récupération de métaux précieux.

.../...

-Charbons adsorbants	Récupération des solvants, dégazolinage, désodorisation purification des gaz industriels, fractionnement des gaz et des liquides, protection contre les gaz ou vapeurs toxiques, piles à dépolariation par l'air, catalyse.
-Charbons médicaux	Elimination des bactéries et des toxiques, addition aux aliments pour le bétail.

:
:
:
:
:

IV - 1 - INTRODUCTION: Il faut faire une différence entre l'adsorption statique et l'adsorption dynamique.

- l'adsorption statique est effectuée dans un espace clos dans lequel est introduit l'adsorbant, par exemple on a l'adsorption d'eau dans les emballages afin de protéger les matériels ou substances contre l'action néfaste de l'humidité: corrosion, moisissure ect....

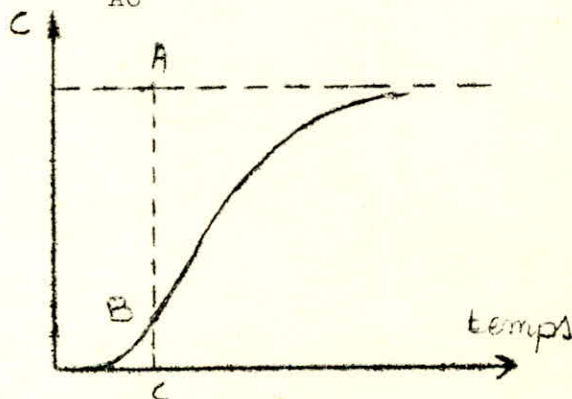
- Dans l'adsorption dynamique: on fait le gaz ou la vapeur (ou liquide à traverser le lit d'adsorbant).

Lorsque le mélange est liquide, l'opération prend le nom de percolation.

Dans cette adsorption dynamique, l'équilibre est rarement atteint et l'on doit considérer non seulement la quantité d'adsorbant fixée par l'adsorbant, mais aussi l'efficacité d'adsorption.

Cette efficacité est donnée par le rapport de la quantité adsorbée à la quantité d'adsorbant présent dans le fluide avant traitement = $\frac{AB}{AC}$ (voir figure 7) (9)

fig:7



Cette adsorption se divise en deux opérations.

- a) Opération en discontinu
- b) Opération en continue

Chaque opération peut être réalisée dans un adsorbant avec une couche fixe ou fluidité dans chaque cas ou plusieurs exemples.

Dans le cas de l'adsorption dynamique en continue, on a par exemple un traitement à contre courant qui peut être réalisé par un lit fluidisé (voir figure 8).

Cette adsorption se fait par étage.

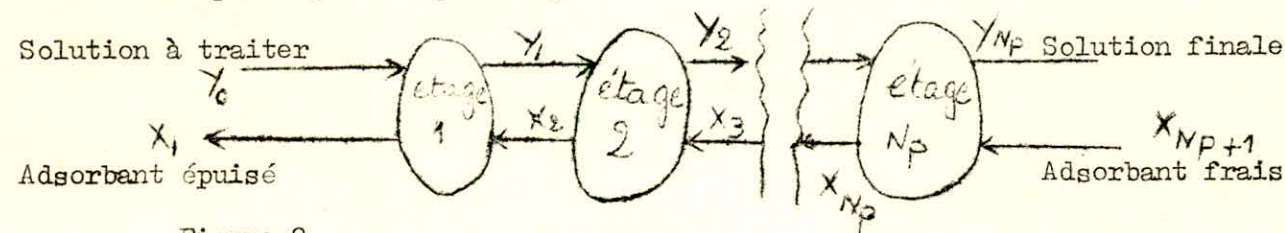


Figure 8

IV-2- Adsorption en lit fixe:

La façon la plus courante d'effectuer une opération d'adsorption consiste à faire passer le mélange fluide sur un lit fixe d'adsorbant elle se déroule de manière semi-continue et cyclique.

Chaque cycle comprend essentiellement :

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

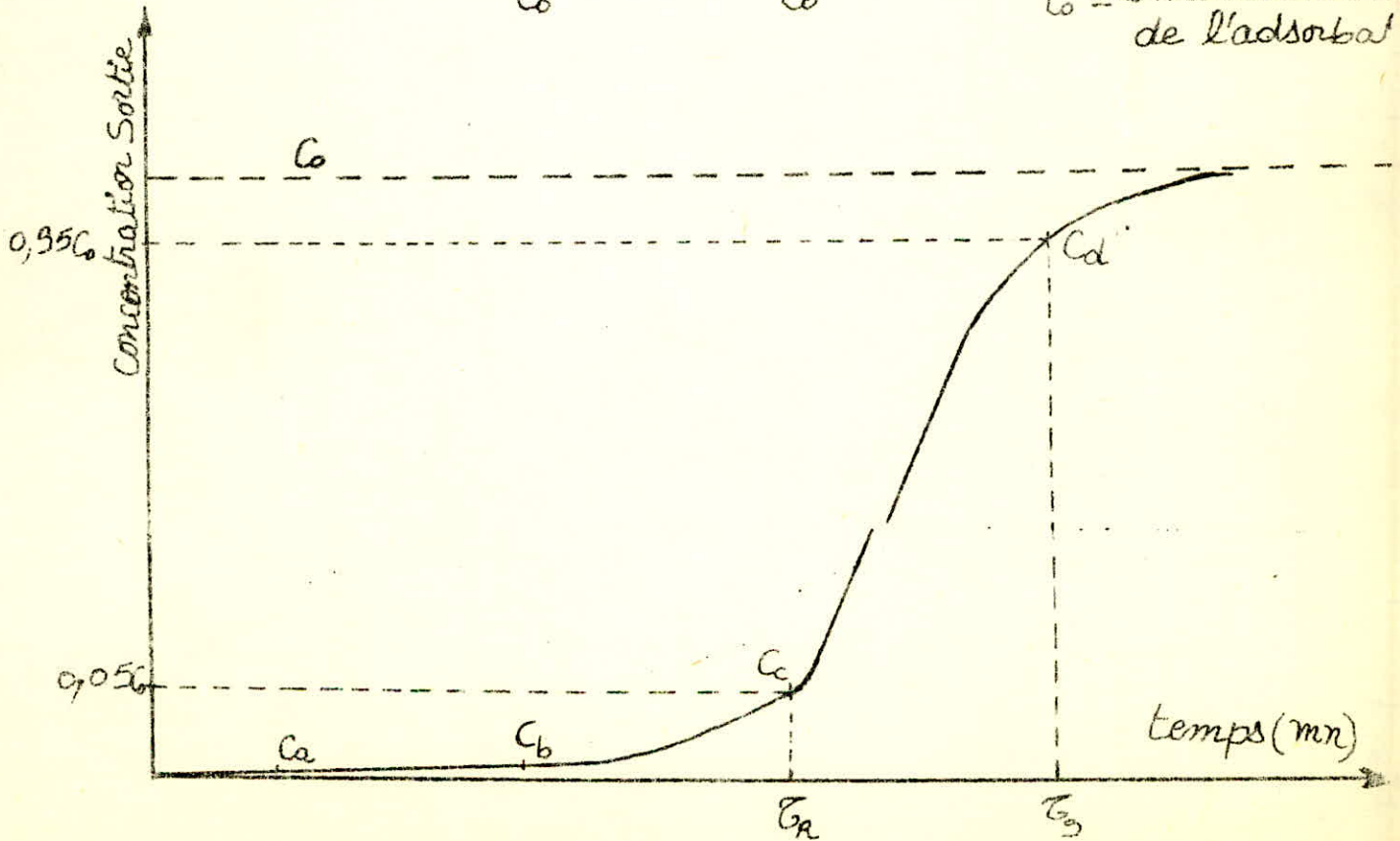
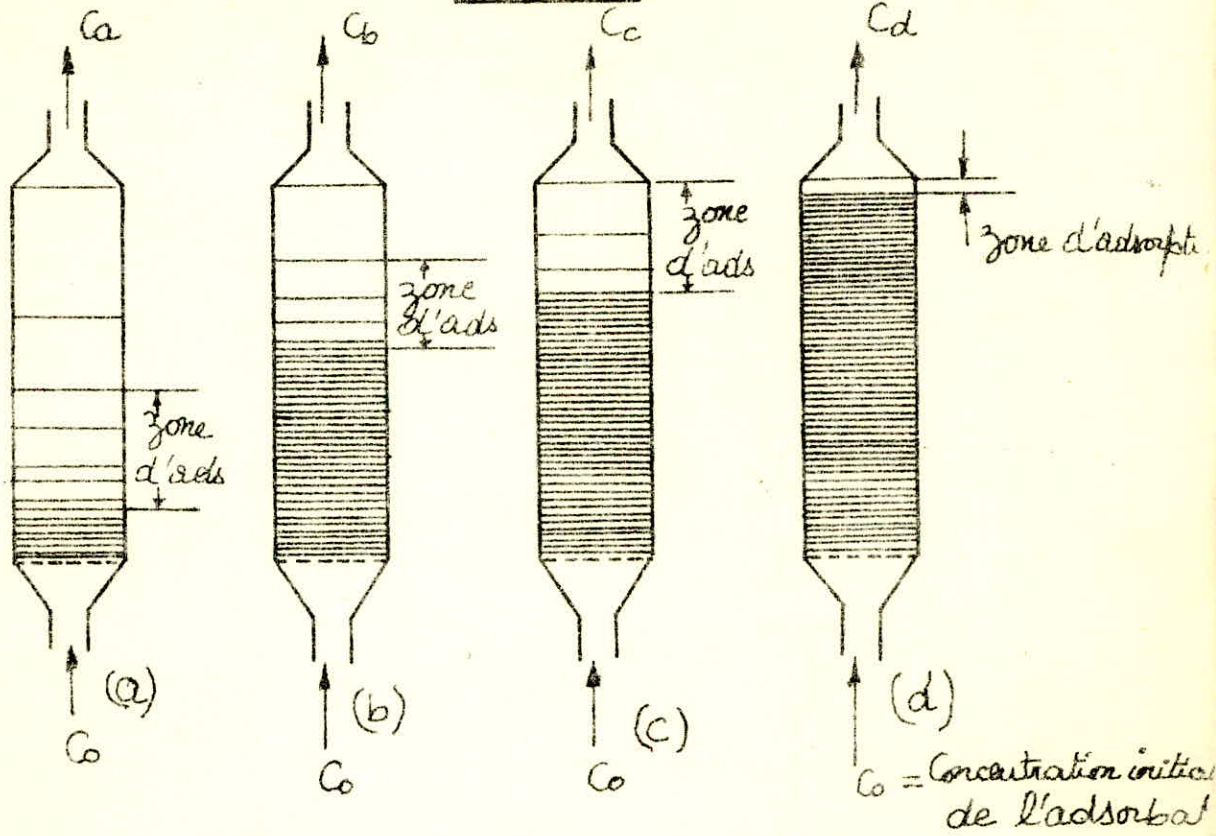
IV-2-1- Evolution des concentrations dans un lit fixe:

Examinons d'abord comment évoluent les concentrations dans un lit fixe au cours de l'adsorption.

Soit un adsorbant qui a une hauteur du lit H et on à traiter une solution liquide de concentration initiale C_0 .

La figure 9 montre quatre étapes successive de l'opération, la figure 9.a correspond

figure 9



à un instant où peut de fluide a encore pénétré dans la colonne. La première couche du bras de l'adsorbant reçoit un mélange à la concentration initiale C_0 , les couches suivantes reçoivent un mélange appauvri par l'adsorption dans les couches précédentes par suite, la concentration du fluide diminue quand on s'éloigne de l'entrée.

La première couche se met rapidement en équilibre avec la charge et par suite sa concentration ne variera plus à une certaine distance de l'entrée, le fluide ne contient que des traces de soluté c'est à dire qu'il est pratiquement débarrassé de soluté $C_a=0$

A un instant voisin de l'état précédente (voir figure 9-b), les couches du bras du lit commence à se saturer progressivement et la concentration à la sortie du lit $C_b = \xi$.

La figure 9-c correspond à l'instant T_R (temps de rupture) où la zone d'adsorption atteint l'extrémité de la colonne. A partir de ce moment le soluté commence à apparaître dans l'effluent. En pratique, ce temps de rupture est celui pour lequel la concentration dans l'effluent atteint une certaine valeur, petite, mais suffisante pour pouvoir être détectée par un appareil de mesure convenable ou par titrage. C'est vers ce moment qu'on arrête l'adsorption et qu'on passe à la désorption.

On admet que ce temps de rupture correspond à une concentration $C_c = 0,05 C_0$.

Toutfois, si on continue d'envoyer le fluide dans la colonne, tout l'adsorbant finit par être en équilibre avec la charge : le lit entier est saturé (voir figure 9d). Le temps au bout duquel la concentration de l'effluent est pratiquement égale à celle de la charge $C_d = 0,95 C_0$ est le temps de saturation T_s .

La variation de la concentration en fonction du temps est représenté aussi dans la figure 9. (10)

Entre le temps T_R et T_s la concentration varie brusquement.

Le diagramme obtenue est appelée "Courbe de réponse" ou courbe de rupture, dont la connaissance est indispensable pour le calcul d'un adsorbateur. Ce diagramme peut être aussi représenté par la concentration en fonction du volume écoulé.

Généralement les courbes de rupture ont une forme en S comme le montre la figure 9. Le mécanisme du procédé d'adsorption, la nature de l'équilibre d'adsorption, la vitesse du fluide, la concentration du soluté dans la charge et la longueur du lit particulièrement si la concentration du soluté dans la charge est haute, tous contribuent à la forme de la courbe produite pour n'importe quel système.

IV-2-2- Equation du SHILOV :

D'après la théorie contemporaine de l'adsorption dynamique on peut concevoir deux étapes.

1er- étape: formation de la zone d'adsorption ou du front d'adsorption pendant sur établissement la première couche se sature jusqu'à équilibre.

2° étape: déplacement de la zone d'adsorption conformément au sens de l'écoulement.

On distingue trois cas de déplacement de la zone d'adsorption (H_a)

1er- cas : Déplacement parallèle. C'est à dire que la hauteur H_a de la zone d'adsorption est constante.

$$\frac{dH_a}{dz} = 0 \quad (8)$$

2° cas: Elargissement de la zone d'adsorption.

$$\frac{dH_a}{dz} > 0 \quad (9)$$

3°-cas: Contraction du front d'adsorption.

$$\frac{dH_a}{dz} < 0 \quad (10)$$

Pratiquement, on rencontre plus souvent le cas où le déplacement du front d'adsorption est parallèle.

Dans ce cas, on utilise l'équation de Shilov qui pour un processus réel et de la forme.

$$\tau_R = \tau_0 + K(H - H_0) \quad (11)$$

avec τ_R : temps de rupture

τ_0 : temps nécessaire pour la saturation de la première couche.

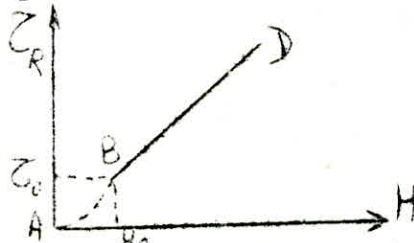
H_0 : hauteur de la couche, correspondant au temps τ_0

K : Coefficient.

On peut représenter l'équation 11 graphiquement.

Cette courbe se divise en deux portions (voir figure 10), la portion AB correspond à la formation de la zone d'adsorption tandis que BD correspond à l'équation de Shilov

FIGURE 10

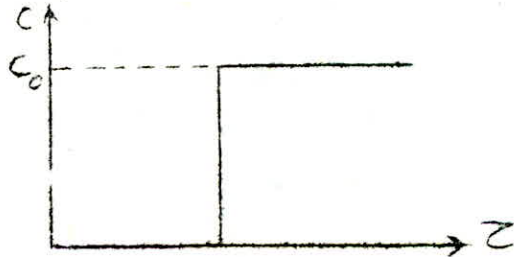


Pour un processus idéal la courbe AD sera une droite et l'équation 11 se réduit à la forme suivante.

$$\tau_R = KH \quad (12)$$

Pour ~~cas~~ un cas idéal on n'a pas de résistance de transfert de matière et la courbe de réponse a l'allure suivante (figure 11).

FIGURE 11



Détermination du coefficient K :

Théoriquement ce coefficient peut être calculé de la manière suivante: soit \dot{m} le débit massique du composant inerte [$\text{kg}_i \cdot \text{s}^{-1}$]

τ_R : le temps de rupture en seconde.

C_0 : la concentration initiale d'adsorbant à l'entrée de la colonne en ($\frac{\text{kg}}{\text{sa}} \cdot \frac{\text{kg}^{-1}}{\text{sc}}$)

H : la hauteur du lit d'adsorbant en (m)

A : la section droite du lit d'adsorbant en (m^2)

Et a^* la quantité adsorbée à l'équilibre par unité de volume d'adsorbant ($\text{kg}_{\text{adbat}}/\text{m}^3$)

Connaissant le temps de rupture et la concentration initiale on pourra déterminer la quantité d'adsorbant introduite dans la colonne. $m = \dot{m} \tau_R C_0$

la quantité adsorbée par l'adsorbant est $m_1 = A H a^*$

on sait que pour un processus idéal $m = m_1$ d'où on peut tirer une expression pour

le temps de rupture.
$$\tau_R = \frac{A a^*}{\dot{m} \cdot C_0} H \quad (13)$$

Par identification avec l'équation de Shilov relative au processus idéal nous avons

$$K = \frac{A a^*}{\dot{m} \cdot C_0} \quad (14)$$

$$K = A a^* / \dot{m} C_0$$

Dans le cas où a^* est exprimé en kg d'adsorbant par kg d'adsorbant on aura l'équation suivante :

$$K = \frac{\rho_A \cdot H \cdot a^*}{\rho_0 \cdot C_0}$$

Avec ρ_A : densité apparente de l'adsorbant en (kg/m³)

a^* est déterminé à partir de l'isotherme d'adsorption. Elle correspond à la concentration initiale.

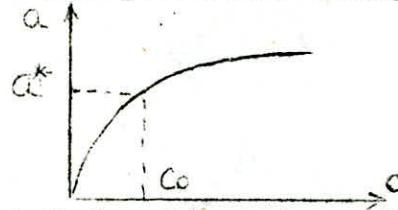


FIGURE 12

La vitesse linéaire de déplacement du front d'adsorption est donnée par l'inverse du coefficient K.

IV 2-3- Calcul de la hauteur de la zone d'adsorption:

en se basant sur les courbes de réponse on peut obtenir l'équation

$$H_a = \frac{\tau_s - \tau_R}{\tau_R + f(\tau_s - \tau_R)} \cdot H \quad (15)$$

H_a : hauteur de la zone d'adsorption.

τ_s : temps de saturation

τ_R : temps de rupture

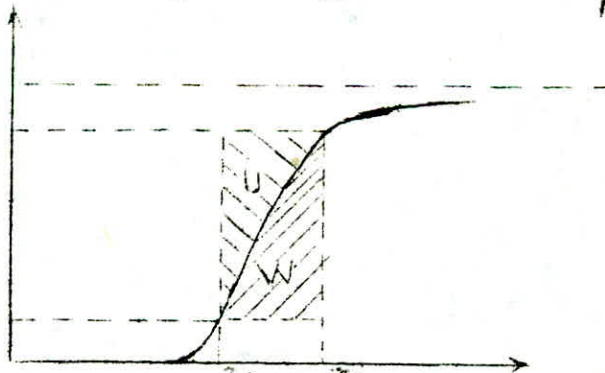
f : coefficient de symétrie des courbes de réponse.

H : hauteur du lit

ce coefficient de symétrie est donné par le rapport suivant

$$f = \frac{\int_{\tau_R}^{\tau_s} (C_0 - C) dz}{C_0 (\tau_s - \tau_R)}$$

FIGURE 13



D'une manière générale F est un rapport de surface ces surfaces seront calculées graphiquement.

$$f = \frac{U}{U+W}$$

On peut aussi déterminer le degré de saturation d'un lit

$$\text{degré de saturation} = \frac{H - f H_a}{H} \quad (17)$$

IV-2-4- Détermination de l'activité statige a_s :

Elle est définie comme étant la quantité adsorbée jusqu'au temps de saturation rapportée à la masse du solide.

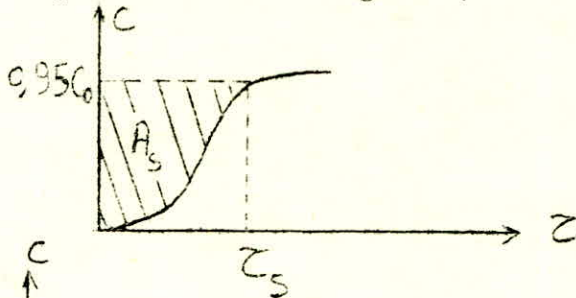
$$a_s = \frac{A_s}{m_a} \quad (18)$$

avec m_a : masse du lit.

tandis que A_s est donnée par l'aire représentée sur la figure 14

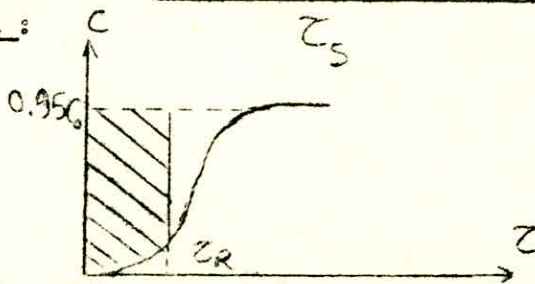
FIGURE 14

$$A_s = D \int_0^{z_s} (C_0 - C) dz \quad (19)$$



IV-2-5- Activité dynamique a_d :

FIGURE 15



L'activité dynamique est donnée par le rapport de la quantité adsorbée jusqu'au temps de rupture à la masse du lit .

$$a_d = \frac{A_R}{m_a} \quad (20)$$

La quantité adsorbée A_R est représentée sur la figure 15

$$A_R = D \int_0^{z_R} (C_0 - C) dz \quad (21)$$

On peut approximer la formule (21) à l'équation $A_R = DC_0 z_R$

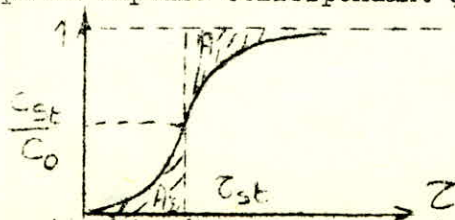
d'où

$$a_d = \frac{DC_0 z_R}{m_a} \quad (22)$$

IV-2-6- Détermination du temps stoechiométrique :

Théoriquement c'est le temps de rupture correspondant à un processus idéal.

FIGURE 16



On peut déterminer ce temps stoechiométrique par un simple calcul et ce à partir d'un bilan de matière.

$$D \cdot C_0 z_{st} = m_a \cdot C^* + V \cdot \epsilon \cdot C_0$$

Avec D : débit
 Co concentration à l'entrée
 a* quantité adsorbée à l'équilibre
 VL : volume du lit
 E : porosité du lit.
 d'où

en négligeant VL E Co devant ma*, l'expression devient

$$\tau_{st} = \frac{m a^*}{D C_0} \quad (23)$$

IV-2-7- Expression du temps de rupture conventionnel τ_{RC} :

Il est donné par la formule suivante :

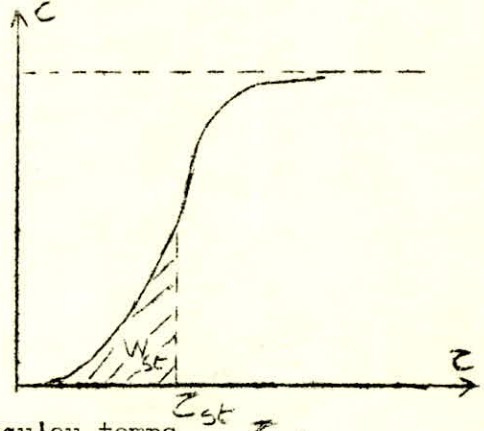
$$\tau_{RS} = \tau_{st} - \frac{2 W_{st}}{C_{st} D C_0} \quad (24)$$

W_{st}

s'obtient graphiquement.

$$W_{st} = D \int_0^{\tau_{st}} C d\tau \quad (25)$$

FIGURE 17



W_{st} représente la quantité d'adsorbant qui s'écoule jusqu'au temps τ_{st} . ce temps de rupture conventionnel peut être calculé d'une autre manière qui est la suivante:

- à partir de la formule (23) on calcul τ_{st}
- on réalise une expérience et juste au temps τ_{st} on déterminera la concentration de la solution, par cette méthode on va déterminer C_{st}
- on déterminera la concentration moyenne de la solution écoulé du temps initiale jusqu'au temps τ_{st} .

par cette méthode on déterminera la quantité d'adsorbant qui s'est écoulée (W_{st}), et en appliquant la formule (24) on obtiendra le temps de rupture conventionnel.

IV-2-8- Facteurs pratiques controlant l'adsorption dynamique :

La forme et l'étendue de la zone d'adsorption dépendant de nombreux facteurs dont la plupart peuvent être maintenus identiques dans une unité industrielle; ce sont :

- la nature et la structure de l'adsorbant.
- la taille des particules solides.
- la pression.
- la nature du fluide.
- la température.
- la concentration résiduelle de l'adsorbant au débit de l'adsorption.
- vitesse du fluide: Une augmentation du débit accélère l'elevation de température de l'adsorbant, et conduit à une rupture plus rapide, donc à une démunition de la capacité pratique de chargement.

V . - PARTIE EXPERIMENTALE .

V-1- Propriétés des produits chimiques utilisés :

V-1-1- Charbon actif granulé :

Forme des grain : cylindrique.

diamètre des grain = 1.2mm

hauteur des grain = 1.8 mm

Diamètre équivalent = 1.6 mm

Densité apparente = 0.430 g/cm³

Densité du solide = 0.680 g/cm³

Surface spécifique $s = 790 \text{ m}^2/\text{g}$

Volume total des pores = 0.93 cm³/g

Volume des micropores = 0.69 cm³/g

Rayon moyen des pores = 10 Å

V-1-2- Acide Acétique E.D.H. :

Densité à 20°C = 1.05 g/cm³

Purité = 99.5 %

Masse molaire = 60.05 g .

V-2- Préparation des solutions :

Connaissant la densité de l'Acide Acétique et sa masse molaire , on calcule le volume nécessaire d'acide acétique pure pour préparer une solution à une concentration voulue .

A l'aide d'un éprouvette on introduit le volume nécessaire dans une fiole et ensuite on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de la fiole . La solution obtenue sera agitée afin d'obtenir une solution homogène .

pour des solutions à faibles concentrations , elles s'obtiennent par dilutions successives, c'est à dire , par exemple, on prend 100 ml de la solution précédente et on complète à 1000 ml avec de l'eau distillée .

Pour doser les échantillons , on doit préparer des solutions de soude à différentes concentrations légèrement inférieurs aux concentrations des solutions d'acide . On a préparé les solutions suivantes (10^{-1} ; 10^{-3} ; 10^{-2} ; 0.05 ; 1 N)

On a choisi la solution de soude 1 N qui se prépare de la manière suivante :

On pèse une masse convenable de soude caustique (40g) que l'on dissout dans une fiole jaugée de un litre d'eau distillée. Les autres solutions s'obtiennent par dilution successives .

V -3- Mode opératoire pour obtenir l'isotherme d'adsorption :

On se dispose d'un bain thermostaté qui est réglé à une température de 30°C . Une fois que cette température est atteinte , on prépare plusieurs erlens à différentes concentrations d'Acide et on les introduit dans le bain . Dans d'autres erlens on introduit 3 g de charbon actif qui seront introduits à leurs tour dans le Bain .

Une fois que la température est la meme (30°C) dans tous les erlens on verse la quantité de charbon dans les erlens d'acides .

De temps en temps on agite afin d'homogénéiser le milieu et l'adsorption .

Le contact durera environ 45 mn .

Une fois que ce temps est écoulé ,on sépare l'acide acétique du charbon .

Ensuite on prélève des échantillon d'Acide pour les doser et déterminer leurs concentration après l'adsorption .

Pour connaître la quantité adsorbée il faut voir l'interprétation des résultats .

V- ~~34~~ 4-Téchnique d'analyse :

En pratique ,on adifférentes techniques pour analyser une solution .

Dosage chimique : C'est un procédé facile qui ne demande pas beaucoup de matériel . Il est couramment utilisé , et donne des bons résultats .

La méthode consiste à faire un prélèvement de volume du soluté que l'on dose avec une base (soude) de concentration connue . pour déterminer la normalité du soluté , on applique la formule

$$\underline{\underline{N_1 V_1 = N_2 V_2}}$$

Réfractométrie :

C'est un procédé qui nécessite un réfractomètre ; c'est une méthode qui consiste à mesurer l'indice de réfraction de chaque échantillon .

Avant de faire ce travail il faut étalonner le réfractomètre avec des concentration bien déterminées .

Chromatographie : Cette technique nécessite l'utilisation d'une colonne " chromosorb " IOI , de diamètre intérieur 1/8 de pouce et de longueur de 2 m , dans laquelle on injecte un volume constant de solution .

Parmi les techniques cités on a utilisé uniquement la première , car la deuxième à été utilisée dans d'autre projet de fin d'étude et on a constaté qu'elle ne donne pas des bons résultats , surtout pour des faibles concentrations .

pour le dosage chimique , on a constaté qu'il donne des bons résultats même pour des faibles concentrations d'acide , mais il faut manipuler avec précaution , car une goutte peut détériorer les résultats surtout pour les solutions diluées .

V_ 5 - MODE opératoire pour obtenir les courbes de réponses :

On prépare une solution d'acide acétique à $C_p = 0.515$ mole /l ensuite on verse cette solution dans le bac d'alimentation . (voir Schéma de l'installation page.) .

on branche le bloc régulateur au réseau électrique . Il est relié à deux résistances et à un thermo-contact .

L'agitateur est branché au réseau électrique afin d'homogénéiser la solution .

Le thermo-contact nous permet de fixer la température de la solution du bain

Une fois que cette température est atteinte (30°C) , la lampe rouge fixée sur le régulateur s'éteint . Dès que l'extinction a lieu on débranche la résistance

moteur et on laisse que la résistance qui permet de régler la température .

On se dispose d'un thermomètre afin de vérifier la température du bac .

Un fois que cela est fait , on choisit une colonne de hauteur H et on la remplit de charbon actif granulé après l'avoir pesé .

- On ouvre la vanne du bac d'alimentation .
- On règle le débit désiré à du débitmètre .
- On met la pompe en marche afin de faire circuler le liquide .

Le liquide traversera la colonne et dès la sortie de la première goutte de la colonne on débranche le chronomètre .

- Entre temps on a préparé des erlens .
- On récupère plusieurs échantillons au court du temps .

La durée de récupération de chaque échantillon dure trente secondes . Ils sont aussi pris à des intervalles de temps (2 à 3 seconde) qui dépendent du débit .

- On déterminera la concentration de chaque échantillon en prenant un certain volume V et on le titre par de la soude .

Ces opérations seront répétées pour trois débits différents pour une même hauteur

De temps en temps on vérifie la concentration de l'échantillon récupéré et si on trouve les 98 ou 99% de la concentration initiale on arrête l'expérience .

- Dans la fin de notre travail , on fait régénérer une première fois le charbon actif usé et on refait les mêmes opérations qu'au paravant .
- on fait une deuxième régénération afin de voir si les caractéristiques du

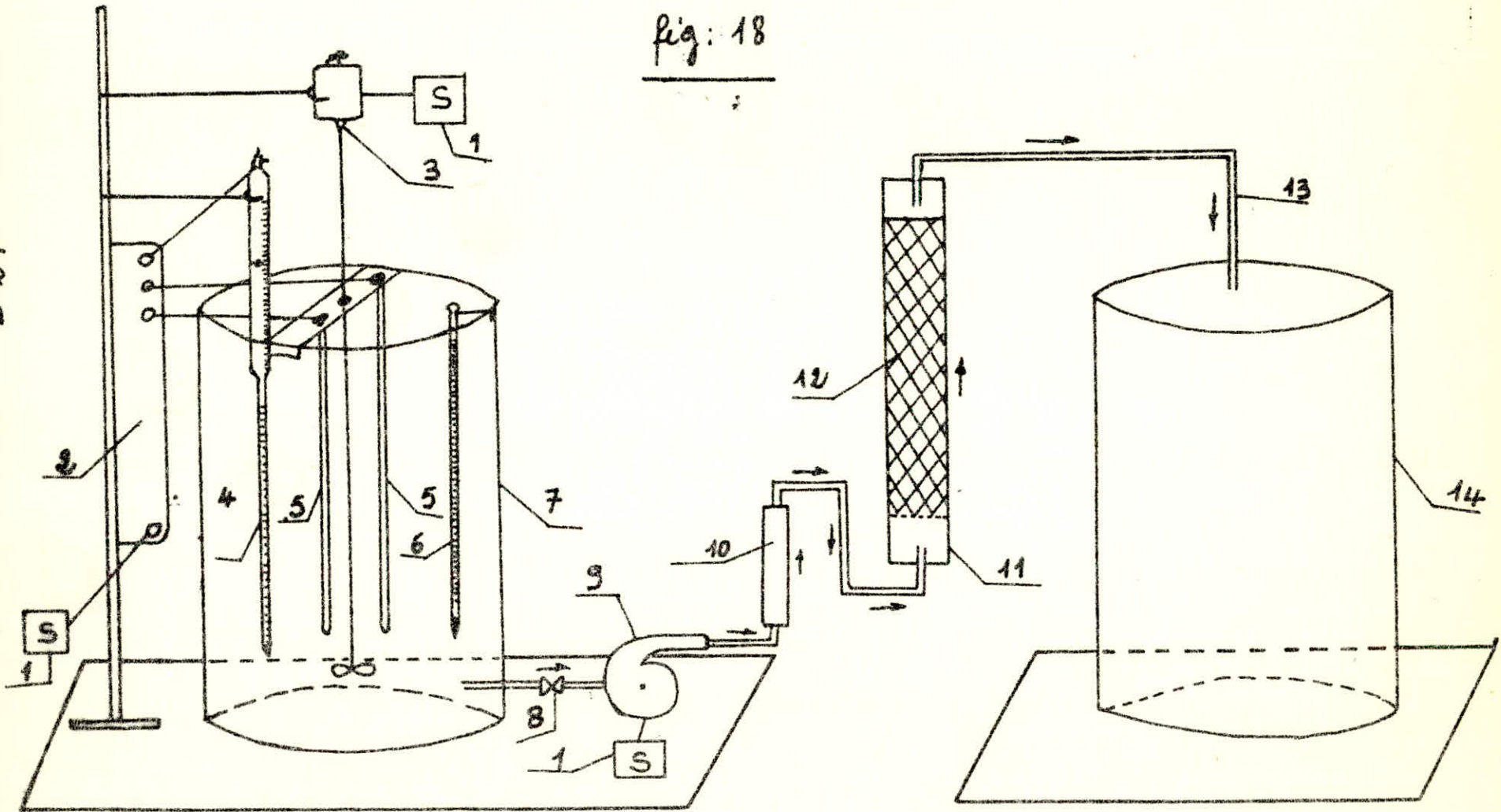
du charbon varie ou non avec le nombre de régénération .

Pour la régénération du charbon ; on fait le bouillir dans de l'eau distillée pendant une durée de 3 à 4 heures , puis le faire sécher dans l'étuve sous une température de 110°C durant 48 heures .

Enfin on le met dans un dessiccateur .

SCHEMA DE L'INSTALLATION

fig: 18



- 27 -

Notre montage comprend :

- I - SOURCE ELECTRIQUE
- 2 - BLOC REGULATEUR
- 3 - AGITATEUR .
- 4 - THERMO - CONTACT .
- 5 - RESISTANCES CHAUFFANTES
- 6 - THERMOMETRE .
- 7 - BAC D'ALIMENTATION
- 8 - VANNE .
- 9 - POMPE .
- 10 - DEBITMETRE .
- II - COLONNE D'ADSORPTION .
- I 2 - LIT
- 13 6 RECUPERATION DE L' ECHANTILLON .
- 14 - BAC DE RECETTE .

N.B. La colonne d'adsorption a un diamètre de 16.5 mm .

V - 6- RESULTATS EXPERIMENTAUX .

~~666~~

TABLEAU I : Resultat de l'isotherme d'adsorption à T=30°C
 3g de charbon en contact avec 80 ml d'une solution d'acide
 Acétique . Temps de contact =45mn .

C (mole.l ⁻¹)	C_0 (mole.l ⁻¹)	x (g)	x/m (g/g)
0,018	0,0310	0,050	0,019
0,039	0,062	0,110	0,037
0,117	0,156	0,187	0,062
0,142	0,187	0,216	0,072
0,168	0,219	0,245	0,082
0,197	0,250	0,255	0,085
0,254	0,312	0,279	0,093
0,281	0,344	0,303	0,101
0,370	0,437	0,322	0,107
0,430	0,500	0,336	0,112
0,530	0,610	0,384	0,128
0,677	0,760	0,399	0,133
0,923	1,020	0,466	0,155
1,430	1,530	0,480	0,160
1,920	2,030	0,520	0,176
2,430	2,540	0,520	0,176
2,940	3,050	0,520	0,176
3,450	3,560	0,520	0,176
3,955	4,070	0,552	0,184

- 31 -

TABLEAU II Résultats expérimentaux de la courbe de réponse
à T = 30°C ; D = 3,5 ml . mn-I
Concentration d'entrée = 0,515 mole. l-I
Hauteur du lit = 40 Cm
Masse du lit = 36,631 g

Z (Mn)	C (mole.l-I)	Z (Mn)	C (Mole ^l -I)
2	10-4	50	0,3400
4	0,00020	53	0,3680
6	0,0002	56	0,3867
8	0,0003	59	0,3950
10	0,0003	62	0,4171
12	0,0003	65	0,4333
14	0,0003	68	0,4400
16	0,0004	71	0,4467
18	0,0007	74	0,4628
20	0,0007	77	0,4743
23	0,0034	80	0,4800
26	0,0091	83	0,4800
29	0,0254	86	0,4800
32	0,0595	89	0,4825
35	0,1045	92	0,4900
38	0,1570	95	0,4900
41	0,2113	98	0,4950
44	0,2653	-	-
47	0,3020	-	-

TABLEAU III : Resultats de la courbe de réponse à T= 30°C

Hauteur du lit = 40cm ; masse du lit = 36,831 g

Débit = 7,5 mn⁻¹

Z (mn)	4	6	10	12	14	16	18
C (mole l ⁻¹)	0,0019	0,0071	0,0431	0,0700	0,1145	0,1575	0,1975
Z (mn)	20	23	26	29	32	35	38
C (mole l ⁻¹)	0,2300	0,2775	0,3225	0,3575	0,3800	0,3975	0,4275
Z (mn)	41	44	47	50	53	56	59
C (mole l ⁻¹)	0,4425	0,4550	0,4700	0,4750	0,4800	0,4925	0,4925
Z (mn)	62	65	68	71	80	-	-
C (mole l ⁻¹)	0,495	0,4975	0,4975	0,5025	0,5025	-	-

TABLEAU IV : Resultats de la courbe de réponse à T= 30°C

Hauteur du lit = 40 cm ; masse du lit = 36,831 g

Débit = 10 ml.mn⁻¹

Z (mn)	2	3	4	5	6	7	8	9
C (mole l ⁻¹)	0,0037	0,0102	0,0217	0,0347	0,0570	0,0810	0,1100	0,1420
Z (mn)	10	11	12	13	14	15	16	17
C (mole l ⁻¹)	0,1720	0,1960	0,2210	0,2437	0,2687	0,2888	0,3062	0,3212
Z (mn)	18	19	20	22	24	26	28	30
C (mole l ⁻¹)	0,3375	0,3525	0,3662	0,3850	0,4050	0,4200	0,4337	0,4475
Z (mn)	33	36	39	42	50	55	60	-
C (mole l ⁻¹)	0,4620	0,4737	0,4875	0,4900	0,4987	0,5050	0,5137	-

TABLEAU V : Résultats de la courbe de réponse à T = 30°C

Hauteur du lit = 80 cm .

Masse du lit = 73.662 g. Débit = 3.5 ml.min⁻¹

(mn) Z	C(mole.l ⁻¹)	Z(mn)	C(mole.l ⁻¹)	Z(mn)	C(mole.l ⁻¹)
9	0.0005	52	0.0011	105	0.336
11	0.0005	55	0.0011	110	0.360
15	0.0005	58	0.0015	115	0.4200
20	0.0006	61	0.0029	120	0.4240
25	0.0006	65	0.0057	125	0.4500
30	0.0007	71	0.0117	131	0.4500
33	0.0008	74	0.0186	133	0.4740
36	0.0008	80	0.0422	135	0.4770
40	0.0008	85	0.002	143	0.4050
43	0.0009	90	0.1513	146	0.4900
46	0.0009	95	0.2167	152	0.4920
49	0.0011	100	0.2773	155	0.5070

TABLEAU VI : Résultats de la courbe de réponse à $T = 30^{\circ}\text{C}$.
 Hauteur du lit = 80 cm , masse du lit = 73.662 g
 Débit = 7.5 ml mn⁻¹

$Z(\text{mn})$	$C(\text{mole.l}^{-1})$	$Z(\text{mn})$	$C(\text{mole.l}^{-1})$	$Z(\text{mn})$	$C(\text{mole.l}^{-1})$
6	0.0004	40	0.2065	73	0.4425
10	0.0006	43	0.2475	77	0.4500
15	0.0012	45	0.2675	80	0.4600
16	0.0031	48	0.2900	83	0.4625
20	0.0057	51	0.3275	86	0.4675
22	0.0100	53	0.3500	90	0.4725
25	0.0271	55	0.3550	93	0.4750
28	0.0435	58	0.3750	97	0.4850
30	0.0620	61	0.3900	100	0.4900
32	0.0920	63	0.4000	105	0.4950
35	0.1360	66	0.4125	110	0.4950
38	0.1725	70	0.4350	115	0.5000

TABLEAU VII : Résultats de la courbe de réponse à T = 30°C .

Hauteur du lit = 80 cm ; masse du lit = 73.662 g .

Débit = 10 ml mn⁻¹.

Z (mn)	C(mole.l ⁻¹)	Z (mn)	C(mole.l ⁻¹)	Z (mn)	C(mole.l ⁻¹)
3	0.0000	33	0.3020	74	0.4900
5	0.0011	36	0.3310	80	0.4950
7	0.0003	39	0.3610	83	0.5000
9	0.00145	42	0.3900	86	0.5020
11	0.0020	45	0.4120		
14	0.00905	48	0.4240		
17	0.0200	51	0.4360		
19	0.0190	55	0.4480		
21	0.1050	58	0.4575		
24	0.1400	61	0.4725		
27	0.2105	65	0.4800		
30	0.2600	70	0.4850		

TABLEAU VIII : Résultats de la courbe de réponse à T = 30°C .

Hauteur du lit = 120 cm ; Masse du lit = 112.291 g .

Débit = 3.5ML.mn⁻¹.

Z (mn)	C(mole.l ⁻¹)	Z (mn)	C(mole.l ⁻¹)	Z (mn)	C(mole.l ⁻¹)
45	0.0002	115	0.0070	170	0.3420
51	0.0003	120	0.0100	175	0.3730
55	0.0005	125	0.0150	180	0.4130
65	0.0005	130	0.0193	185	0.4190
70	0.0006	135	0.0200	190	0.4410
80	0.0007	140	0.0446	195	0.4480

Suite du tableau VIII :

z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$
90	0.0007	145	0.0790	200	0.4590
95	0.0007	150	0.1460	210	0.4850
100	0.0009	155	0.2000	221	0.4950
105	0.0013	160	0.2530	225	0.5000
110	0.0021	165	0.3050	230	0.5000

TABLEAU IX : Résultats de la courbe de réponse à $T = 30^{\circ}\text{C}$

Hauteur du lit = 120 cm . Masse du lit = 112.291 g.

Débit = 7.5 ml.mm^{-1} .

z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$
10	0.0003	54	0.0415	93	0.4130
15	0.0003	57	0.0765	96	0.4300
20	0.0004	60	0.1130	99	0.4350
25	0.0004	64	0.1715	103	0.4475
30	0.0004	67	0.2125	106	0.4500
33	0.0005	70	0.2475	110	0.4575
36	0.0008	73	0.2805	115	0.4700
39	0.00190	76	0.3040	120	0.4800
42	0.0041	79	0.3300	125	0.4825
45	0.0082	84	0.3600	130	0.4850
48	0.0125	87	0.3750	135	0.4950
51	0.0243	90	0.4000	140	0.4950

TABLEAU X : Résultats de la courbe de réponse à $T = 30^{\circ}\text{C}$.

Hauteur du lit = 120 Cm . Masse du lit = 112.291 g .

Débit = 10 ml.mn⁻¹ .

z (mn)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mn)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mn)	$C(\text{mole.l}^{-1})$
5	0.0004	41	0.0700	71	0.4300
10	0.0005	44	0.1370	74	0.4425
15	0.0004	47	0.1830	77	0.4550
20	0.0005	50	0.2375	80	0.4675
24	0.0006	53	0.2865	83	0.4725
27	0.0020	56	0.3175	86	0.4775
30	0.0051	59	0.3500	90	0.4825
33	0.0109	62	0.3725	93	0.4875
35	0.0190	65	0.3925	96	0.4925
38	0.0375	68	0.4175	100	0.4975
				110	0.5050

TABEAU XI :

Résultats de la courbe de réponse à $T = 30^{\circ}\text{C}$.

Avec du charbon actif granulé régénéré une PREMIERE FOIS.

Hauteur du lit = 120 cm. Masse du lit = 112,291.

Débit = $3.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$.

z (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110
C (mole.l ⁻¹)	0.0019	0.0024	0.0032	0.0041	0.0051	0.0073	0.0112	0.0131
z (mm)	115	120	125	130	135	140	145	150
C (mole.l ⁻¹)	0.0130	0.1410	0.2071	0.2610	0.2910	0.3610	0.3610	0.4090
z (mm)	155	160	165	175	180	185	195	—
C (mole.l ⁻¹)	0.4450	0.4550	0.4560	0.4750	0.4850	0.4920	0.5070	—

TABEAU XII : Charbon Actif régénéré une PREMIERE FOIS à $T = 30^{\circ}\text{C}$.

Hauteur du lit = 120 cm. Masse du lit = 112,291 g.

Débit = $7.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$.

z (mm)	10	15	20	25	30	35	40	45
C (mole.l ⁻¹)	0.0027	0.0028	0.0030	0.0045	0.0051	0.0100	0.0160	0.0434
z (mm)	55	60	70	75	80	85	90	95
C (mole.l ⁻¹)	0.1530	0.2410	0.3590	0.3030	0.4300	0.4370	0.4600	0.4650
z (mm)	100	105	110	115	120	125	—	—
C (mole.l ⁻¹)	0.4750	0.4775	0.4900	0.4950	0.4950	0.5020	—	—

TABLEAU XIII :

Résultats de la courbe de réponse à T = 30°C .

Avec charbon Actif régénéré une PREMIERE FOIS .

Hauteur du lit = 120 cm . Masse du lit = 112.291 g .

Débit = 10 ml;mn⁻¹ .

z (mm)	C(mole;l ⁻¹)	z (mm)	C(mole.l ⁻¹)	z (mm)	C(mole.l ⁻¹)
5	0.0030	42	0.1840	73	0.4650
10	0.0035	45	0.2340	76	0.4650
15	0.0041	48	0.2790	80	0.4760
18	0.0053	51	0.3130	83	0.4790
22	0.0058	54	0.3470	86	0.4800
25	0.0064	57	0.3760	91	0.4920
29	0.0120	60	0.3950	94	0.4970
36	0.0775	66	0.4310	110	0.5130
32	0.0405	63	0.4225	100	0.5100
39	0.1280	68	0.4450	-	-

TABLEAU XIII

Résultats de la courbe de réponse à $T = 30^{\circ}\text{C}$.
 Avec charbon Actif régénéré une PREMIERE FOIS .
 Hauteur du lit = 120 cm . Masse du lit = 112.291 g .
 Débit = 10 ml;mn⁻¹ .

z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$	z (mm)	$C(\text{mole.l}^{-1})$
5	0.0030	42	0.1840	73	0.4650
10	0.0035	45	0.2340	76	0.4650
15	0.0041	48	0.2790	80	0.4760
18	0.0050	51	0.3140	83	0.4790
22	0.0058	54	0.3470	86	0.4800
25	0.0064	57	0.3760	91	0.4920
29	0.0120	60	0.3950	94	0.4970
36	0.0775	66	0.4310	110	0.5130
32	0.0105	63	0.4225	100	0.5100
39	0.1200	60	0.4450	-	-

TABLEAU XIV : Résultats de la courbe de réponse à T = 30°C .

Avec charbon Actif régénéré une DEUXIEME FOIS .

Hauteur du lit = 120 cm . Masse du lit = 112.291 g .

Débit = 10 ml. mn⁻¹ .

z (mn)	5	10	13	15	18	21	24	27	30
C (mole ⁻¹)	0.0026	0.0027	0.0060	0.0120	0.0240	0.0520	0.0805	0.1305	
z (mn)	33	36	39	42	45	48	51	59	
C (mole ⁻¹)	0.1970	0.2450	0.2860	0.3270	0.3560	0.3810	0.4025	0.4400	
z (mn)	62	65	73	76	79	84			
C (mole ⁻¹)	0.4550	0.4625	0.4825	0.4900	0.5020	0.5030			

TABLEAU XV : Résultats de la courbe de réponse à T = 30°C .

Avec charbon Actif granulé régénéré une DEUXIEME FOIS .

Hauteur du lit = 120 cm . Masse du lit = 112.291 g .

Débit = 7.5 ml. mn⁻¹ .

z (mn)	5	10	15	18	21	24	27	30
C (mole ⁻¹)	0.0015	0.0027	0.0027	0.0030	0.0035	0.0044	0.0056	0.0067
z (mn)	33	35	38	41	44	47	51	54
C (mole ⁻¹)	0.0112	0.0146	0.0306	0.0490	0.0800	0.1430	0.2160	0.2750
z (mn)	57	60	63	66	69	72	75	79
C (mole ⁻¹)	0.3240	0.3660	0.4010	0.4250	0.4700	0.4800	0.4700	0.4800
					0.4420	0.4520		
z (mn)	81	85	88	91	93	-	-	-
C (mole ⁻¹)	0.4650	0.5020	0.5050	0.5120	0.5130	-	-	-

TABIEAU XVI :

Résultats de la courbe de réponse à $T = 30^{\circ}\text{C}$.

Avec charbon Actif régénéré une DEUXIEME FOIS .

Hauteur du lit = 120 cm . Masse du lit = 112.251 g ;

Débit = $3.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$.

z (mn)	C (mole.l ⁻¹)	z (mn)	C (mole.l ⁻¹)	z (mn)	C (mole.l ⁻¹)
30	0.0026	105	0.0521	155	0.4570
35	0.0030	110	0.0900	160	0.4690
40	0.0032	115	0.1430	165	0.4700
50	0.0039	120	0.2070	170	0.4800
60	0.0041	125	0.2600	175	0.4920
70	0.0047	130	0.3100	180	0.4960
80	0.0056	135	0.3610	185	0.5000
90	0.0092	140	0.3960	190	0.5100
95	0.0142	145	0.4240	-	-
100	0.0241	150	0.4430	-	-

TABLEAU XVII :

Résultats d'adsorption à $T = 30^{\circ}\text{C}$ sur 3 g de charbon
 Actif en contact avec 80 ml d'une solution d'acide acétique .
 Selon la théorie de LANGMUIR et FREUNDLICH .

C (mole.l ⁻¹)	x/m g/g	logC	- logx/m	C/(x/m)
0.019	0.015	-1.721	1.721	1.000
0.039	0.037	-1.409	1.432	1.054
0.117	0.072	-0.932	1.200	1.617
0.142	0.072	-0.846	1.143	1.972
0.166	0.082	-0.775	1.086	2.049
0.197	0.085	-0.705	1.070	2.316
0.254	0.093	-0.595	1.031	2.731
0.281	0.101	-0.551	0.996	2.782
0.370	0.107	-0.432	0.971	3.456
0.430	0.112	-0.366	0.951	3.839
0.530	0.128	-0.276	0.893	4.141
0.577	0.133	-0.169	0.876	5.090
0.923	0.155	-0.035	0.810	5.955
1.430	0.160	+0.155	0.796	8.937
1.920	0.176	0.283	0.754	10.909
2.430	0.176	0.386	0.754	13.007
2.940	0.176	0.466	0.754	16.704
3.450	0.176	0.538	0.754	19.602
3.955	0.184	0.597	0.735	21.494

TABLEAU XVII :

Résultats d'adsorption à T = 30°C sur 3 g de charbon
 Actif en contact avec 80 ml d'une solution d'acide acétique .
 Selon la théorie de LANGMUIR et FREUNDLICH .

C (mole.l ⁻¹)	x/m g/g	log C	- log x/m	C/(x/m)
0.019	0.019	-1.721	1.721	1.000
0.039	0.037	-1.409	1.432	1.054
0.117	0.072	-0.932	1.200	1.607
0.142	0.072	-0.846	1.143	1.972
0.166	0.082	-0.775	1.086	2.049
0.197	0.085	-0.705	1.070	2.310
0.254	0.093	-0.595	1.031	2.731
0.291	0.101	-0.551	0.996	2.792
0.370	0.107	-0.432	0.971	3.450
0.430	0.112	-0.366	0.951	3.839
0.530	0.120	-0.276	0.893	4.141
0.677	0.133	-0.169	0.876	5.090
0.923	0.155	-0.035	0.810	5.955
1.430	0.160	+0.155	0.796	8.937
1.920	0.176	0.283	0.754	10.909
2.430	0.176	0.386	0.754	13.007
2.940	0.176	0.468	0.754	16.704
3.450	0.176	0.538	0.754	19.602
3.955	0.184	0.597	0.735	21.494

TABEAU XVIII :

Résultats qui nous permettent de tracer l'équation de

TEMKIN .

$$x/m = I/a \cdot \text{Log}d + I/a \cdot \text{Log}c$$

$C_{(mole.l^{-1})}$	$x/m (g/g)$	$\text{Log } c$	$C_{(mole.l^{-1})}$	$x/m (g/g)$	$\text{Log } c$
0.019	0.019	-3.960	0.530	0.126	-0.630
0.039	0.037	-3.240	0.677	0.133	-0.390
0.117	0.062	-2.140	0.923	0.155	-0.080
0.142	0.072	-1.950	1.430	0.160	0.360
0.168	0.082	-1.780	1.920	0.170	0.650
0.197	0.085	-1.620	2.430	0.170	0.890
0.254	0.093	-1.370	2.940	0.176	1.080
0.280	0.101	-1.270	3.450	0.176	1.240
0.370	0.107	-0.990	3.955	0.184	1.370
0.430	0.112	-0.840	-	-	-

-144-

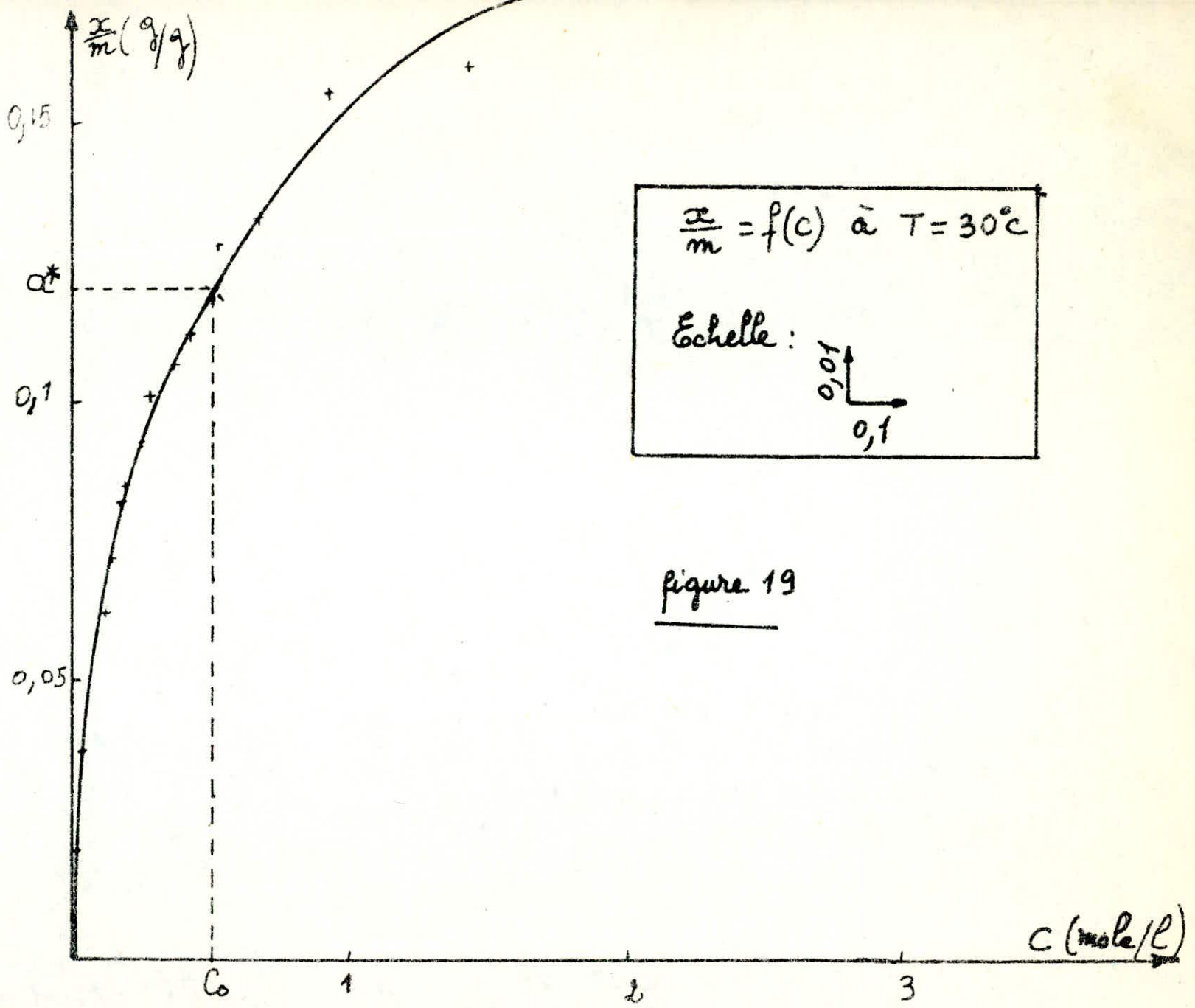


figure 19

-45-

transformée de l'équation
de FREUNDLICH

Echelle :




figure 21

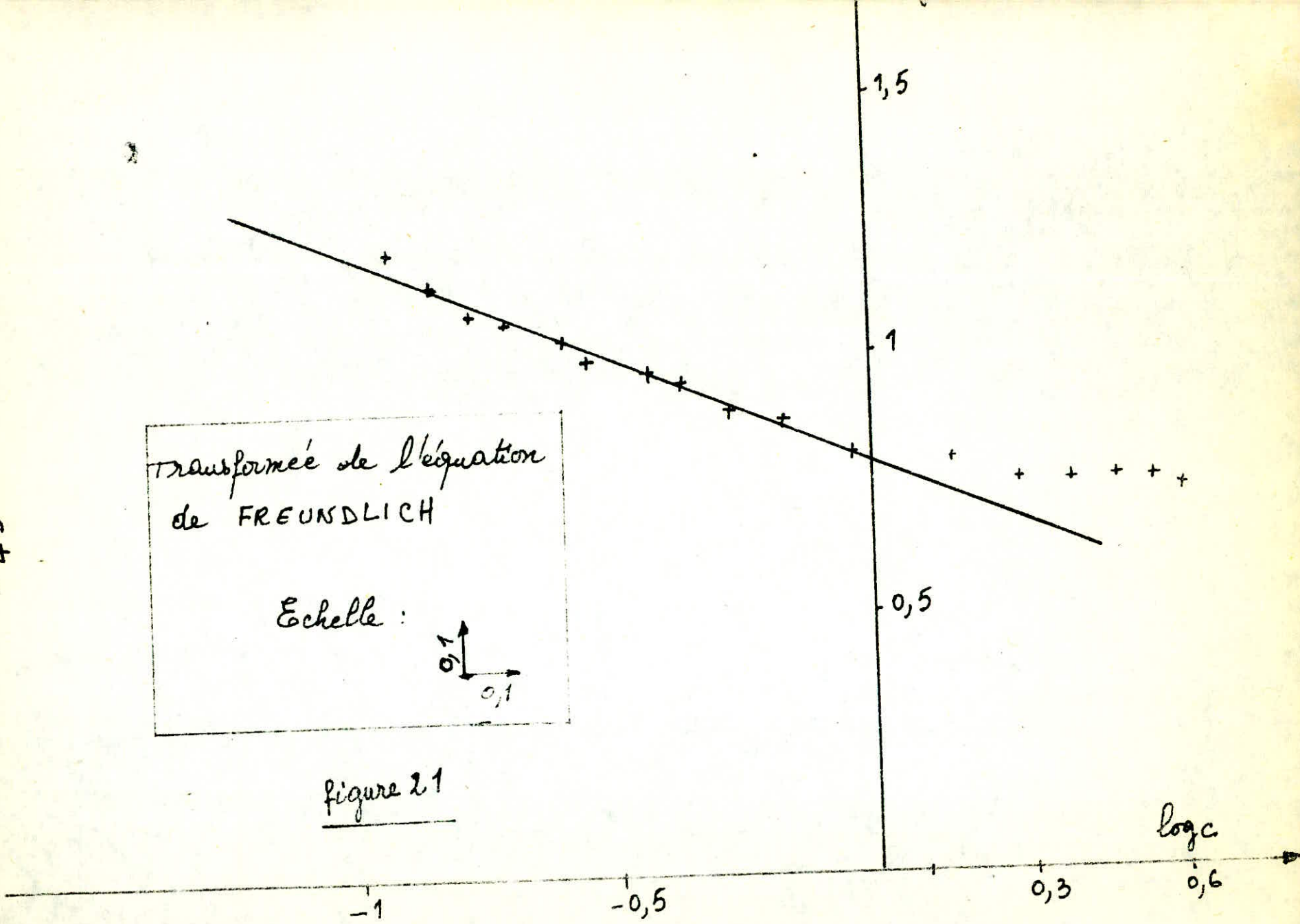

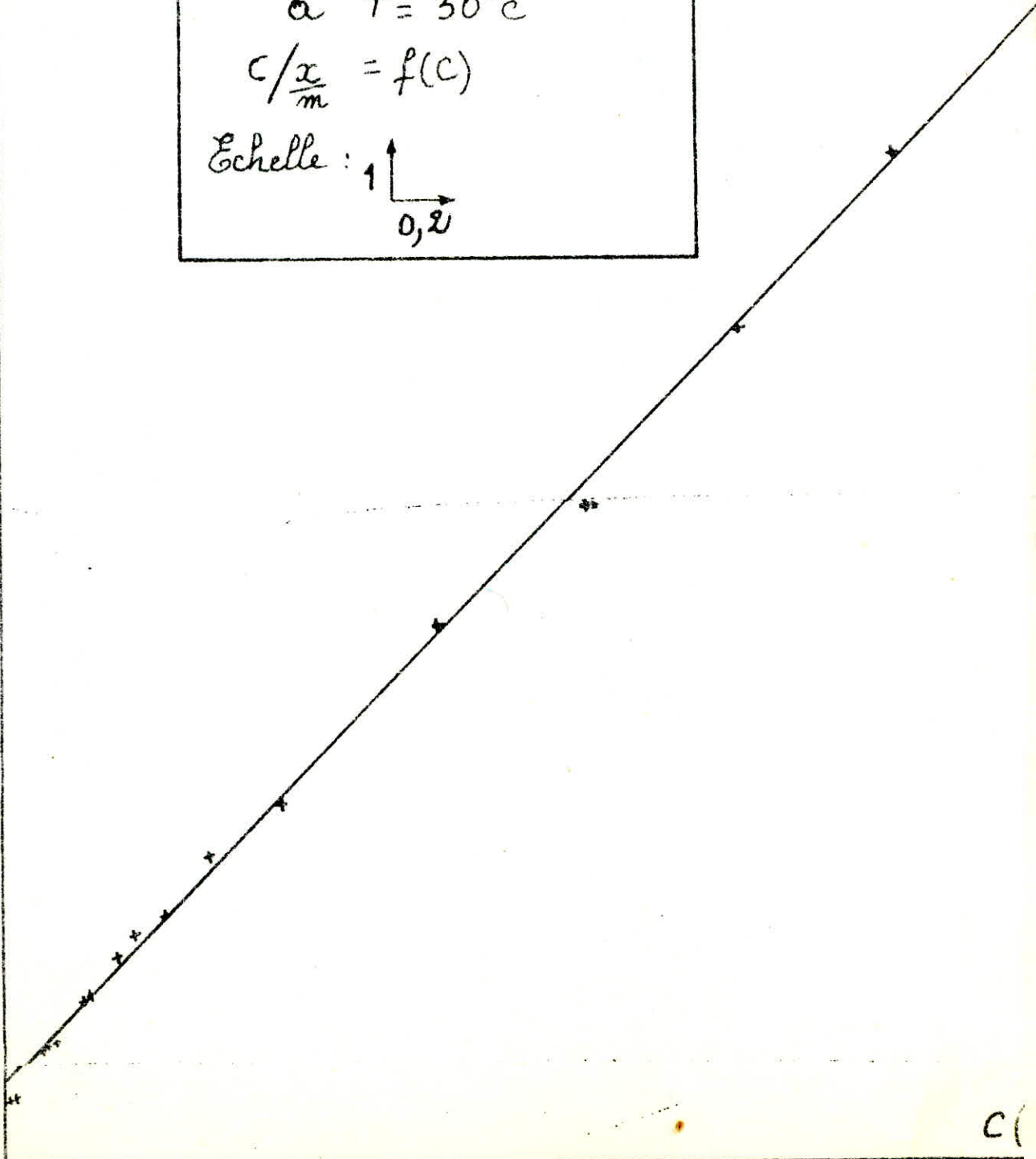


figure 22

$\frac{c}{x}$
 m

Transformée de
L'équation de Langmuir
à $T = 30^\circ\text{C}$
 $\frac{c}{x} = f(c)$
Echelle : 




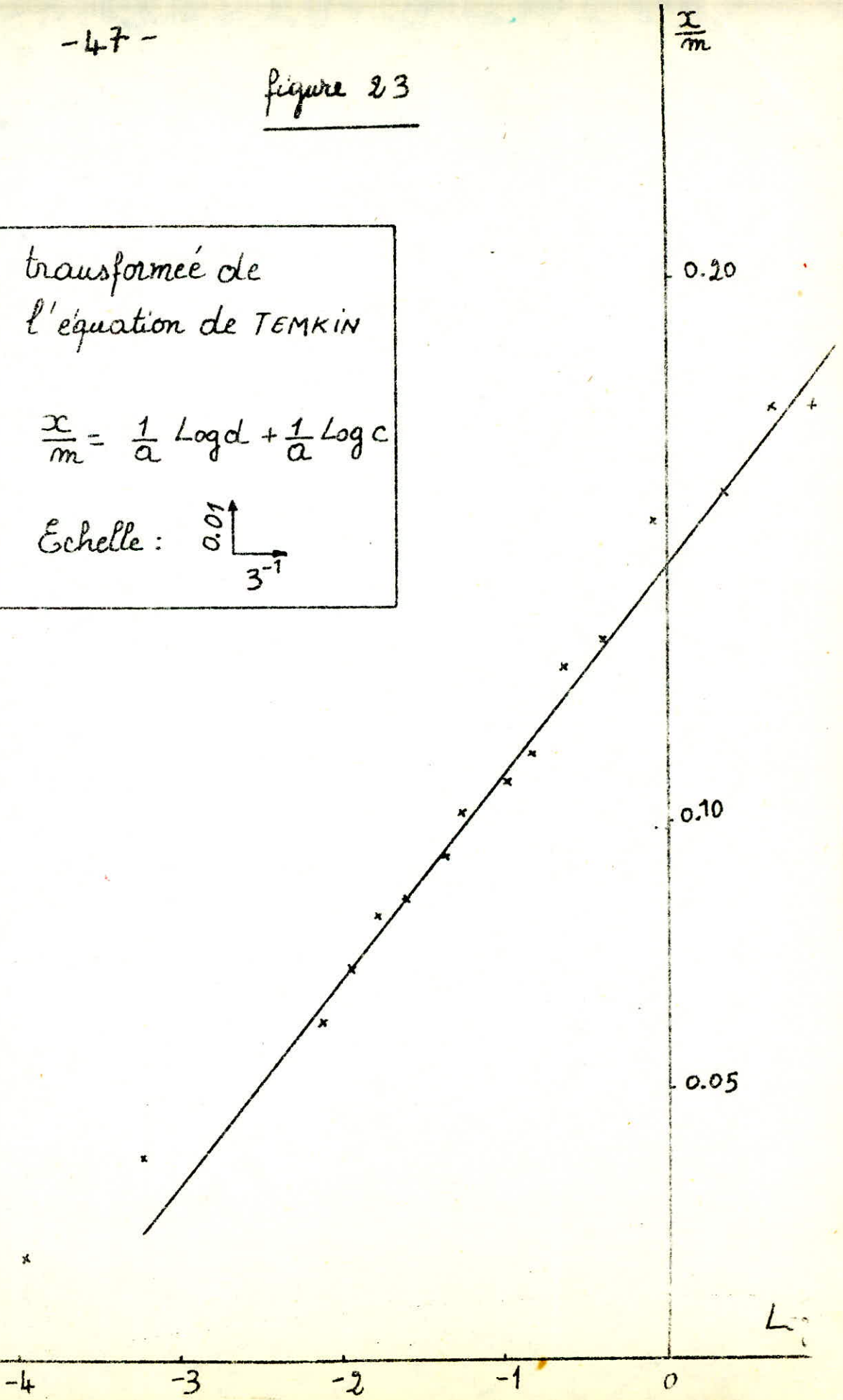
c

Figure 23

transformée de
l'équation de TEMKIN

$$\frac{x}{m} = \frac{1}{a} \text{Log} d + \frac{1}{a} \text{Log} c$$

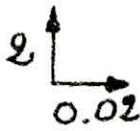
Echelle : 

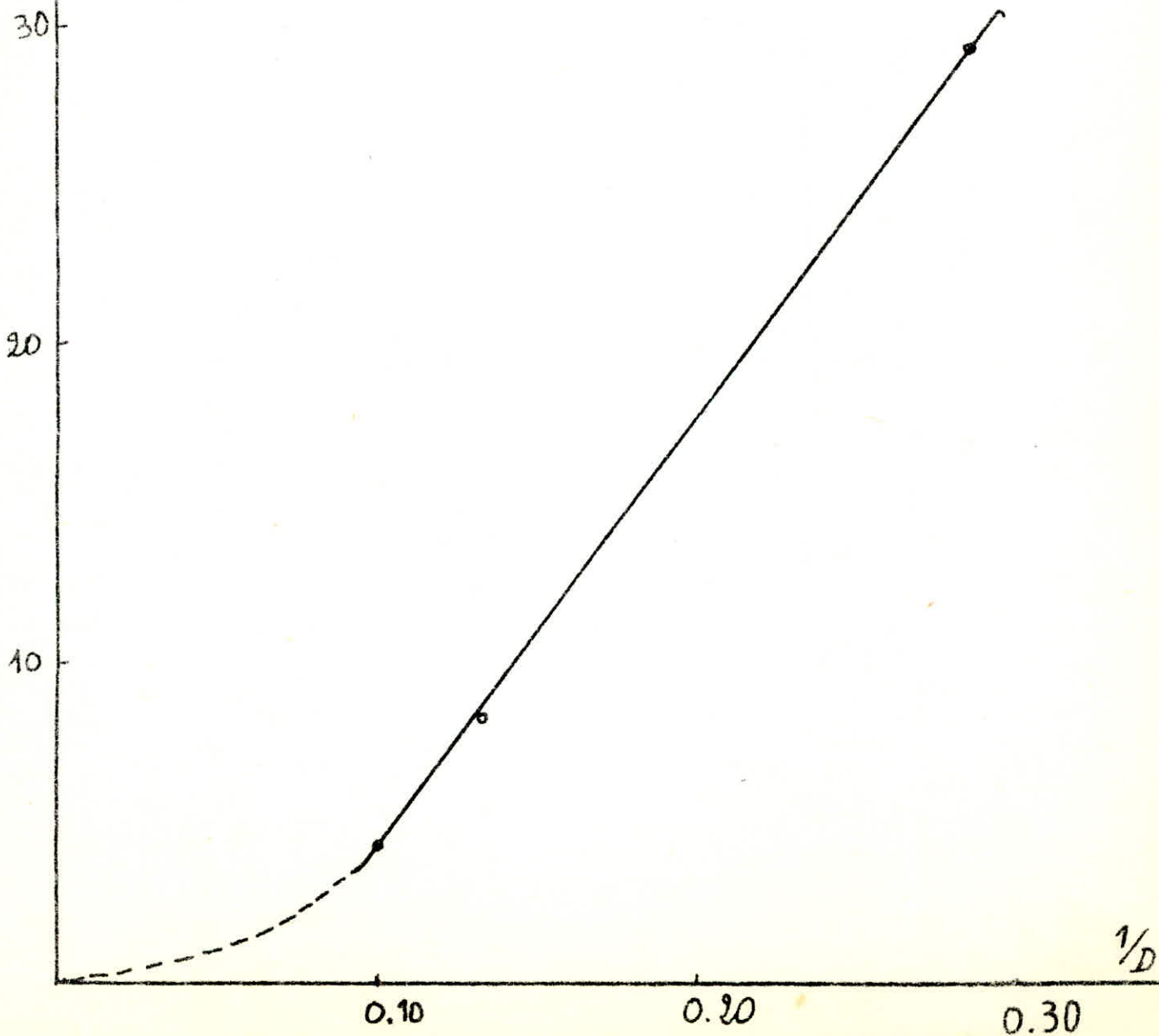


τ_R (mn)

-48-

fig: 24

Hauteur du lit = 40 cm
graphe $\tau_R = f(1/D)$
Echelle : 



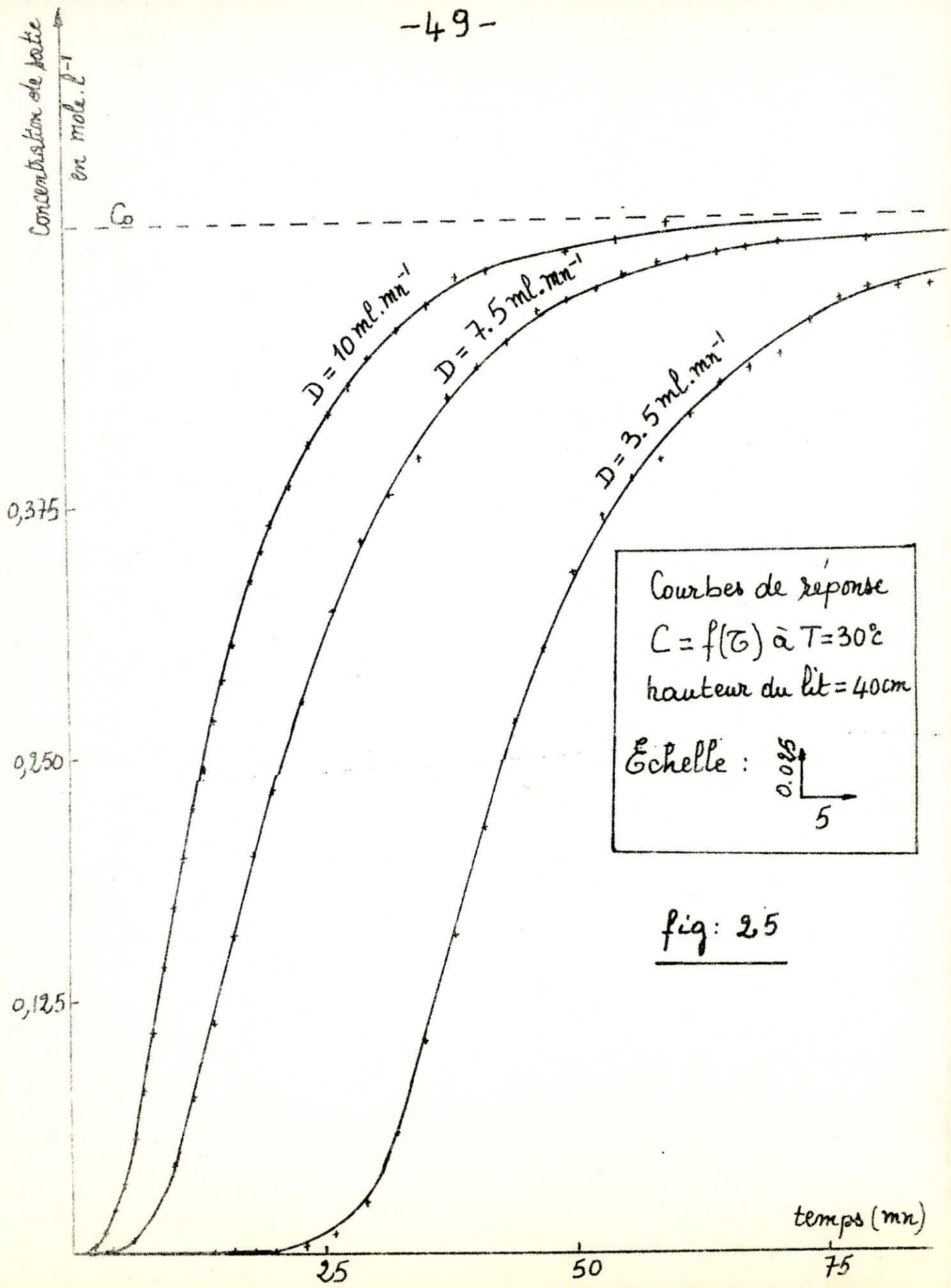
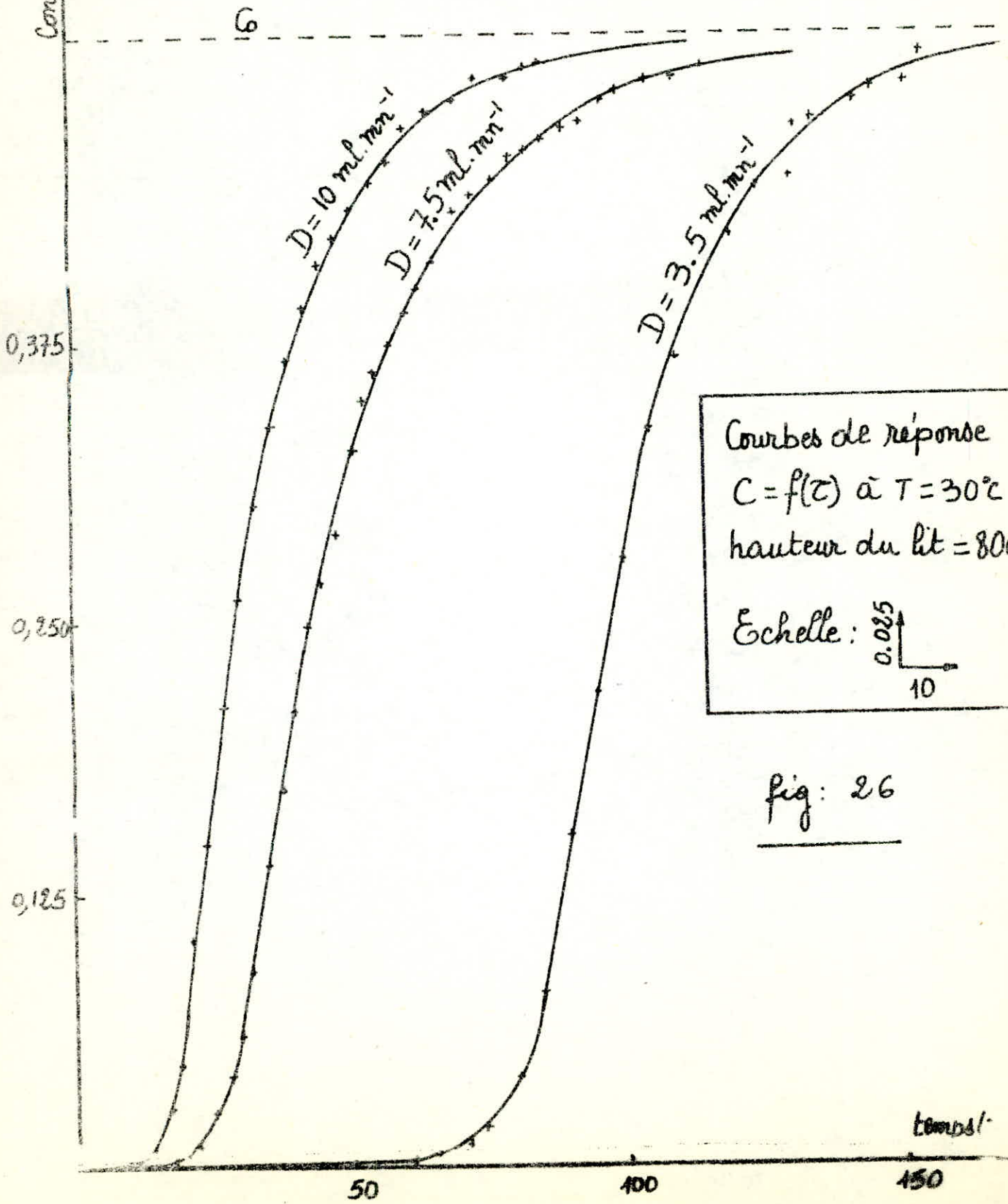


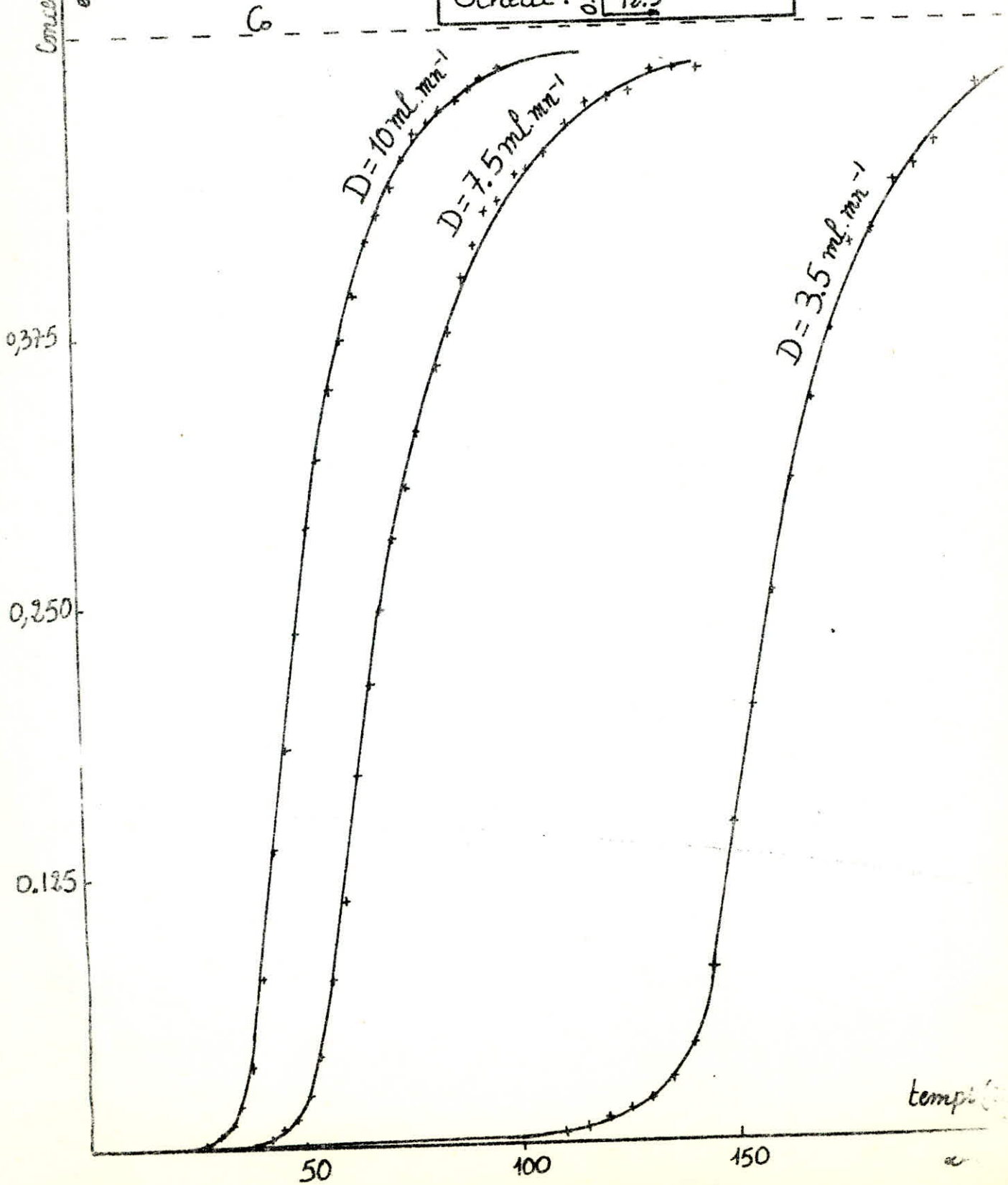
fig: 2.5

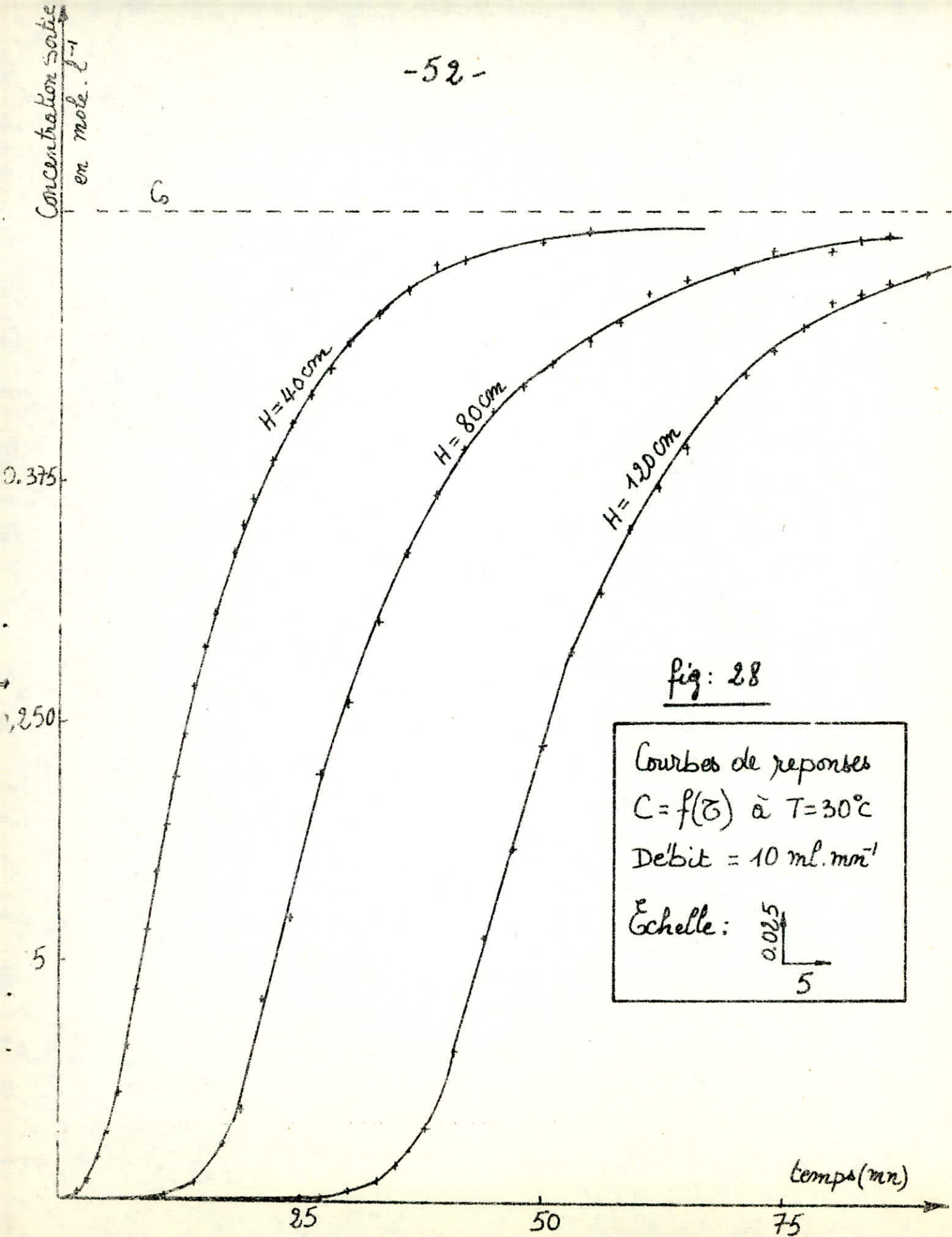


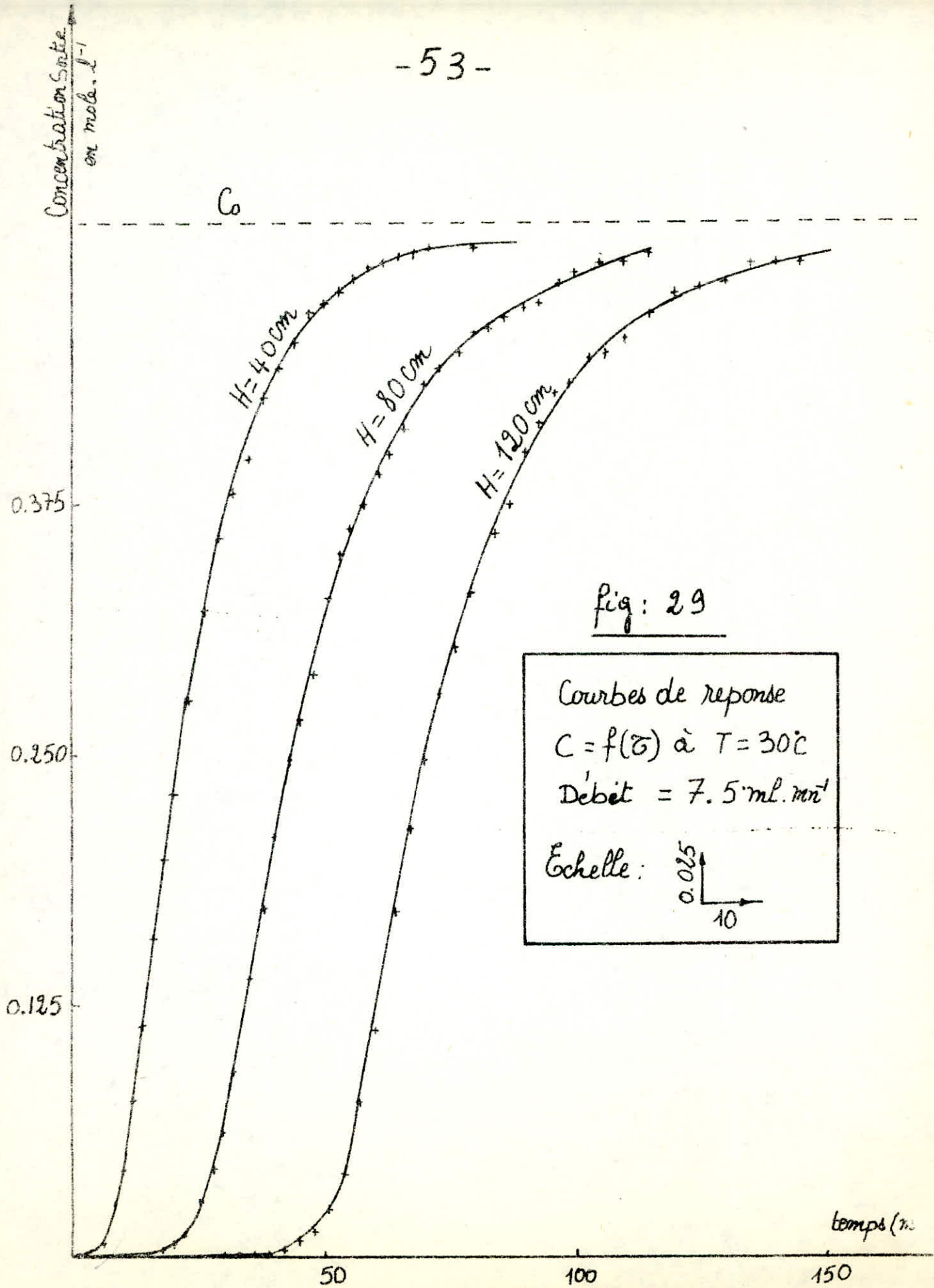
-51-

Courbes de réponse
hauteur du lit = 120cm
Echelle: $\begin{matrix} 0.025 \\ \uparrow \\ 12.5 \end{matrix}$

fig: 27







Courbes de réponse
Débit = 3.5 ml. mn⁻¹
Echelle : $\begin{matrix} \uparrow 0.025 \\ \rightarrow 12.5 \end{matrix}$

fig:30

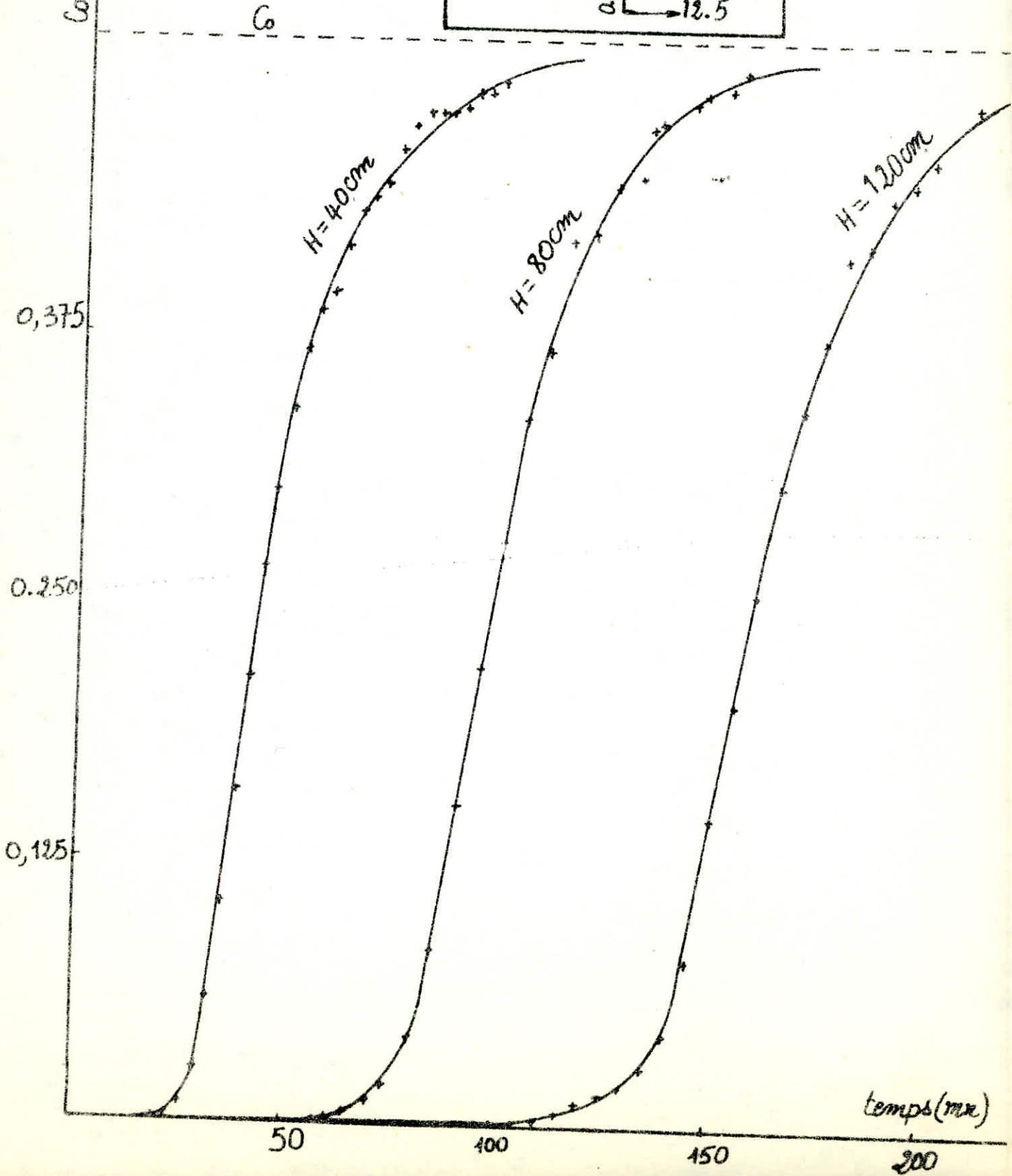


figure 31

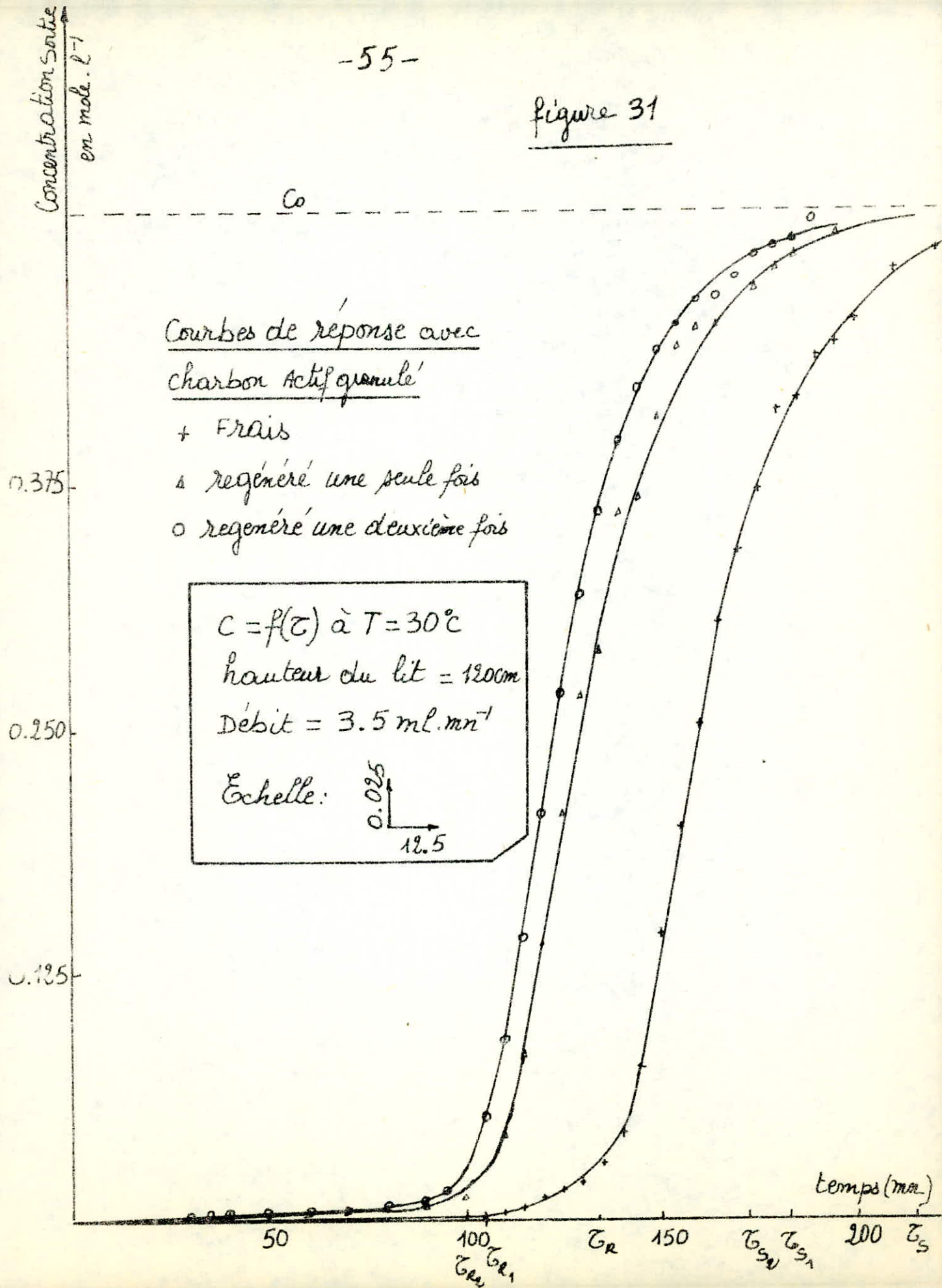
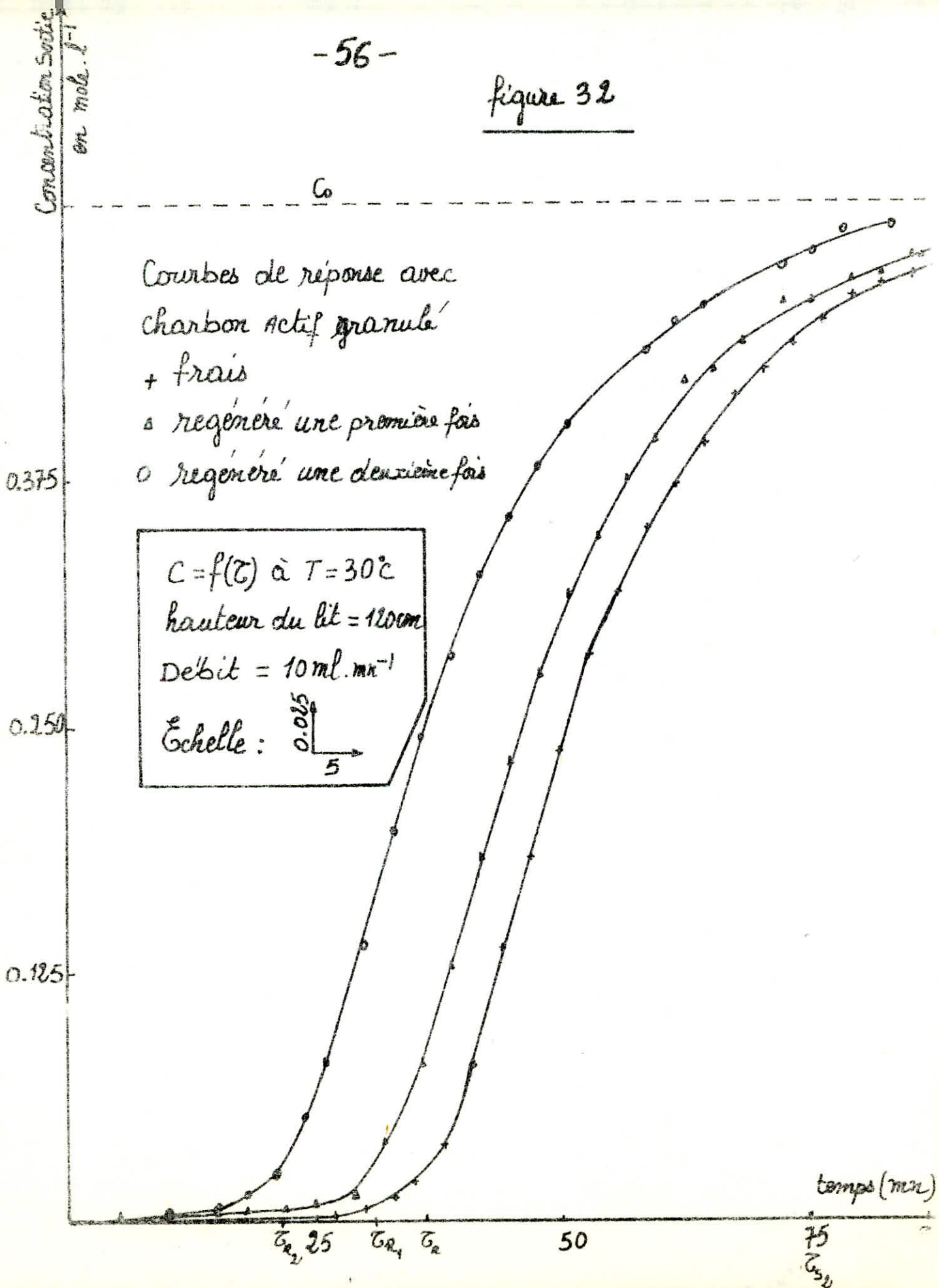


figure 32



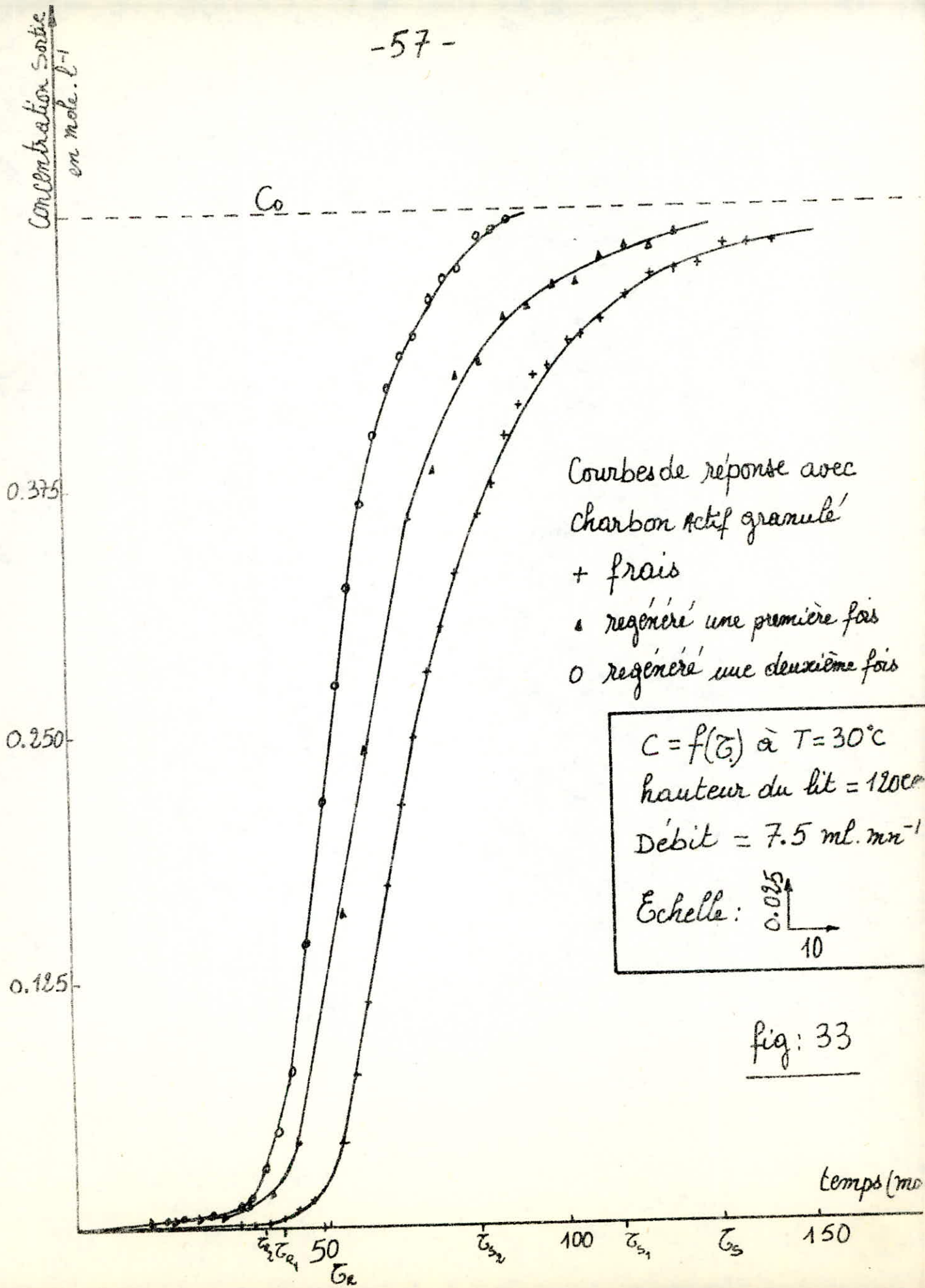
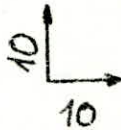


fig: 33

τ_R (mn)

fig: 34

Courbes $\tau_R = f(H)$
à $T = 30^\circ\text{C}$
Echelle: 

150

100

50

τ_0

H_0

50

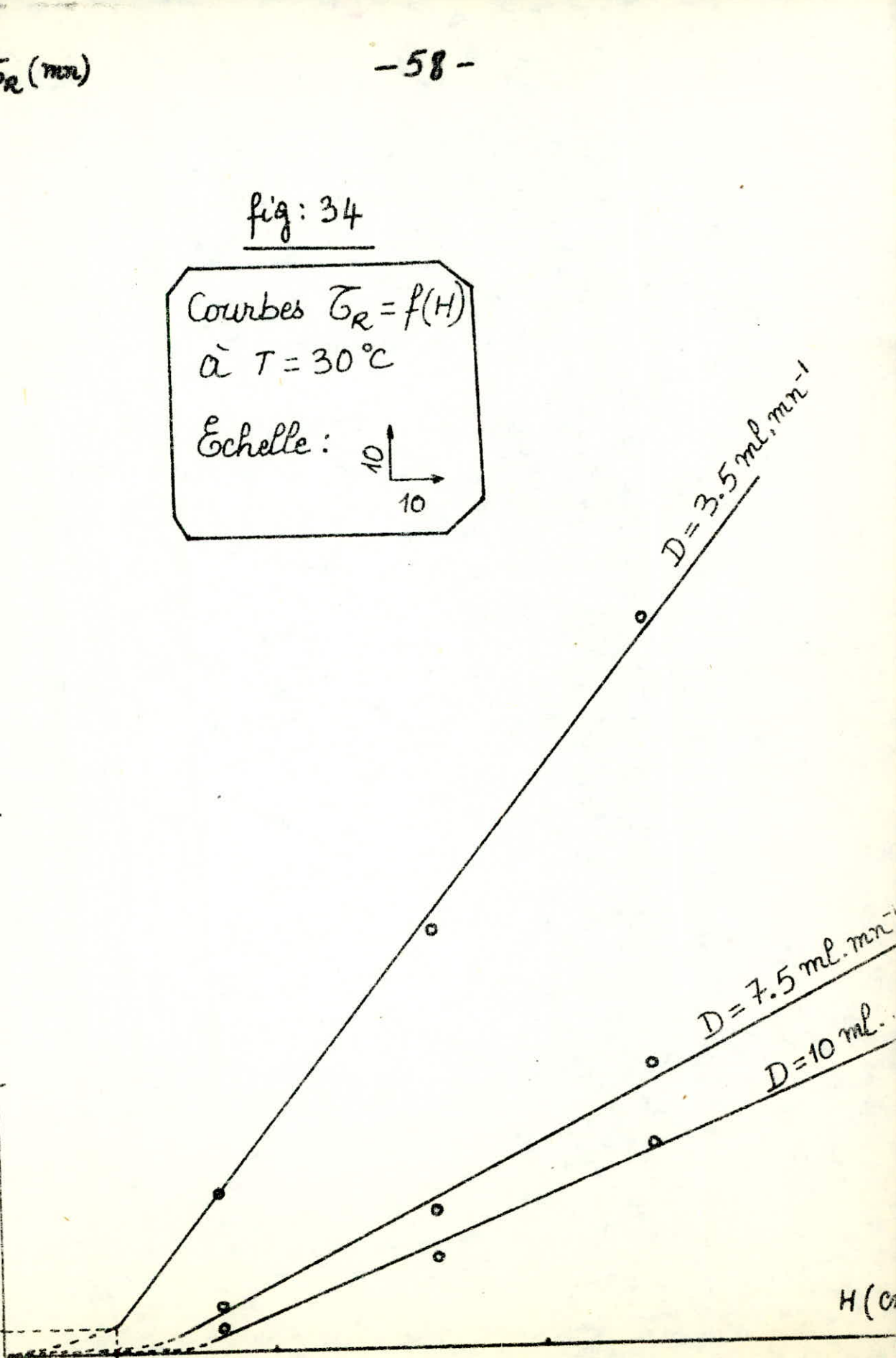
100

H (cm)

$D = 3.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$

$D = 7.5 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$

$D = 10 \text{ ml} \cdot \text{mn}^{-1}$



μ (cm. mn⁻¹)

-59-

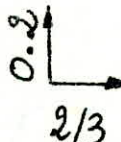
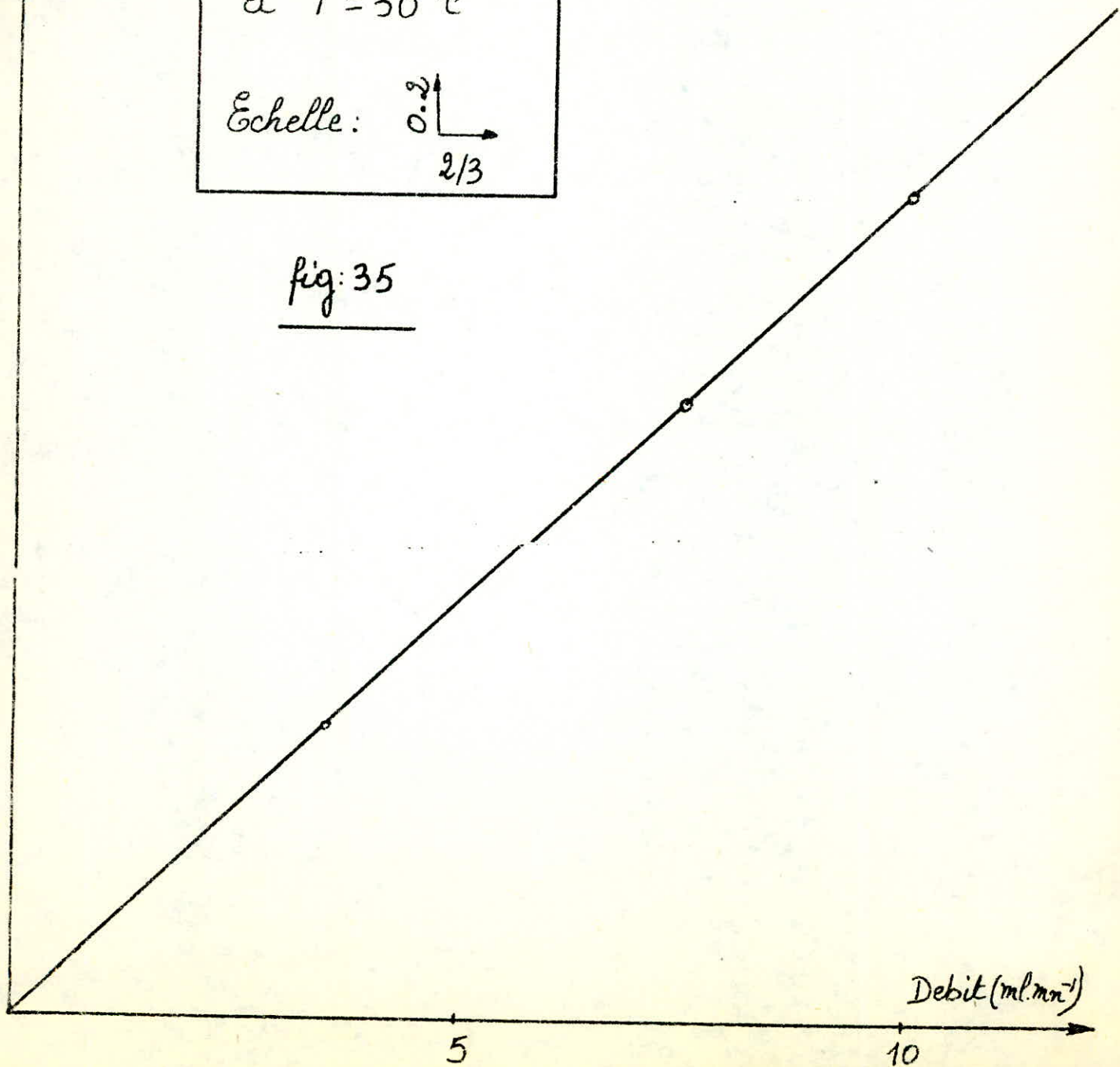
Courbe $\mu = f(D)$
à $T = 30^\circ\text{C}$
Echelle: 
2/3

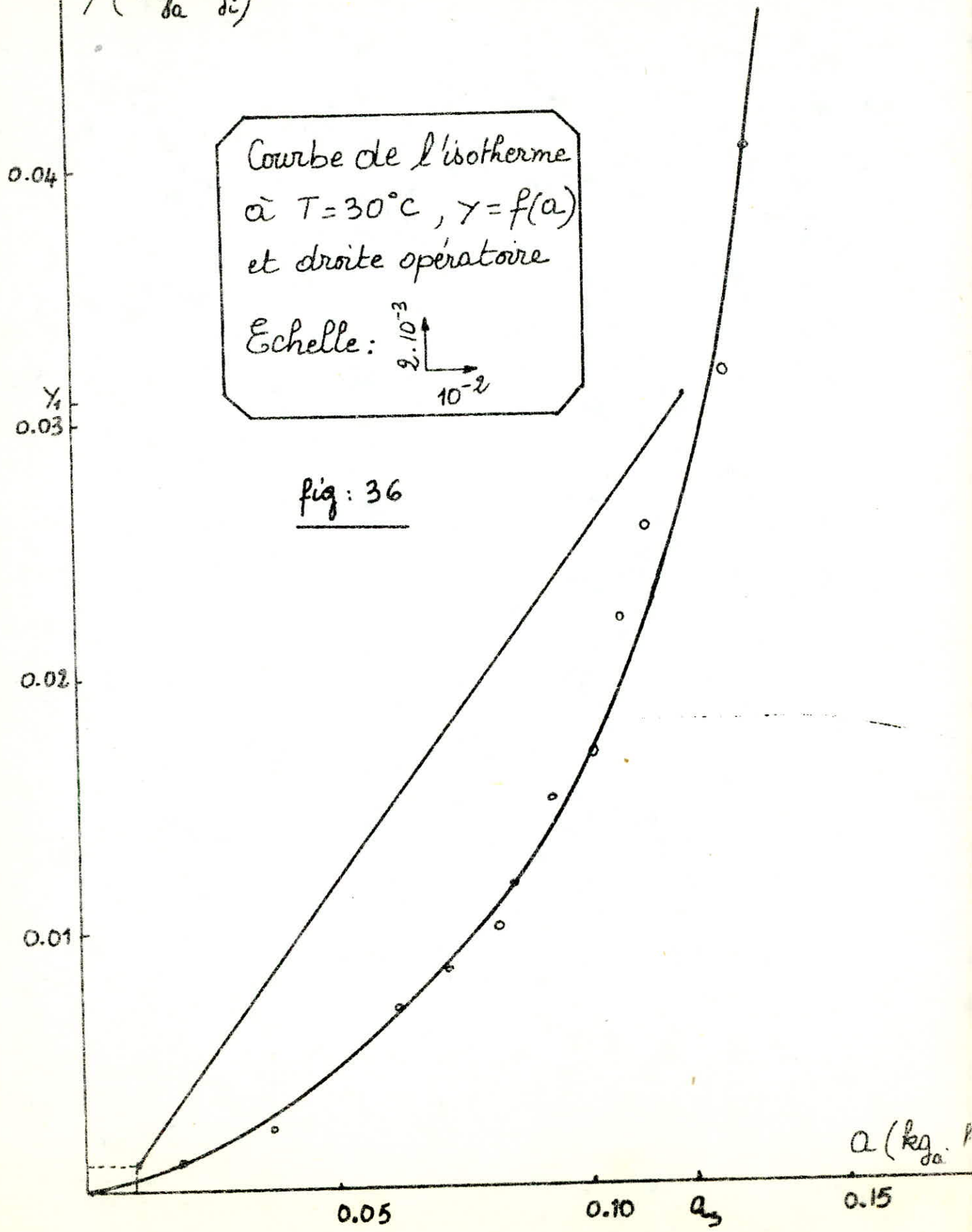
fig: 35



$\gamma \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \cdot \text{kg}^{-1} \right)$

Courbe de l'isotherme
à $T=30^\circ\text{C}$, $\gamma = f(a)$
et droite opératoire
Echelle: $\begin{matrix} 2 \cdot 10^{-3} \\ \uparrow \\ 10^{-2} \end{matrix}$

fig: 36

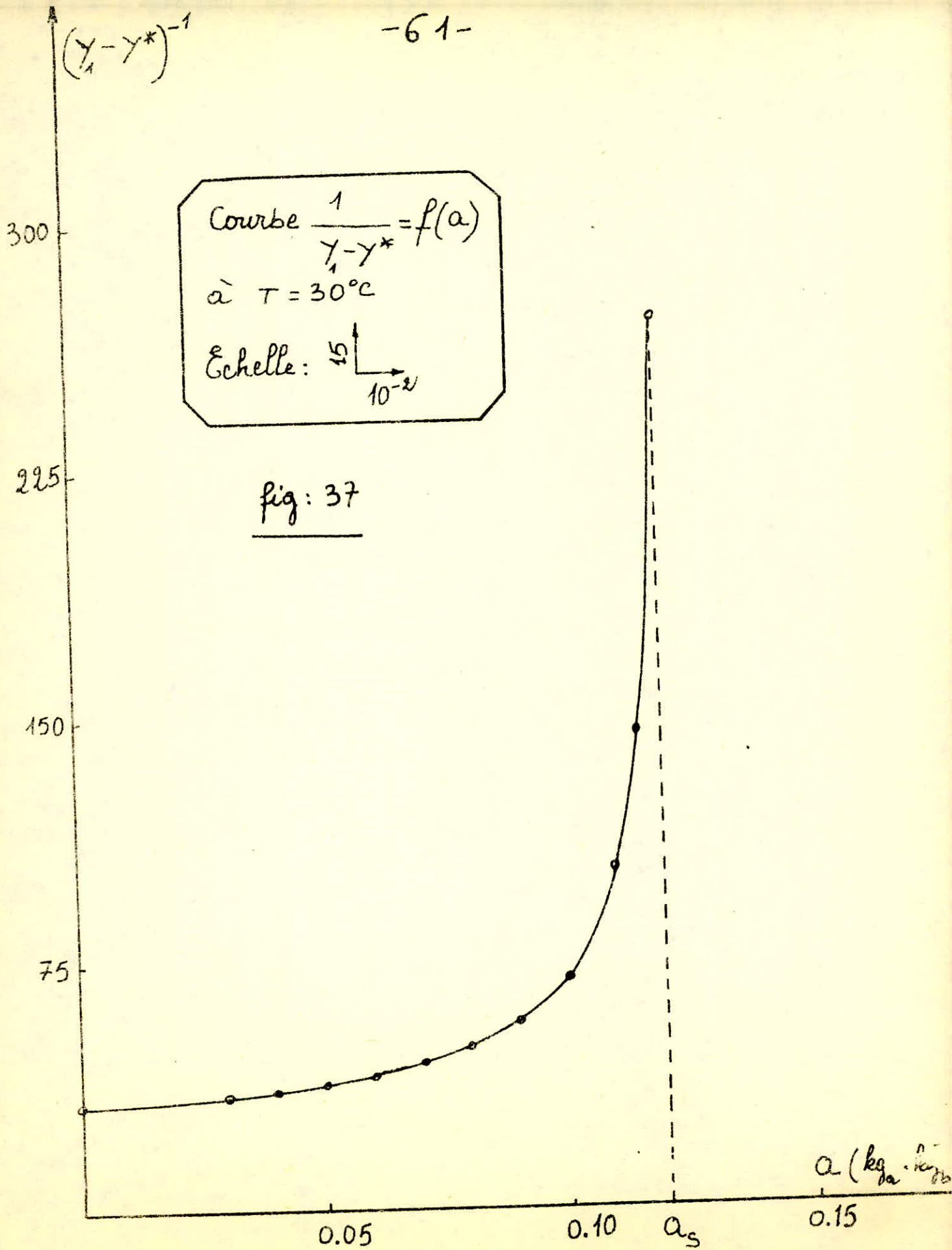


$a \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right)$

$$(y_1 - y^*)^{-1}$$

Courbe $\frac{1}{y_1 - y^*} = f(a)$
à $T = 30^\circ\text{C}$
Echelle: $\begin{matrix} 15 \\ \uparrow \\ \rightarrow \\ 10^{-2} \end{matrix}$

fig: 37



a (kg/m³)
0.15

$(a^* - a)^{-1}$

Courbe $\frac{1}{a^* - a} = f(a)$
à $T = 30^\circ\text{C}$
Echelle: $\begin{matrix} \uparrow \\ 10^{-2} \end{matrix}$

fig: 38

200

150

100

50

a_0

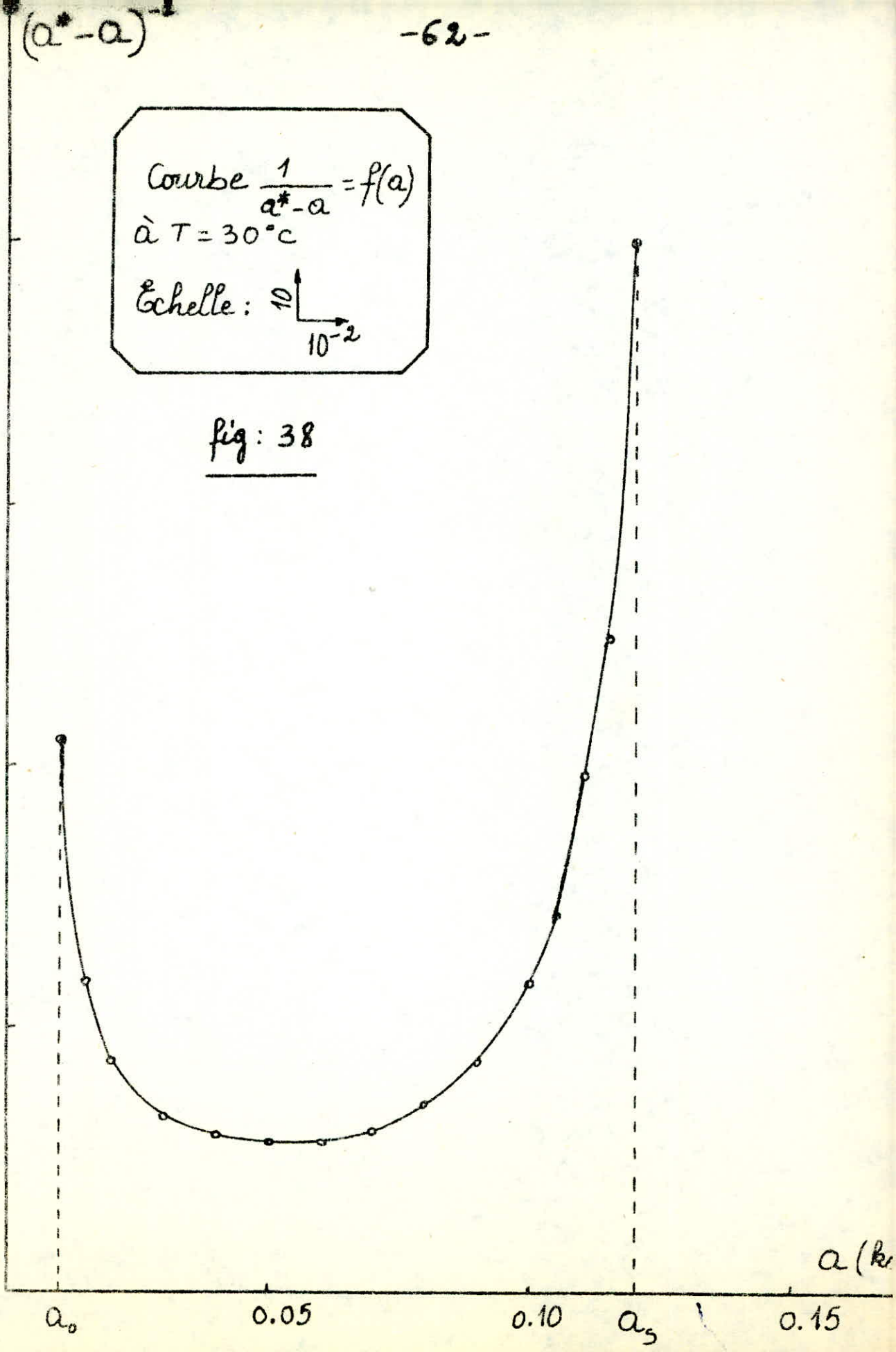
0.05

0.10

a_s

0.15

a (K)

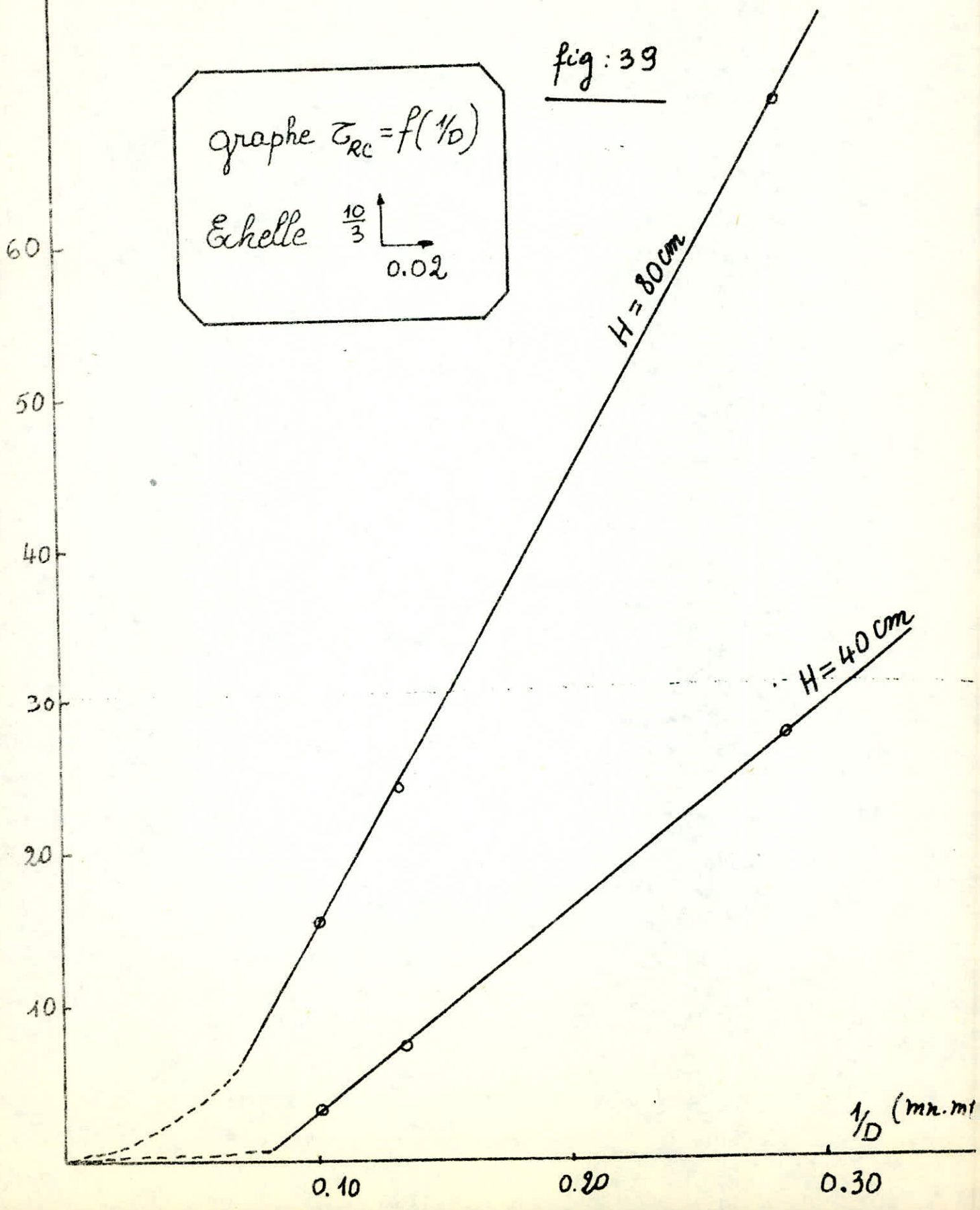


τ_{RC} (mm)

-63-

fig: 39

graphe $\tau_{RC} = f(1/D)$
Echelle $\frac{10}{3}$
0.02



V - 7 - INTERPRETATION DES RESULTATS .

V - 7 - 1 - Determination de l'isotherme d'adsorption :

pour obtenir cet isotherme on a travaillé dans les conditions suivantes :

- Température d'adsorption = 30°C .
- Le volume de la solution à différentes concentrations est de 80 cm³ .
- Quantité de charbon actif est de 3 g .
- Le temps de contact est de 45 mn .

Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau I .

Dans ce tableau , x désigne la masse de soluté (CH₃COOH) adsorbée exprimée en gramme .

$$x = (c_0 - c) \cdot V \cdot M$$

Avec C₀ : concentration initiale de la solution d'acide .
C : concentration à l'équilibre .
V : volume de la solution utilisé (80cm³) }
M : masse molaire de l'acide acétique .

pour obtenir l'isotherme d'adsorption on reporte sur un graphe la quantité de soluté adsorbée rapportée à l'unité de masse du charbon x/m en fonction de la concentration à l'équilibre . x/m = f(C) ; voir figure 19 .

D'après ce résultat on constate que l'isotherme est du type I .

D'où on peut en conclure qu'on a formation d'une couche monomoléculaire à la surface du charbon actif granulé .

On peut dire que la théorie concorde avec les résultats expérimentaux .

V - 7 - 2 - Interprétation des équations d'isotherme d'adsorption :

L'isotherme d'adsorption x/m = f(C) peut être représenté par plusieurs équations :

V-7-2-a6 1e Isotherme de HENRY :

Elle est de la forme x/m = kC .

On remarque que cette équation est valable pour des concentrations faibles entre 0 et 0.14 mole/l pour l'acide acétique adsorbé sur du charbon actif granulé .
La relation trouvée a la forme suivante

$$x/m = 0.55 c \quad (\text{voir figure 20 .})$$

V-7-2-b) Isothème de FREUNDLICH :

Il a proposé comme équation $x/m = kC^n$ pour une adsorption d'isothème du type I .
Avec n et k des constantes .

Pour déterminer ces constantes (k et n) , on trace le graphe $\log(x/m) = f(\log C)$
Les valeurs de $\log x/m$ et $\log C$ sont représentées dans le tableau XVII .
Pour que cette équation $x/m = kC^n$ soit appliquée il faut que $\log x/m = f(\log C)$
donne une droite de pente n et d'ordonnée à l'origine $\log k$. (voir figure 21)

On trouve que $\log k = -0.79$ d'où $k = 0.162$

$$\text{Et } n = 0.407$$

D'où l'équation de FREUNDLICH devient :

$$x/m = 0.162 C^{0.407}$$

D'après la figure 21 on constate que cette équation est valable pour des concentrations intermédiaires ce qui concorde avec la théorie .

Dans le cas de l'acide acétique elle est valable pour une concentration comprise 0.14 et 0.9 mole/l .

V-7-2- b c) Isothème de LANGMUIR :

On peut représenter l'isothème d'adsorption par l'équation $x/m = \frac{aC}{1 + bC}$

Pour déterminer les constantes a et b il faut représenter ; $\frac{C}{x/m} = f(C)$.

La pente de cette droite donnera b/a .

L'ordonnée à l'origine donnera 1/a . (voir figure 22 .)

Les valeurs trouvées sont $a = 0.769$ et $b = 4$

D'où l'équation de LANGMUIR devient

$$x/m = \frac{0.77 C}{1 + 4 C}$$

On peut dire que cette équation représente mieux l'isothème d'adsorption .

V - 7 -2- d) Isotërme de TEMKIN :

L'équation est représentée sur la figure 23 .

On reporte le graphe $x/m = f (\text{Log } C)$.

I/a est donné par la pente de la droite .

$(I/a) \text{Log } a$ est donné par l'ordonnée à l'origine .

$(I/a) \text{Log } d = 0.147$ et $I/a = 0.0381$

D'où l'équation de TEMKIN devient :

$$x/m = 0.147 + 0.0381 \text{ Log } C$$

CONCLUSION :

Après cette étude on peut dire que l'adsorption sur du charbon actif granulé est mieux représentée par l'équation de LANGMUIR que par les autres équations (TEMKIN; FREUNDLICH ;HENRY ;;..) . Mais aucune de ces formules ne traduisent pas exactement le type d'adsorption . Ces formules ont été proposées dans le but de se rapprocher de la réalité .

On peut dire que l'adsorption se fait par monocouche ,; mais pour connaître la nature d'adsorption , il est nécessaire de faire une étude d'isotherme à une température différente de 30°C afin qu'on peut déterminer la chaleur d'adsorption qui nous permet de conclure s'il s'agit d'une Chimisorption ou une Physisorption . Mais d'après la régénération on peut dire qu'il s'agit d'une adsorption chimique car lors de la désorption le phénomène n'est pas réversible .

V-7-3 - Calcul de la hauteur de la zone d'adsorption :

Ce calcul se fera pour trois hauteurs du lit d'adsorption différentes et chacune correspondra pour trois débits différents .

Cette ^{hauteur} de la zone d'adsorption est donnée par la formule

Les résultats se résument dans les tableaux suivants :

a) Une hauteur du lit = 40 cm et une masse du lit = 36.831 g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
τ (mn)	29.25	8.25	4.25
D (mn)	89.00	56.50	41.00
f	0.298	0.330	0.316
H _a (cm)	50.80	79.84	92.67

b) POUR une hauteur du lit = 80 cm

Masse du lit = 73.662 g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
τ_R (mn)	76.5	25.25	16.5
τ_S (mn)	145	100	72.5
f	0.364	0.313	0.301
H _a (cm)	54.02	122.93	134.30

- c) Pour une hauteur du lit = 120 cm .
 Masse du lit = 112.291 g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
Z_R (mn)	133.75	51	36.25
Z_S (mn)	215	131	94
f	0.367	0.309	0.315
H_R (cm)	59.607	126.78	127.30

CONCLUSION :

D'après ces résultats on constate que la hauteur de la zone d'adsorption augmente avec le débit pour une hauteur du lit donnée .
 Pour un débit donné on remarque aussi que la hauteur de la zone d'adsorption augmente avec la hauteur du lit .

D'où une augmentation du débit conduit à une rupture plus rapide .
 On a trouvé que le temps de rupture est proportionnel a (I/D) .

(voir figure 24 .) : .

V-7- 4- Calcul de l'activité dynamique :

A partir de la formule () on peut calculer cette activité pour les différentes hauteurs à différents débits .

Les résultats se résument dans les tableaux suivants :

a) Pour une hauteur du lit = 40 cm et une Masse du lit = 36? 36.83I g .

D (ml . mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
Z_R (mn)	29.25	8.25	4.25
a_d (mmole.g ⁻¹)	1.431	0.865	0.594

b) Pour une hauteur du lit =80 cm et une Masse =73.662 g .

D (ml . mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
Z_R (mn)	76.5	25.25	16.5
a_d (mmole.g ⁻¹)	1.872	1.324	1.153

c) Pour une hauteur du lit = 120 cm et une Masse =112.29I g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
Z_R (mn)	133.75	51	36.25
a_d (mmole;g ⁻¹)	2.147	1.754	1.739

CONCLUSION :

D'après ces résultats on remarque que l'activité dynamique diminue lorsque le débit augmente .
 Pour un débit donné l'activité dynamique augmente avec la hauteur du lit , c'est à dire la quantité de solution à traiter au point de rupture sera de plus en plus importante .

V -7-5- Calcul de l'activité statique :

Les calculs se basent sur les formules et
 Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

a) Pour une hauteur du lit = 40 cm et Masse = 73.662 g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
A _s (mmole)	77.345	81.028	74.398
a _s (mmole.g ⁻¹)	2.10	2.20	2.02

b) Pour une hauteur du lit = 80cm et une Masse = 73.662 g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
A _s (mmole)	152.796	161.31	157.636
a _s (mmole/g)	2.07	2.19	2.14

c) Pour une hauteur du lit = 120 cm et une Masse = 112.291 g .

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
A _s (mmole)	241.425	253.623	207.9
a _s (mmole.g ⁻¹)	2.15	2.26	2.08

CONCLUSION :

On sait que l'activité statique est une donnée caractéristique pour chaque adsorbant. On remarque dans notre cas qu'elle varie légèrement en fonction du débit et de la hauteur du lit ; cela est du aux erreurs commis lors de l'expérience . On peut prendre l'activité moyenne qui est $a_s = 2.13$ millimole par gramme .

Comme on sait que l'activité statique est la quantité adsorbée jusqu'au temps d'équilibre rapporté à la masse du lit donc on peut obtenir a_s à partir de l'isotherme d'adsorption (voir figure 19) .

On trouve que $a^* = 0.125$ g/g ce qui correspond à une concentration initiale $C_0 = 0.515$ mole par litre .

On sait qu'une mole d'acide acétique pèse 60.05 g donc $a_s = (a^*/60.05) = 0.00208$ mole/g d'où $a_s = 2.08$ mole/g mmole/g .

D'où on peut en conclure que cette dernière valeur $a_s = 2.08$ obtenue à partir de l'isotherme d'adsorption est presque égale à celle obtenue à partir des courbes de réponses .

Donc l'activité statique du charbon actif granulé est de 2.10 millimole par gramme .

V-7-6 -Etablissement de l'équation de SHILOV :

Pour avoir cette équation il faut tracer le graphe donnant le temps de rupture en fonction de la hauteur du lit .

Comme on a trois débits différents donc on aura trois équations différentes .

L'équation de SHILOV est donnée par la formule

La pente de la droite nous donne le coefficient K ; voir figure 34 .

Les valeurs obtenues se résument dans le tableau suivant :

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
K (mn/cm)	1.265	0.509	0.405
H ₀ (cm)	21	32	38
τ_0 (mn)	4.5	3	2

D'où les équations de SHILOV seront :

Pour un débit = 3.5 ml.mn⁻¹ .

$$\tau_R = 4.5 + 1.265 (H - 21) .$$

Pour un débit = 7.5 ml.mn⁻¹

$$\tau_R = 3 + 0.509 (H - 32) .$$

Pour un débit = 10 ml.mn⁻¹ ;

$$\tau_R = 2 + 0.405 (H - 38) .$$

On sait que la vitesse de déplacement du front d'adsorption est donnée par l'inverse du coefficient de SHILOV ; d'où on aura trois vitesses différentes , chacune correspondra à un débit donné . Cette vitesse est notée par u .

D (ml;mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
u (cm/mn)	0.79	1.96	2.47

CONCLUSION :

On remarque d'après les résultats obtenus que le débit a une nette influence sur le temps de rupture .

En diminuant le débit de la solution , le temps de rupture augmente rapidement , voir figure 34 et surtout pour des hauteurs du lit élevées .

On remarque aussi que la vitesse de déplacement du front d'adsorption augmente avec le débit ce qui est en accord avec la théorie .

On peut établir ces équations de SHILOV à partir de l'isotherme d'adsorption .

Cette étude sera faite par la suite dans notre polycopé .

V - 7 - 7 - Interpré des résultats obtenus avec du charbon actif régénéré :

V-7-7-A- Charbon actif régénéré une seule fois :

L'étude sera faite sur une hauteur du lit de 120 cm pour trois débits différents, voir figures 31 ; 32 ; 33 , et une masse du lit égale à 112.291 g .

Les temps de rupture et les temps de saturation sont résumés dans le tableau suivant :

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
τ_R (mn)	105	42	32
τ_S (mn)	182.5	111	67

D'après ces résultats on peut dire que la régénération donne des bons résultats , on remarque que la désorption du charbon actif n'est pas réversible .

V-7-7-A-1 Calcul de l'activité dynamique :

En utilisant la formule on peut calculer l'activité dynamique .
Les résultats se résument dans le tableau suivant :

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
τ_R (mn)	105	42	31
a_d (mmole.g ⁻¹)	1.676	1.445	1.422

On remarque que l'activité dynamique obtenue avec du charbon actif régénéré est inférieur à celle obtenue avec du charbon actif frais .

Cette régénération sur une colonne de 120 cm donne des résultats meilleurs qu'avec une colonne de 80 cm remplie avec du charbon actif granulé frais .

V-7-7-A-2- Calcul de la hauteur de la zone d'adsorption pour la première régénération

Hauteur du lit = 120 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
f	0.376	0.323	0.324
H _a (cm)	67.82	128.80	136.67

V-7-7-A-3- Calcul de l'activité statique :

Hauteur du lit = 120 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
A _s (mmole)	225.428	229.75	233.776
a _s (mmole/g)	2.007	2.046	2.080

CONCLUSION :

On remarque que l'activité statique est légèrement inférieure à celle obtenue avec du charbon actif frais .

V-7-7-B- Charbon actif régénéré une deuxième fois :

Cette étude sera faite sur une colonne de 120 cm et une masse du lit de 112.291 g pour trois débits différents ; voir figures 31 ; 32 ; 33 .
Les résultats obtenus sont les suivants :

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
Z _R (mn)	100.6	38	21.5
Z _S (mn)	172.5	82	75

CONCLUSION :

On remarque que la deuxième régénération donne des bons résultats et meilleurs qu'avec une colonne de hauteur 80 cm remplie avec du charbon actif granulé frais .
D'où la deuxième régénération donne des résultats qui se rapprochent des résultats obtenus avec la première régénération .

V-7-7-B-1- Calcul des activités dynamiques :

Les calculs se basent sur la formule .

Les résultats se trouvent dans le tableau suivant :

D (ml.mn ⁻¹)	3.5	7.5	10
Z _R (mn)	100.6	38	21.5
a _d (mmole/g)	1.615	1.307	0.986

D'après ces deux régénérations on remarque que l'activité dynamique diminue avec le nombre de régénération pour un débit donné .
 On remarque aussi que le temps de rupture et l'activité dynamique diminuent quand le débit augmente ; c'est à dire que la solution à traiter à ce temps de rupture diminue .

V-7-7-B-2- Calcul de la hauteur de la zone d'adsorption pour la deuxième régénération :

Hauteur du lit = 120 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
τ_R (mn)	100.6	38	21.5
τ_s (mn)	172.5	82	75
f	0.363	0.383	0.328
H_a (cm)	68.10	96.26	164.41

f se calcul à partir de la formule $f = \frac{\tau_R}{\tau_s}$ et les aires se calculent par la méthode des trapèzes .

V-7-7-B -3- Calcul de l'activité statique dans le cas de la deuxième régénération :

Hauteur du lit = 120 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
A_s (mmole)	213.231	196.400	183.745
a_s (mmole/g)	1.92	1.82	1.67

CONCLUSION

D'après ces résultats on remarque que l'activité statique diminue avec le nombre de régénération car il reste des molécules d'acides fixées au charbon et on a aussi une destruction partielle de la surface du charbon .

V-7-8- Calcul du temps stoechiométrique :

Il sera calculer à partir de la formule

L'activité statique sera égale à la valeur moyenne de nos résultats ($a^* = 2.10 \text{ mole/g}$)

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

a) Pour une hauteur du lit = 40 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
Z_{st} (mn)	42.91	20.02	15.02
C_{st} (mole/l)	0.249	0.232	0.289
C_{st}/C_0	0.483	0.451	0.561

b) Pour une hauteur du lit = 80 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
Z_{st} (mn)	86	40.05	30
C_{st} (mole/l)	0.10	0.205	0.260
C_{st}/C_0	0.194	0.398	0.504

Ce calcul est fait dans le but de calculer le temps de rupture conventionnel .

V-7-9- Calcul du temps de rupture conventionnel :

Il est donné par la formule

L'aire W_{st} est calculée par la méthode des trapèzes .

Ce temps de rupture conventionnel Z_{RC} diffère peut du temps de rupture R .

Les résultats se résument dans les tableaux suivants :

V-7-8- Calcul du temps stoechiométrique :

Il sera calculer à partir de la formule

L'activité statique sera égale à la valeur moyenne de nos résultats ($a^* = 2.10 \text{ mole/g}$)

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

a) Pour une hauteur du lit = 40 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
\bar{z}_{st} (mn)	42.91	20.02	15.02
C_{st} (mole/l)	0.249	0.232	0.289
C_{st}/C_0	0.483	0.451	0.561

b) Pour une hauteur du lit = 80 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
\bar{z}_{st} (mn)	86	40.05	30
C_{st} (mole/l)	0.10	0.205	0.260
C_{st}/C_0	0.194	0.398	0.504

Ce calcul est fait dans le but de calculer le temps de rupture conventionnel .

V-7-9- Calcul du temps de rupture conventionnel :

Il est donné par la formule

L'aire W_{st} est calculée par la méthode des trapèzes .

Ce temps de rupture conventionnel τ_{RC} diffère peut du temps de rupture τ_R .

Les résultats se résument dans les tableaux suivants :

a) Hauteur du lit = 40 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
τ_{st} (mn)	42.91	20.02	15.02
C_{st} / C_0	0.483	0.451	0.561
W_{st} (mole)	6.591	11.18	16.675
τ_{RC} (mn)	27.77	7.16	3.477

b) Hauteur du lit = 80 cm .

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
τ_{st} (mn)	86	40.05	30
C_{st} / C_0	0.194	0.398	0.504
W_{st} (mole)	2.647	12.304	18.772
τ_{RC} (mn)	70.86	24.04	15.576

CONCLUSION :

D'après ces résultats on remarque que τ_{RC} est proportionnel à $1/D$ pour une hauteur du lit donnée . Voir figure 39 .

Pour une hauteur du lit = 40 cm on a établi l'équation suivante

$$\tau_{RC} = 0.75 + 130.22 (1/D - 0.08) .$$

Ce temps de rupture conventionnel peut être calculé par une autre méthode qui sera étudiée par la suite .

V-7-10- Détermination directe du temps de rupture conventionnel :

La méthode consiste à réaliser une expérience sur une hauteur du lit égale à 80 cm de masse égale à 73.662 g .

Tout d'abord on calcul le temps stœchiométrique à partir de la formule

Avec $a^* = 2.10 \text{ mmole/g}$: (activité statique donnée par l'isotherme d'adsorption)
 On réalise la manipulation et juste à ce temps τ_{st} on déterminera la concentration de la solution en prenant un échantillon à la sortie de la colonne . Cette concentration correspondra à C_{st} .

Pour connaître la quantité d'adsorbat W_{st} il faut déterminer la concentration moyenne du volume de la solution recueillie entre le temps initial et le temps stœchiométrique .

A partir de la formule on peut déterminer le temps de rupture conventionnel pour un débit voulu .

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
τ_{st} (mn)	86	40.05	30
C_{st} (mole/l)	0.189	0.261	0.263
C_m (mole/l)	0.0185	0.052	0.063
W_{st} (mmoles)	5.55	15.6	18.9
τ_{RC} (mn)	69.23	24.11	15.67

CONCLUSION :

D'après ces résultats on peut établir une relation entre τ_{RC} et le débit (la courbe est portée sur le graphe 39) .

ON a trouvé la relation suivante :

$$\tau_{RC} = 6.67 + (I/D - 0.07) 288.89$$

En comparant τ_{RC} obtenu par la méthode des courbes de réponse et la méthode directe on remarque qu'ils sont presque égaux .
 Cette méthode directe est très avantageuse et elle nous renseigne sur le temps de rupture .

V-7-II- Etablissement de l'équation de SHILOV à partir de l'isotherme d'adsorption

Elle est donnée par la formule

Le travail consiste à déterminer le coefficient K et les constantes β et H_0 .

1°) Calcul du coefficient de SHILOV :

Par identification avec l'équation de SHILOV relative au processus idéal nous avons

$$K = \frac{\rho_A \cdot a_s}{m \cdot Y_1}$$

- Avec
- ρ_A : Densité apparente de l'adsorbant = $430 \text{ kg}_a \cdot \text{m}^{-3}$
 - A : Section droite de la colonne = $0.214 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
 - a_s : Activité statique, s'exprimant en kg d'adsorbant par kg d'adsorbant
 - $\frac{\rho}{m}$: Débit massique en $\text{kg}_{\text{inerte}}/\text{seconde}$.
 - Y_1 : Concentration initiale exprimée en kg d'adsorbant par kg d'inerte

A partir de l'isotherme d'adsorption (figure I9) on peut obtenir la quantité adsorbée à l'équilibre par kg d'adsorbant qui correspond à la concentration initiale $Y_1 = 0.03092 \text{ kg}_a/\text{kg}_i$

La valeur trouvée est $a^* = 0.125 \text{ kg}_a/\text{kg}_{\text{adsorbant}}$.

En pratique on admet que $a_s = 0.96 a^*$ d'où $a_s = 0.12 \text{ kg}_a/\text{kg}$.

L'équation est établie pour un débit de 3.5 ml/m^2 ce qui correspond à

$$\frac{\rho}{m} = 0.58 \cdot 10^{-4} \text{ kg}_i/\text{sec} ;$$

D'où

$$K = 6157.4 \text{ sec/m} \text{ . ou } K = 1.026 \text{ mn/cm} \text{ .}$$

2°) Calcul du temps de saturation de la première couche :

Il est donné par la formule

$$\tau_0 = \frac{\rho_A}{\beta \cdot S_0} \int_0^{a_s} \frac{da}{Y_1 - Y^*}$$

Avec β : Coefficient de transfert de matière ($\text{kg}_a \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)

S_g : Surface spécifique = $1640 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Y^* : C'est la concentration à l'équilibre pour chaque quantité d'adsorbant a .

Pour déterminer ces paramètres il faut passer par les étapes suivantes .

2°) -a- Détermination de la courbe $Y = f(a)$:

Les valeurs se résument dans le tableau suivant .

Y	0.0011	0.0023	0.0070	0.0085	0.0101
a	0.019	0.037	0.062	0.072	0.082
Y	0.0118	0.0152	0.0169	0.0222	0.0258
a	0.085	0.093	0.101	0.107	0.112
Y	0.0318	0.0406	0.0554	0.0859	0.1153
a	0.128	0.133	0.155	0.160	0.176
Y	0.1459	0.1765	0.2072	0.2375	-
a	0.176	0.176	0.176	0.184	-

Une fois qu'on a représenté la courbe $Y = f(a)$. voir figure 36 ; on tracera la droite opératoire et ensuite on déterminera les Y^* qui se résument dans le tableau suivant :

a	$Y^* \cdot 10^3$	$Y_1 - Y^*$	$1 / (Y_1 - Y^*)$
0.00	0.0	0.0309	32.360
0.03	2.0	0.0289	34.602
0.04	3.2	0.0277	36.101
0.05	4.7	0.0262	38.168
0.06	6.4	0.0245	40.820
0.07	8.3	0.0226	44.248
0.08	10.6	0.0203	49.261
0.09	13.1	0.0178	56.180
0.0.10	16.6	0.0143	69.930
0.11	21.2	0.0097	103.093
0.115	24.00	0.0069	144.927
0.12	27.2	0.0037	270.270

Le calcul de $\int_0^{a_0} \frac{da}{\gamma_1 - \gamma^*}$ se fait par la méthode graphique dans notre cas on a utilisé la méthode du trapèze . (voir figure 37) .

On trouve que $\int_0^{a_0} \frac{da}{\gamma_1 - \gamma^*} = 6.58$

2°) -b- Détermination du coefficient de transfert de matière :

Il dépend de différents facteurs .

- Calcul du nombre de REYNOLDS :

$$R_e = \frac{G \cdot d_e}{\eta}$$

Avec G: Débit massique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

d_e : Diamètre équivalent des grains

η : Viscosité dynamique de l'eau ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) .

Pour l'eau $\eta = 0.86 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$G = \frac{W \cdot \rho_L}{\epsilon}$$

Avec ϵ : porosité du lit = 0.368

$\rho_L = 1050 \text{ kg/m}^3$.

$$W = \frac{m}{A \cdot \rho_L} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \text{et } d_e = 1.6 \times 10^{-3} \text{ m} .$$

Donc maintenant on peut calculer G et R_e ;

$$G = 0.736 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} . \quad \text{et } R_e = 1.37$$

- Calcul du nombre de SHERWOOD :

Il est donné par la formule

$$Sh = C \cdot R_e^A \cdot Sc^B .$$

Connaissant le nombre de REYNOLDS on peut déterminer les constantes C, B et A à partir du tableau suivant .

- 1 - NERETNIEKS; J . Chem. Eng . 31 , 107 (1966)
- 2 - PTANOUSM . A . N . RAMM U.N U.N.T (1974) .
- 3 - AEROU M . E , VMNIKOU N.N 26 , 1233 (1956) .
- 4 - MICHAELS A.S ind . ENG . Chem. 44 , 1922 (1952)
- 5 - LINTON M. , Chim. Eng . 12 , 214 (1960) .
- 6 - ZIOTKOUSCIS Thermo (1977) .
- 7 - THOENES D. URAMERS Chem . Eng . 8 , 217 (1958) .

Forme des adsorbants	C	A	B	Re	Proposé par
Grains	0.883	0.47	0.33	0.6 - 30	I
Grains	0.395	0.54	0.33	Inf à 30	I
Sphères	0; 0.395	0.64	0.33	Inf à 30	2
Sphères	0.725	0.47	0.33	2 - 30	2
Sphères	0.515	0.85	0.33	Inf à 2	2
Sphères	0.582	0.50	0.33	30 - 500	3
Grains	1.6	0.54	0	-	4
Cylindres	0.810	0.40	0	0 - 80	5
Cylindres	0.695	0.46	0	80 - 500	5
Sphères	1.0	0.50	0.33	40 - 4000	6
Grains	1.15	0.50	0.33	-	7

D'après ce tableau C = 0.883 ; A = 0.47 ; B = 0.33 .

D'où $Sh = 0.883 R_e^{0.47} Sc^{0.33}$

- Calcul du nombre de SCHMIDT :

$Sc = \frac{n}{\int D_L}$ Avec D_L : Coefficient de diffusion de l'acide acétique

D'où $Sc = 930.74$ AVEC $D_L = 0.88 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

Connaissant le nombre de REYNOLDS , de SCHMIDT on peut calculer le nombre de SHERWOOD .

$Sh = 9.771$

Le nombre de SHERWOOD peut être exprimé par une autre formule .

$Sh = \frac{B_g \cdot d_e}{D_L}$ D'où on peut obtenir $B_g = 5.37 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

On peut calcul maintenant le coefficient de transfert de matière .

D'où $B = \rho_q \cdot \rho_L = 5.64 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
 $\tau_0 = 905.89 \text{ secondes}$. $\tau_0 = 5.1 \text{ mn}$.

3°) Détermination de la hauteur H_0 :

Le calcul se base sur la formule suivante $H_0 = n h$
 Avec n : nombre d'unités de transfert de matiere .
 h : hauteur d'unités de transfert de matiere .
 h est donnée par la formule $\frac{a_0}{m}$

n est donné par $\int_{a_0}^{a^*} \frac{da}{a^* - a} B_0 S_0 A$ (Voir figure 38)

On admet que $a_0 = 0.01 \text{ kg}_a / \text{kg}_{\text{adsorbant}}$.

Pour représenter $1/(a^* - a)$ en fonction de a , on doit établir le tableau suivant .

$a \times 10^3$	$a^* \times 10^3$	$(a^* - a) 10^3$	$(a^* - a)^{-1}$
10	19.5	9.5	105.263
15	32.0	17.0	58.824
20	43.0	23.0	43.478
30	60.0	30.0	33.333
40	73.5	33.5	29.851
50	85.0	35.0	28.571
60	95.0	35.0	28.571
70	102.5	32.5	30.769
80	108.0	28.0	35.714
90	113.0	23.0	43.478
100	117.0	17.0	58.823
105	119.0	14.0	71.428
110	121.0	11.0	90.909
115	123.0	8.0	125.000
120	125.0	5.0	200.000

Après integration graphique on trouve que $n = 5.47$..

D'où la hauteur $H_0 = 16 \text{ cm}$.

Donc l'équation de SHILOV pour un débit = 3.5 ml/mn devient

$$\tau_R = 5.1 + 1.026 (H - 16) \quad (I)$$

Par exemple pour une hauteur du lit égale à 40 cm le temps de rupture = 29.72 mn ..
En comparant cette valeur obtenue à partir de l'équation (I) et celle obtenue à partir de la courbe de réponse ($\tau_R = 29.25$ mn), on remarque qu'elles sont presque les mêmes .

Comme on a trois débits donc on peut établir trois équations de SHILOV

- Débit = 3.5 ml/mn ..

$$\tau_R = 5.1 + 1.026 (H - 16) \quad ; ;$$

- Débit = 7.5 ml/mn ..

$$\tau_R = 3.55 + 0.476 (H - 24.1) \quad ; ;$$

- Débit = 10 ml/mn ..

$$\tau_R = 3.1 + 0.357 (H - 28) \quad ; ;$$

On peut aussi déterminer la vitesse de déplacement du front d'adsorption à partir de l'isotherme d'adsorption . $u = I/k$

D (ml/mn)	3.5	7.5	10
k (mn/cm)	1.026	0.476	0.357
u (cm/mn)	0.975	2.101	2.801

CONCLUSION :

On remarque que la vitesse de déplacement du front d'adsorption augmente avec le débit ;
On a trouvé une relation entre u et le débit et ce en traçant dans un graphe (35) u en fonction du débit ; on a obtenu une droite d'équation $u = 0.28 D \quad ; ;$

CONCLUSION

L'adsorption de l'acide acétique sur du charbon actif granulé (sous forme de cylindre) a donné une isotherme du type I et on remarque qu'elle est mieux représentée par l'équation de LANGMUIR .

Pour des faibles concentrations , la quantité d'acide acétique adsorbée par gramme de charbon varie lineairement , tandis que pour des concentrations élevées , la quantité d'acide adsorbée ne varie plus au delà d'une certaine valeur .

Dans le cas de l'adsorption dynamique , on a remarqué que le temps de rupture est proportionnel à l'inverse du débit (I/D) à partir d'une certaine valeur , et on a remarqué que pour des faibles débits on a un temps de rupture élevé . Ensuite on a établi l'équation de SHILOV de deux manières différentes et on a constaté qu'on a une légère différence entre ces équations .

Ensuite on a travaillé avec du charbon régénéré et on a constaté qu'il donne des bonsrésultats , .

Ona établie une relation qui relit la vitesse d'adsorption et le débit , ($u=0.28D$)
Il est commode de dimensionner un adsorbueur dans une prochaine étude .

BIBLIOGRAPHIE .

- P . WUTHIER .
Raffinage et Génie Chimique T₁ (1972)
- S . E . CHITOUR .
Chimie - physique des phénomènes de surface . ALGER 1979 .
- 4 - J . M . THOMAS and W . J . THOMAS
Introduction of hétérogèneous catalyses .
Academic Press . London . (1967) .
- 3 - M . M . DUBININ .
- 5 - A . DEXANT .
Chimie et industrie . Génie Chimique Vol. 105 . N° 23 NOV 1972 .
- 6 - M . R . PAPIN , Ing. E P C I
Informations chimie N° 118 Mars 1973 .
- 7 - R . BLIN , GOHIN , POULENC et G . PALLIER , CECA .
Inf . chimie N° 135 AOUT SEPT 1974 .
- 10 8 - MONTELL . TECHNIQUE de l'ingénieur T₂ (J 1732) .
- 9 - TREYBAL .
Mass - Transfert operations (1968) .
- 11 - NACEF . S . " Etude de l'adsorption " JUIN 1980 .
- 12 - EVERALDO . " Conception d'un reacteur de recuperation d'acide " Fevrier 1981 .
- 13 - O . BARKAT . " Recherche sur les courbes de réponse dans le cas d'adsorption
en phase liquide " . Fevrier 1981

