

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

2/83

»O«

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

" HOUARI BOUMEDIENE "

»O«

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département Génie - Sanitaire

PROJET DE FIN D'ETUDES

»O«

**ELIMINATION DES PHENOLS CONTENUS DANS L'EAU
PAR ADSORPTION SUR UN LIT DE CHARBON ACTIF**

Sous la direction de :

Mr A. GAID
Vice recteur à l'USTHB

Etudiée par :

Melle FERHATI Zahra

JUIN 1983

مدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

»O«

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

" HOUARI BOUMEDIENE "

»O«

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département Génie - Sanitaire

PROJET DE FIN D'ETUDES

»O«



**ELIMINATION DES PHENOLS CONTENUS DANS L'EAUS
PAR ADSORPTION SUR UN LIT DE CHARBON ACTIF**

Sous la direction de :

Mr A. GAID
Vice recteur à l'USTHB

Etudiée par :

Melle FERHATI Zahra

JUIN 1983

A MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS (ES)

AVANT PROPOS

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser cette étude.

En particulier à monsieur GAÏD A, vice recteur des affaires administratives générales à l'université des sciences et de la Technologie Houari Boumediène [USTHB], qui a accepté malgré ses différentes responsabilités, de diriger ce travail. Je le remercie pour l'intérêt qu'il a porté à cette recherche et la confiance qu'il a su me témoigner.

Mes remerciements vont également aux membres du jury, en particulier à madame NEZZAL, chef de département génie sanitaire à l'école nationale polytechnique d'ALGER, qui ont bien voulu honorer de leur présence et d'avoir accepté la critique de ce travail.

Ainsi qu'à monsieur PINKOLA LASZLO ingénieur chimiste à l'institut national des ressources en hydraulique [INRH], dont je lui dois surtout ses précieux enseignements techniques, pour la réalisation du procédé de montage.

- Je remercie également monsieur REBHI directeur des laboratoires de l'institut national des ressources en hydraulique, qui m'a

permis l'accès aux laboratoires

ET à tous les techniciens des laboratoires de :

L'institut national des ressources en hydraulique ,

du département génie sanitaire de l'école nationale polytechnique

d'ALGER, pour l'aide qu'ils m'ont portée .

Ainsi qu'à monsieur BELKATEB qui m'a aidé à

la confection de ce mémoire .

I INTRODUCTION

II THEORIE

II - 1 Adsorption statique

1 - 1 Définitions et généralités

1 - 2 Phénomènes d'interaction

1 - 3 Types d'adsorption

1 - 4 Chaleur d'adsorption

1 - 5 Facteurs influençant l'adsorption

1 - 6 Equilibre d'adsorption

6 - 1 Définition

6 - 2 Classification des isothermes

6 - 3 Equations des isothermes

1 - 7 Adsorption en phase liquide

7 - 1 Introduction

7 - 2 Isotherme apparente

7 - 3 Isotherme individuelle

1 - 8 Les Adsorbants

8 - 1 Généralités

8 - 2 Les principaux adsorbants

8 - 3 Charbon actif

8 - 3 - 1 Définition

8 - 3 - 2 Préparation du charbon actif

8 - 3 - 4 Application du charbon actif

8 - 3 - 5 Avantages et Inconvénients

8 - 3 - 6 Procédés à colonnes multiples

7 Conclusion

2 - 9 Dynamique d'adsorption

9 - 1 Définitions

9 - 2 Phénomènes mis en jeu

9 - 3 Bilan de matière lors de l'utilisation
du charbon actif

III Partie expérimentale

III - 1 Principe et méthode de dosage

III - 2 Étude par spectrophotométrie

III - 3 Résultats expérimentaux

IV Conclusion

Bibliographie

Annexes

INTRODUCTION

A l'heure actuelle où l'on prend conscience de la valeur des matières premières, il ne faudra pas oublier que l'eau en est une à part entière car elle est indispensable à notre vie. Les temps modernes ont contribué à l'accroissement de ce fleau qu'est la pollution cela a nécessité la mobilisation des efforts de toute la nation dans la lutte pour l'amélioration. L'ALGERIE a donc pris la décision de contribuer à cette lutte, en adoptant un projet de loi relatif à la protection de l'environnement axé sur deux idées :

- La définition des principes fondamentaux relatifs à la protection de l'environnement
- La mise en œuvre des différents moyens nécessaires à cet effet " (1)

L'homme doit examiner l'eau, avant qu'il procède à l'utiliser pour un but visé. A cet effet les méthodes d'analyse des eaux emploient des procédés de séparation et de détermination chimique et physico-chimique

(1) Ref: EL-Moudjahid N° 225 du 20 avril 1982

- 2 -

très compliquées, effectuées à l'aide d'instruments de mesure et d'indication fonctionnant selon des principes variés, ainsi que des procédés microbiologique

Parmi ces procédés physico-chimique nous avons retenus l'adsorption sur un lit de charbon actif pour l'élimination des phenols.

Les phenols en tant que pollution organique dissoute donne à l'eau même s'il n'est présent que dans des quantités allant de $0,01 \text{ mg/L}$ à $0,1 \text{ mg/L}$, une odeur et un goût très caractéristique, ainsi le charbon intervient dans l'amélioration de la qualité de cette eau.

CHAPITRE II : THEORIE

II-1 Adsorption statique

II-1-1 Définition et généralités

Les molécules ou les réseaux de molécules, présentent un certain nombre de champs de forces d'attraction ou de répulsion, qui sont à l'origine de tous les phénomènes en chimie de surface. Cette remarque permet de penser que le passage d'un mélange pollué, à travers un milieu solide provoque l'élimination d'un corps polluant présent dans ce mélange. Ce passage induit un réseau de forces qui retiennent de façon spécifique le corps à éliminer sans en transformer la nature.

L'adsorption peut être définie comme étant le phénomène de fixation, sans modification de son identité physique, d'un corps par un milieu au moyen d'un champ de forces d'interaction réciproque.

En effet, dans tout corps solide les atomes situés à la surface sont soumis, contrairement aux autres atomes, à la des forces d'attraction non équilibrées. Alors que les forces d'attraction

qu'ils subissent vers l'intérieur n'étant contrebalancées par aucune force extérieure.

La rétention d'éléments polluants présents dans des effluents liquides ou gazeux est bien adaptée à l'emploi de l'adsorption.

II 1. 2 Phénomènes d'interaction

Les forces d'interaction qui interviennent lors de l'adsorption d'un liquide ou gaz sur un solide sont à l'origine de :

Forces électrostatiques

Forces orbitales

2. 1 Forces électrostatiques

a. Forces attractives élémentaires entre particules

Ces forces dérivent d'un potentiel décrit par

la formule suivante :

$$\vec{F} = -g \vec{\text{grad}} \phi$$

avec $\phi < 0$, si les forces sont attractives

$\phi = 0$ à l'infini

Les potentiels sont additifs

b - Forces de VAN-der-Waals entre molecules

On appelle forces de Van-der-Waals la resultante des forces induites par les effets de DEBYE

c - Forces de repulsion d'origine electrostatique

Ces forces de repulsion sont moins bien connues que les forces attractives.

d - Forces d'interaction globale

La force d'interaction globale est la somme des forces attractives et repulsives mises en jeu par un systeme

2.2 Forces d'origine . orbitale

Ce sont des forces qui resultent d'un transfert d'electrons entre particules . Dans le cas d'interaction avec un solide on distingue deux types :

a Les isolants electriques

seule la surface de contact entre particule et le solide est concerné .

b Les corps conducteurs

Les transports electroniques, n'ont pas de limitation geometrique

II.1.3 Types d'adsorption

Le type d'adsorption est caractérisé, par une étude de la surface des solides, et les espèces adsorbées

Il existe deux types d'adsorption :

L'adsorption physique ou physisorption et l'adsorption chimique ou chimisorption

- On appelle adsorption physique le phénomène résultant des forces d'interaction d'origine électrostatique

- On appelle adsorption chimique le phénomène résultant des forces d'origine orbitale

Les phénomènes de rétention et de concentration sont le résultat d'adsorption physique, tandis que les phénomènes catalytiques mettent plutôt en jeu une étape d'adsorption chimique

Tableau suivant résume les différences qui existent entre les deux types d'adsorption :

Propriétés	adsorption physique	adsorption chimique
Température du processus	Relativement basse	plus élevée
chaleur d'adsorption	5 kcal mol ⁻¹ environ	10 kcal mol ⁻¹ environ

Suite page 7

liaison entre gaz et solide	physiques	chimiques
spécificité	processus non spécifique	processus spécifique
desorption	facile	difficile

II 1.4 chaleur d'adsorption

La quantité de chaleur qui se développe durant l'adsorption d'une quantité définie de soluté sur un adsorbant, est appelée chaleur d'adsorption, ΔH : calculer à l'aide de l'équation donnée par VAN THOFF-ARRHENIUS

$$\Delta H = \frac{RT_1 T_2}{T_1 - T_2} [\ln X_{m,1} - \ln X_{m,2}]$$

où :

T_1, T_2 : températures absolues de deux systèmes identiques à la température près

X_m : valeur limitative d'adsorption en une couche pour le modèle d'adsorption d'après Langmuir

En pratique la chaleur d'adsorption des corps dépend de la masse moléculaire de ces corps :

~~ou~~ :
x

II 1 5 Facteurs influençant l'adsorption

Les phénomènes d'adsorption des liquides par des solides est parfois difficiles à interpréter à cause de nombreux facteurs qui l'influencent on peut toute fois mettre en évidence ces facteurs qui dépendent de :

5 - 1 concentration de l'adsorbant en solution

À la limite il s'établit un équilibre entre la concentration de la solution et la masse de polluant adsorbée par unité de surface (ou de masse) de l'adsorbant. Pour les faibles concentrations des produits dissous, le taux d'adsorption suit généralement la loi de Freundlich à l'équilibre :

$$\frac{x}{m} = k C^{\frac{1}{n}}$$

où :

$\frac{x}{m}$ = masse de polluant fixé par unité de masse d'adsorbant

C = concentration résiduelle du liquide en polluant, à l'équilibre

k et n = constantes à une température donnée :

II 5-2 Température

L'adsorption est un processus exothermique si une décroissance en énergie libre doit se manifester, par conséquent, en tant que réaction exothermique, le degré d'adsorption augmente quand la température baisse. La croissance de température, et des valeurs des paramètres d'énergie E et ΔH , est un moyen utile pour déterminer la nature des mécanismes d'adsorption.

II 5-3 Vitesse d'adsorption

L'adsorption en phase liquide est beaucoup moins rapide que celle des gaz. La viscosité de la solution est un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption.

II 5-4 Nature du soluté

La solubilité du soluté est un facteur de réglage pour l'équilibre d'adsorption.

- La géométrie moléculaire du soluté est un deuxième facteur de réglage du transport intraparticulaire et de l'adsorption cinétique.
- La réaction se déroule d'autant plus vite que les molécules de l'adsorbant sont plus petites.

- L'effet de la polarité du soluté : Le soluté polaire manifeste une tendance à préférer la phase qui est plus polaire

- La polarité des composés organiques est fonction de la séparation de charge dans la molécule. D'une façon générale l'adsorption décroît quand la polarité croît :

- La solubilité des composés organiques dans l'eau décroît quand la longueur de la chaîne moléculaire augmente.

Ce fait représente la base du principe essentielle de la règle de Traube : " L'adsorption est minimale pour les espèces chargées (ions) est maximale pour les espèces neutres (molécules) " ()

II 5-5 Nature de l'adsorbant :

L'adsorbant possède trois propriétés

importantes :

- La surface de contact
- La distribution des dimensions des pores
- La dimension des particules
- Les adsorbants ont une action spécifique :

Le gel de silice est un adsorbant énergétique de l'eau, le charbon actif au contraire est adsorbant médiocre pour l'eau

Ref :

5 - 6 Nature du solvant

L'adsorption pour les solides sera plus importante en milieu aqueux, qu'en milieu organique. Le Taux d'adsorption est déterminé principalement par la tension interfaciale solide-liquide avec une approximation suffisante, par la tension superficielle du solvant dans l'air.

5 - 7 les Caractéristiques hydrodynamiques de l'échange, de la vitesse relative des deux phases et tout particulièrement du temps de contact des phases solides et liquides.

II 1 6 Equilibre d'adsorption

6 - 1 Definition

Les isothermes d'adsorption

correspondent à l'équilibre thermodynamique entre l'adsorbat en phase gazeuse et l'adsorbant fixé sur le solide.

L'équilibre est atteint quand la concentration de la solution reste constante quand le temps augmente indéfiniment.

6 - 2 Classification des isothermes

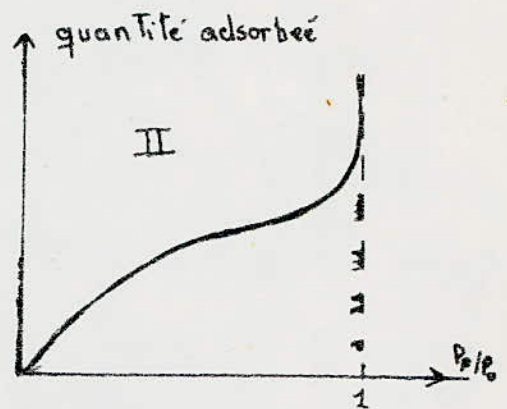
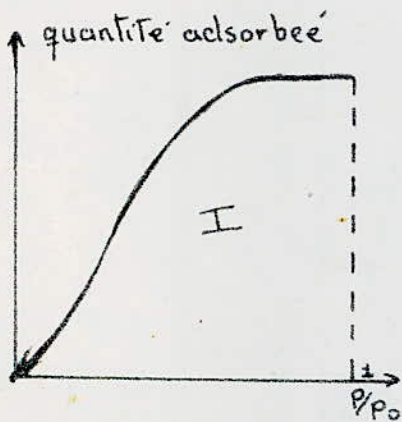
L'examen d'un grand nombre de

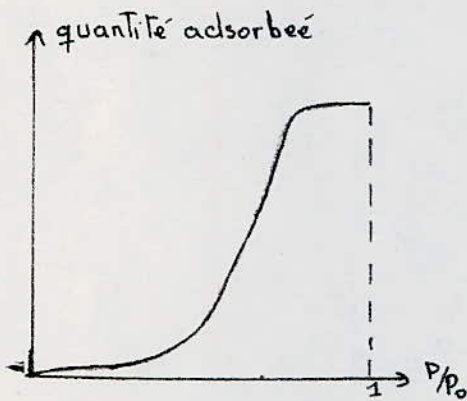
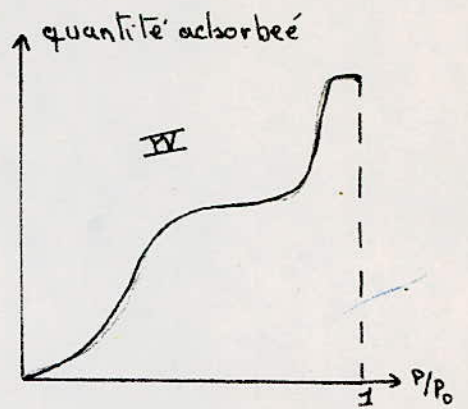
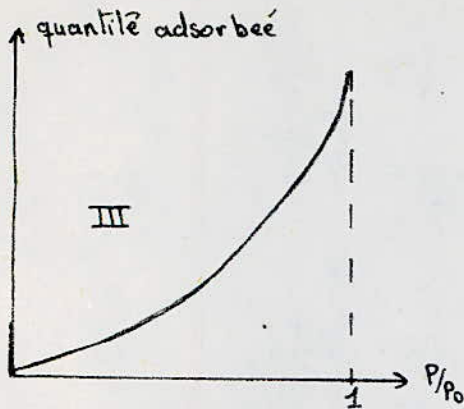
resultats publiés par divers chercheurs a permis à

Braunauer, Deming et Teller de reconnaître, qu'aux

températures inférieures à la température critique du gaz

Les isothermes se divisent en cinq groupes :





- L'isotherme du type I représente la formation d'une couche monomoléculaire adsorbée chimiquement ou physiquement sur un solide non poreux
- L'isotherme du type II, III, IV et V impliquent la formation de couches polymoléculaires
- L'adsorption de la première couche peut être physique ou chimique mais les suivantes sont adsorbées physiquement

6 - 2 Equation des isothermes

La theorie de Langmuir semble être le plus souvent appliquée
nelcée à l'isotherme du type I, basée sur les hypotheses
suivantes :

- L'adsorption s'effectue sur des sites bien définis uniformément
distribués sur la surface du solide, chaque site ne pouvant
recevoir qu'une particule de gaz.
- Tous les sites sont identiques, et il n'y a pas d'interaction entre
les particules adsorbées.

Sur ces hypotheses de Langmuir propose l'equation
emperique : suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{aP}{1 + bP}$$

a et b sont des constantes experimentales dependant de la
nature du fluide et du solide et de la temperature

6 2 - 2 Equation de Freundlich

L'equation dite Freundlich ou de
Van Bemmeler qui concerne l'adsorption, isotherme est basée
sur des rapports empiriques l'etat d'equilibre est exprime'
de la façon suivante :

$$\frac{x}{m} = K C^{1/n}$$

où :

c : concentration du soluté qui reste en solution à l'état d'équilibre

$\frac{\Delta}{m}$: quantité du soluté adsorbé par unité de poids de l'adsorbant solide

k et n : constantes qui doivent être évaluées pour chaque soluté et chaque température

6 2-3 Equation de BRUNAUER, EMMETT et TELLER

La théorie de Langmuir fut développée en 1938 par B.E.T dans les cas d'adsorption polymoléculaire. Une des hypothèses est la possibilité de coexistence de couches superposées. La polycouche sera d'autant plus épaisse que l'affinité adsorbant-adsorbant est plus importante.

L'équation proposée est :

$$\frac{V}{V_m} = \frac{c [P/P_0]}{(1 - P/P_0) (1 - \frac{P}{P_0} + c \frac{P}{P_0})}$$

où :

c : constante

P_0 : tension de vapeur de l'adsorbant liquide

V_m : Volume à (T.P.N) nécessaire pour former une couche monomoléculaire

v : volume à T.P.N de gaz adsorbé à la pression P sur le solide donné.

Hypothèses :

B.E.T sont basés sur les hypothèses suivantes :

a. chaque couche adsorbée obéit à l'équation de Langmuir

b. La chaleur différentielle d'adsorption à partir de la deuxième couche est égale à la chaleur de condensation de la vapeur

c. La chaleur différentielle d'adsorption de la première couche est différente de celle des couches suivantes.

Conclusion

Les équations énoncées ci-dessus trouvent leurs applications ~~application~~ dans divers domaines. Les théories de Freundlich et Langmuir sont utilisées pour la mesure des couches monomoléculaires par contre la théorie de B.E.T sont applicables en couches polymoléculaires. De même les équations dites Langmuir, Freundlich et B.E.T sont aussi applicables dans le domaine d'adsorption

Liquide . La methode la plus sûre pour le calcul des aires d'un adsorbant est interpretée par la theorie de B.E.T,
Le mecanisme des reactions heterogenes est explique par l'adsorption selon la theorie de Langmuir .

II 1 7 Adsorption en phase liquide

7 - 1 Introduction

L'adsorption d'une solution par un solide est beaucoup moins complete que celle de l'adsorption des gaz ou des vapeurs . Chaque constituant de la phase liquide aura une tendance particuliere a l'adsorption sur la surface du solide . Il y a donc "concurrence" entre divers constituants pour le substrat . L'adsorption depend de trois facteurs

- a . La nature chimique de l'adsorbant
- b - la nature chimique de l'adsorbant
- c - La Temperature .

Dans le cas d'une solution binaire . L'isotherme d'adsorption peut être obtenu en mettant une masse convenable de solide en contact avec une solution de titre connu a temperature constante soit x la quantite de solute adsorbe par une masse m de solide , les resultats peuvent être represente en portant $\frac{x}{m}$

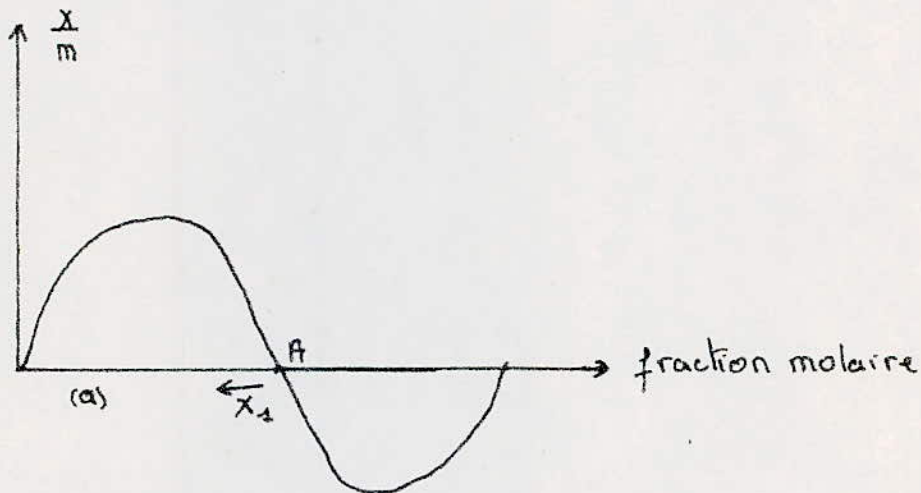
18

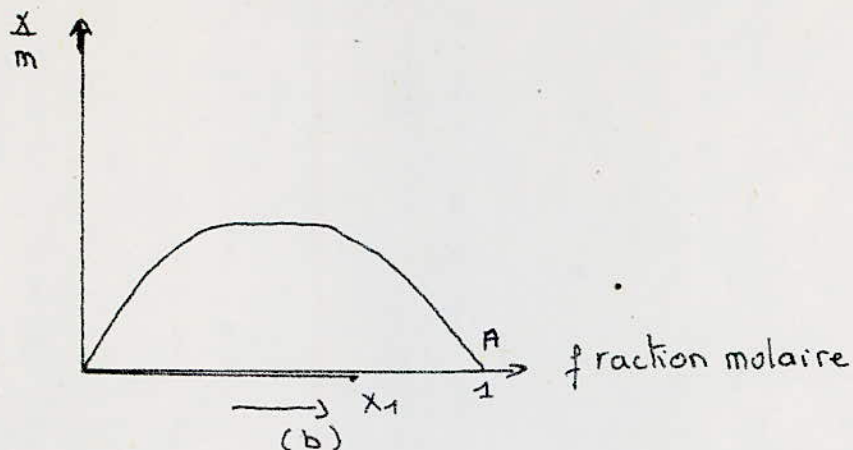
en fonction de la concentration à l'équilibre de la solution le rapport $\frac{x}{m}$ n'est pas la vraie quantité du soluté adsorbé car en principe une adsorption de solvant a lieu en même temps. Par conséquent, la méthode décrite me donne qu'une isotherme d'adsorption apparente.

7 - 2 . Isotherme apparente .

Ce type d'isotherme sa signification est évidente lorsqu'on considère l'adsorption sur un solide d'un mélange de deux constituants miscibles en toutes proportions. (représentés par les indices 1 et 2), dans ce cas on utilise comme unité de concentration la fraction molaire de l'un de ces constituants. (soient x_1, x_2

L'isotherme obtenue .





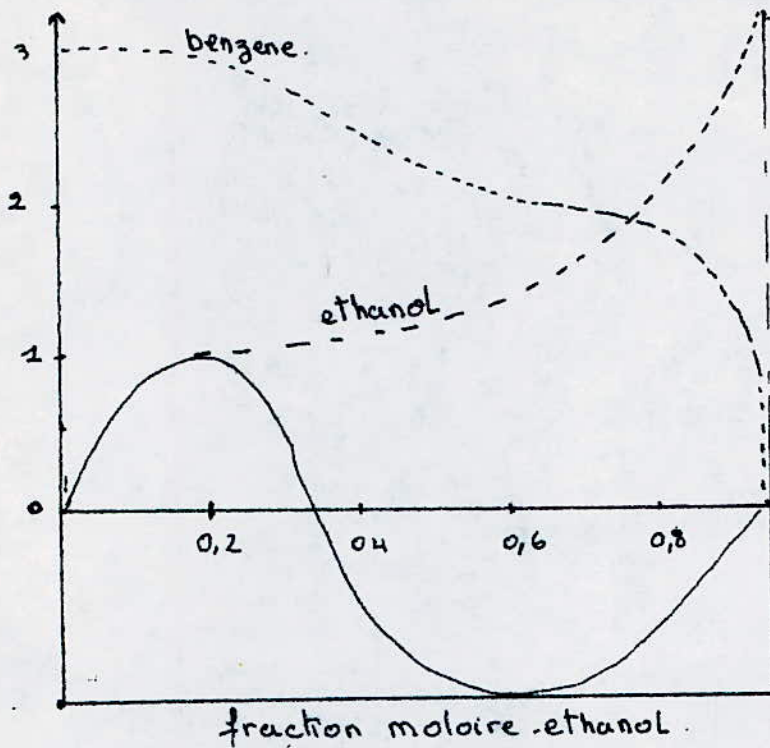
Au point A, l'adsorption apparente est nulle car la composition de la solution n'est pas influencé par le phénomène d'adsorption. La courbe (b) représente un système moins fréquent, c'est à dire que la concentration à l'interface est toujours supérieure à celle de la solution. Il est souvent assez difficile de mesurer l'adsorption apparente.

7 - 3 isothermes individuelles.

La valeur de l'adsorption d'un corps dissous s'obtient en générale par un calcul basé sur l'isotherme d'adsorption apparente.

Lorsqu'un solide est en contact avec un liquide quelconque, l'adsorption conduit toujours à un recouvrement total de la surface. ~~La figure suivante~~

La figure suivante représente les isothermes individuelles dans le cas de l'adsorption des mélanges benzène-éthanol sur le charbon à 20°C.



Isotherme d'adsorption individuelle (ref:)

II 1 - 8 Les adsorbants

8 - 1 Généralités :

Un adsorbant solide est caractérisé

par trois propriétés importantes :

- Surface de contact
- La distribution de dimensions des pores.
- La dimension des particules

L'adsorption est un phénomène superficielle, pour cela on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique, qui est une mesure de la capacité de sorption (adsorption, absorption); La distribution de dimensions des pores peut déterminer quelle portion de surface totale sera disponible pour l'adsorption d'une substance donnée.

Le facteur forme qui quant à lui sera en rapport avec les propriétés mécaniques du solide, en particulier sa résistance à l'attrition

En pratique La détermination de ces grandeurs est relative et dépend de la méthode de mesure.

L'une des caractéristiques les plus importantes de la qualité d'un adsorbant est la surface spécifique. De cette remarque on peut citer plusieurs types d'adsorbants qui ont été mis

au point au cours de ces dernières années

8 2 Les principaux adsorbants

La séparation et la purification des gaz et des solutions par le processus d'adsorption, sur les matériaux solides tels que :

- Charbon activé
- oxydes métalliques activés
- résines synthétiques

Est devenu une opération largement utilisée. De ce fait il est nécessaire de citer quelques adsorbants :

- a - Les minéraux : Alumine et autres oxydes minéraux activés, présentent une très grande surface spécifique : ce sont donc des adsorbants très spécifiques.
- b - organiques : résines macromoléculaires
à surface spécifique comprise entre 300 à 500 m²/g, leur capacité est très médiocre par rapport au charbon actif. par contre ces résines ont une meilleure cinétique d'adsorption

c. Les scavengers : résines anioniques à forte porosité mais présentent une surface spécifique moindre

d. à base de silice : Alumino-silicates (Tamis moléculaires zeolites), gel de silice, terres activées (hydrosilicates, argiles), diatomées

e. charbons actifs : en poudre et en grain
Le but de ce travail s'est basé sur l'emploi d'un adsorbant tel que le charbon actif en grain

8 : 3 Charbon - actif

3 - 1 Définition :

Le charbon actif est un matériau ayant un squelette carboné qui, par oxydation ménagée, a acquis une intense porosité, celle-ci se traduit par une importante surface développée qui a la propriété de fixer, par adsorption, les molécules-organiques.

Le charbon actif peuvent être utilisés sous deux formes :

- en poudre : La taille effective varie de 0,04 et 0,14 mm
- en grain : La taille oscille entre 0,4 à plusieurs millimètres

2 4

Le qualificatif "actif" désigne qu'il s'agit d'un adsorbant possédant des propriétés spéciales

2 Préparation du charbon actif

La production du charbon actif, peut s'effectuer à partir de toute matière carbonisable. Exemples : bois, tourbe, lignite, houille, charbon bitumeux, pâte à papier, résidus ligneux, os, déchets industriels et coques.

L'activation d'un solide consiste en l'élimination, par un traitement chimique ou thermique, des substances bloquant une partie des pores ou une partie de l'adsorbant lui-même, créant ainsi de nouveaux pores, ce qui augmente considérablement la surface de l'adsorbant.

La préparation des charbons actifs se rattache à l'un des modèles d'activation suivant :

- activation chimique
- activation par les gaz.

2 1 Activation chimique

L'activation chimique consiste à mélanger les matières non encore carbonisées, partiellement carbonisées,

ou complètement carbonisés avec des produits chimiques comme l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, le chlorure de zinc, le chlorure de calcium. On sépare la matière inorganique après carbonisation ;

L'activation par un lavage approprié

L'activation se fait à des températures très différentes.

La dureté caractéristique très importante car elle détermine non l'activité de l'adsorbant, en plus les conditions ultérieures de l'exploitation

Notamment le PH des charbons actifs peut être modifié et réglé à une valeur donnée.

2 2 Activation par les gaz

La matière précarbonisée est soumise à une oxydation ménagée en la maintenant dans un courant de gaz telles que : CO_2 , O_2 , Cl_2 , H_2S , H_2O à haute température. Le cas le plus général utilise l'action de la vapeur d'eau à température élevée sur le charbon. Cette oxydation du carbone est régie par les équations suivantes.

26



La différence entre ces deux modèles réside dans la structure des pores ; le charbon activé par les gaz possède relativement plus de micropores, tandis qu'un charbon activé chimiquement possède plus de mesopores. Donc il est nécessaire d'étudier la structure du charbon

3.3.3 structure du charbon actif

La surface totale développée par le charbon actif constitue le critère le plus important. Cependant on remarque que : la taille des pores, leur forme, la répartition des tailles, sont également les paramètres déterminants.

Le charbon actif est considéré comme formé de microcristaux de graphite, Chaque microcristal comprend un empilement de quelques feuillets (10 à 20) cristallins ayant la structure du graphite pur,

Il est nécessaire de rappeler que la porosité du charbon actif se compose de pores de dimensions très variées

Dans le souci de simplification, KELVIN a évalué les dimensions des pores par la formulation suivante :

$$D = \frac{4 \gamma V_m \cos \theta}{RT \log \frac{P}{P_0}}$$

ref [21]

où

D = diamètre des pores

γ = tension superficielle

V_m = volume molaire de l'eau

θ = angle eau - carbone

P = pression de vapeur de l'eau

P_0 = pression de vapeur saturante.

- On distingue trois types de pores :

3.3.1 Les macropores

c'est une porosité constituée de tunnels

et de crevasses entre les microcristaux de graphite.

Leurs dimensions sont supérieures à 10 000 Å

Leurs rôles ne sont pas importants pour l'adsorption.

3.3.3 2 mesopores

Où les pores de transition la zone de taille est intermédiaire variant entre 100 et 10000 Å ce sont des pores d'accès des micropores ne joue aucun rôle dans l'adsorption

3 micropores :

Ils présentent des fissures à l'intérieur des microcristaux entre les feuillets de graphite et constituent les pores d'adsorption On les classe en trois catégories

3 1 Les max. micropores

Sont des pores dont les dimensions sont comprises entre 25 et 100 Å. Ils sont capables d'adsorber les plus grosses molécules organiques. On les caractérise par leur pouvoir décolorant.

3 2 Les moyens micropores

La dimension des pores varie entre 15 et 25 Å, sont caractérisés par leur pouvoir décolorant vis à vis des pigments colorants tels que le bleu de méthylène

3.3 Les mini micropores

ont tous les pores supérieurs à

5 Å Cette porosité est importante pour les molécules à éliminer ayant de petites tailles, tels que les détergents, chlorophénols, les hydrocarbures halogénés.

4 Application du charbon actif

Le rôle principal du charbon actif est d'enlever par adsorption les matières organiques de l'eau.

Et permet de réduire en général la DCO

Il y a lieu de faire une distinction entre

- les charbons en poudre
- les charbons granulés.

4-1 Les charbons actifs en poudre

Se présentent sous forme de grains de dimensions comprises entre 10 et 50 µ.

Il est en général mélangé avec l'eau à traiter et ensuite séparé par filtration, on l'utilise également dans la floculation décantation.

4-2 Les charbons actifs en grain

Lorsque le charbon actif est granulé on l'utilise comme lit filtrant.

Les caractéristiques des charbons actifs en grain sont résumées dans le tableau ci-dessous ref [10]

Matières Premières	A Tourbe	B Tourbe	C charbon	D charbon	E Bois	F coke de Pétrole
Granulométrie						
TE (mm)	0,95	0,66	0,45	0,6	1,7	0,4
coef. d'unif	1,5	1,4	2,2	1,4	1,4	1,4
Présentation	concassé	File	concassé	concassé	concassé	Billes
Friabilité						
• 750 coups	31	22	20	11	2,2	25
• 1500 coups	54	38	30	23	6,7	45
densité apparente (Tasse)	0,29	0,42	0,67	0,45	0,69	0,58
Surface spécifique m ² /g	650/750	1100/1200	800/900	1050/1200	1000/1100	1100/1300

4-2.1 Front d'adsorption

La fixation par l'adsorbant des composés à adsorber ne s'effectue pas instantanément, on observe trois zones Fig: 2

1 zone saturée 1

En début de colonne, l'adsorbant a atteint son taux de chargement maximum. A l'équilibre avec la concentration initiale et non la concentration finale comme dans l'adsorption en statique

2 zone de transfert 2

La concentration va en ~~croissant~~ jusqu'à 0. c'est la zone de transfert ou du front d'adsorption

3 zone 3

L'adsorption n'a pas encore eu lieu. Après la saturation d'une première couche d'adsorbant le front d'adsorption d'équilibre s'établit, et va se déplacer parallèlement à lui-même à la vitesse correspondant à celle de saturation.

Le point de fuite ou rupture nécessite l'arrêt de la percolation à ce stade, le taux d'adsorption moyen à la fuite est inférieur

au taux de saturation

- On peut définir la zone frontale d'adsorption comme étant l'épaisseur minimum du lit entre les limites de laquelle la concentration de l'adsorbant varie entre 100% et 0% de la concentration initiale.

3 - 5 Avantages et inconvénients à l'utilisation du charbon actif

5 - 1 Avantages

1 - 1 charbon en poudre

Les avantages du

traitement sur charbon en poudre sont

- Possibilité d'ajuster le taux de traitement à tout instant en fonction de la pollution à éliminer
- Possibilité d'ajuster la qualité du charbon à la nature des produits à traiter

1 - 2 charbon en grain

Le charbon, si la zone de transfert dite de front d'adsorption n'est pas trop importante, est utilisé en équilibre avec la concentration en polluant à l'entrée et pour la zone de transfert à un taux

intermédiaire entre celui de la concentration entrée et celui de la concentration sortie

Le charbon actif est régénérable, on distingue deux types de régénérations.

3. 5. 1. 2. 1 Régénération chimique

Après utilisation, le charbon actif est désorbé par des solutions liquides, composées de solvants, de soude ou de potasse, intéressante lorsqu'on veut récupérer le produit adsorbé par le charbon.

1. 2. 2 Régénération thermique

Celle-ci est réalisée par passage de vapeur d'eau ou de gaz, à des températures élevées, Les impuretés organiques sont détruites et transformées en gaz carbonique et vapeur d'eau, le charbon actif retrouve une activité semblable à celle d'origine.

Le coût d'une telle reactivation est faible par rapport au coût du charbon actif en poudre.

On utilise la vapeur dont la température est au minimum de 40°C supérieure à la température d'ébullition du solvant. Cette régénération est très utilisée dans la récupération du solvant.

5 - 2 inconviens2 - 1 charbon en poudre

Le taux de chargement.

de charbon, contrairement au cas du charbon engrain, est celui qui est en équilibre avec la concentration en polluant après traitement. Il dépend très fortement de la pente de la droite isotherme

2 - 2 charbon engrain

- Lorsqu'on a un mélange de polluants variés une sélection s'opère, sélection de deux types

a - certains polluants sont fixés en plus grandes quantités que d'autres et ont tendance à déplacer d'autres polluants

b - certains produits sont très bien adsorbés, mais à une vitesse extrêmement rapide, le front d'adsorption théorique peut atteindre plusieurs mètres.

- Variation de la concentration des polluants dans le temps. Les modifications se traduisent par une onde de pollution qui sera plus ou moins écartée selon l'épaisseur

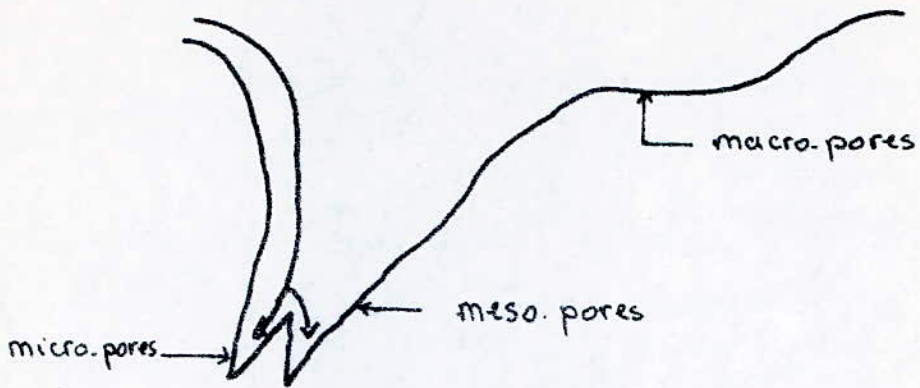


Fig 1

Représentation schématique des pores.
d'un charbon actif ref [13]

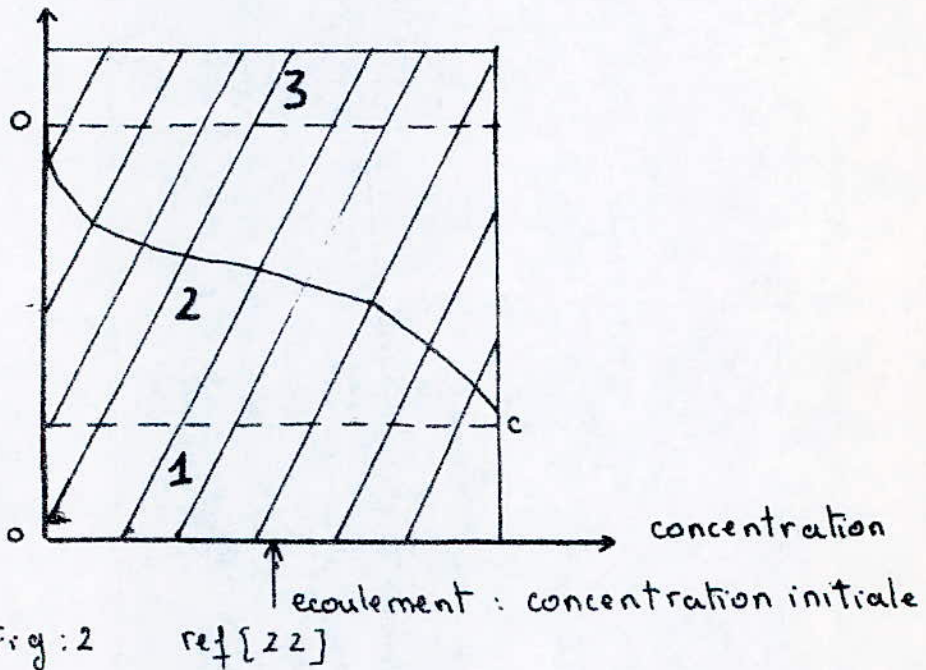


Fig:2

ref [22]

3 - 6 Procédés à colonnes multiples

Un procédé caractéristique d'adsorption continue, consiste à utiliser plusieurs colonnes remplies de charbon actif.

6 - 1 disposition de colonnes multiples en

serie Fig : 4

Cette disposition permet de saturer la première colonne avec des impuretés à éliminer, tandis que une solution ayant la pureté désirée sort de la dernière colonne. Lorsque la première colonne est saturée, elle doit être vidée remplie de charbon frais et remise en service en dernière position avec un produit ayant la pureté requise. Ainsi on obtient un système fonctionnant en serie.

6 - 2 Procédé à lit mobile

Dans une colonne à lit mobile, le liquide passe de bas en haut, au travers de la couche de charbon. Tandis que le charbon se déplace périodiquement vers bas. Ce procédé convient particulièrement dans les cas où de grandes colonnes seraient nécessaires.

37

6 - 3 colonnes en paralleles Fig. 3

Chaque colonne travaille en courant descendant et le charbon y est remplacé dès saturation.

7 Conclusion

L'élaboration d'un filtre à charbon actif est fonction du but proposé, de l'investissement disponible et des frais d'exploitation tolérables.

Du point de vue sécurité, Les frais inhérents à un traitement au charbon-actif deviennent dérisoires et ne représentent que quelques pourcentages du prix final de l'eau, le charbon actif protège d'une manière efficace contre une éventuelle pollution organique pour le traitement de l'eau potable.

L'utilisation du charbon en grain se développe de plus en plus. elle permet:

- un travail continu et propre
- un rendement à l'utilisation du charbon actif plus élevé
- des économies d'appareillage et d'espace
- des économies de coûts opératoires.

Le choix d'un lit filtrant a été retenu dans cette étude dans le but essentiel d'éliminer les phénols contenus dans l'eau.

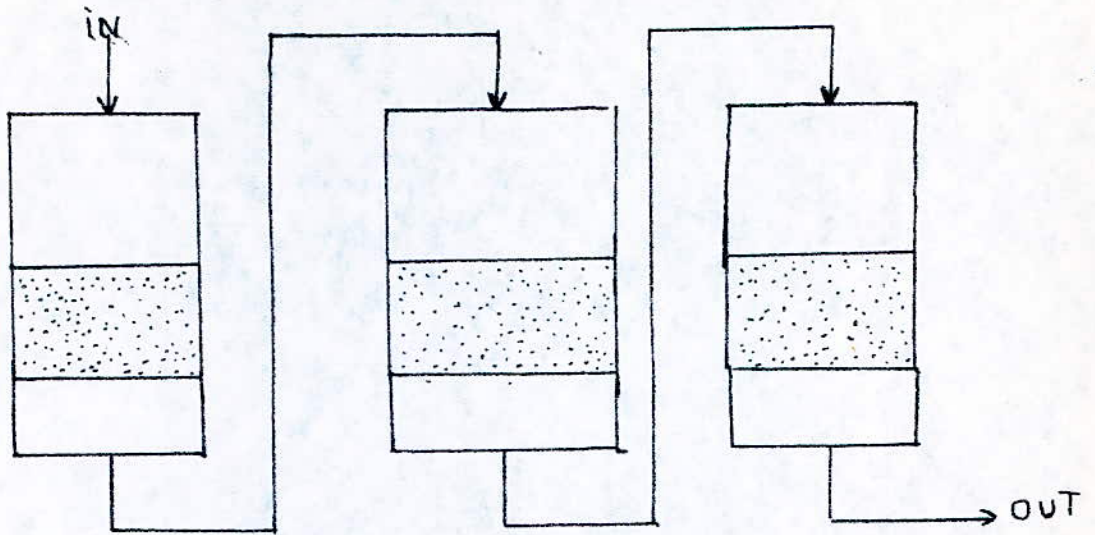


Fig 3 . lit fixe en parallele ref : (23)

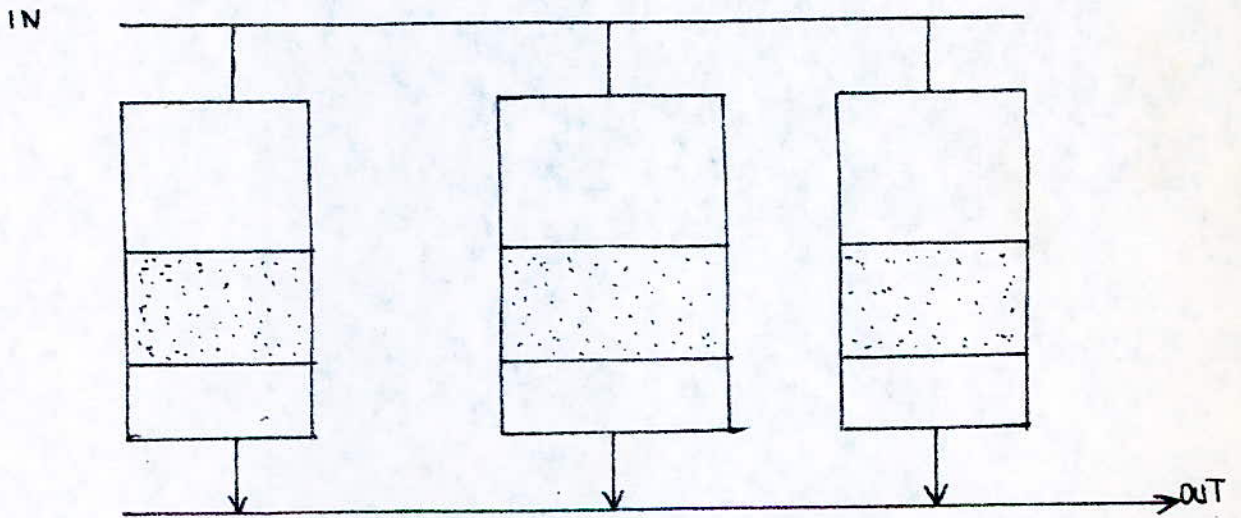


Fig: 4 Systeme en lit fixe en serie ref:(23)

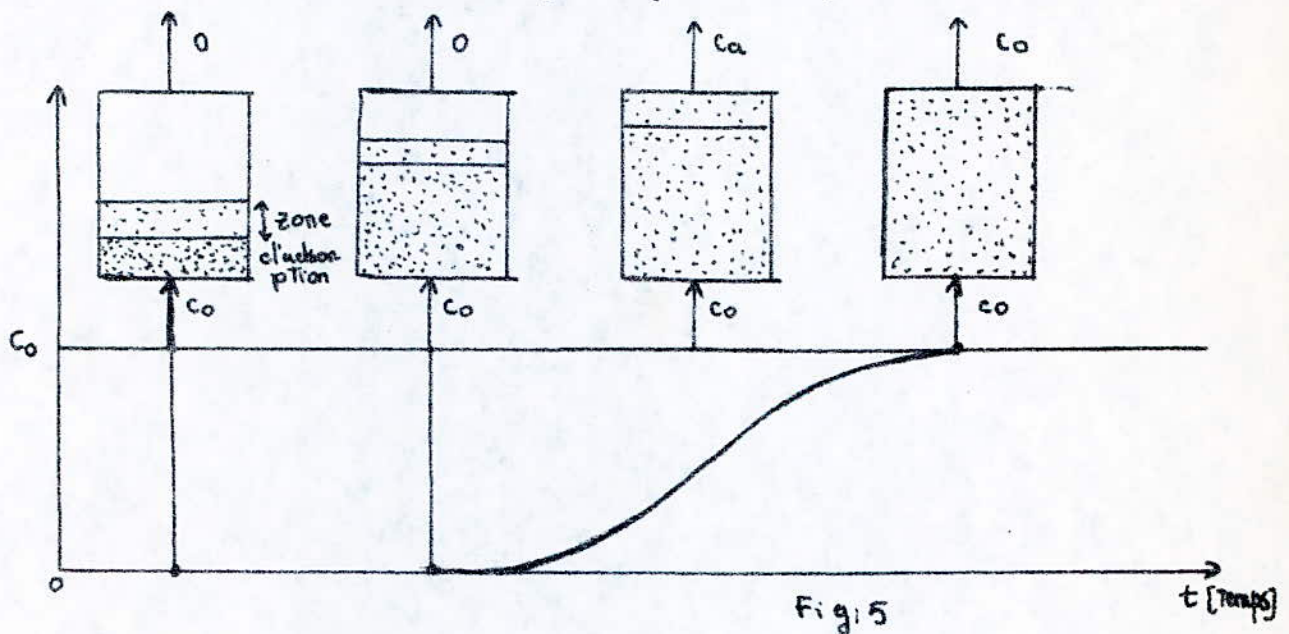
II - 2 - 9 Dynamique d'adsorption

9 - 1 Definitions

on entend par adsorption dynamique, tout phenomene qui aura lieu dans un lit d'adsorbant 'Traverse' en continu par un courant d'adsorbat

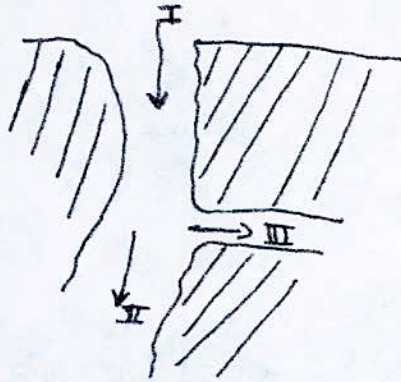
- En pratique, on cherche à determiner l'evolution de l'adsorbat dans l'adsorbant et la qualite' du polluant à la sortie de la colonne. Ainsi on pourra etablir la courbe de perçage du lit d'adsorbant vis à vis de l'adsorbat considere'

La figure ci-dessous represente une courbe de perçage. ref [19]



III - 2.9.2 Les phénomènes mis en jeu

Lorsqu'une molécule de gaz vient s'adsorber sur un corps poreux le phénomène de perçage se divise en trois étapes dont chacune a une vitesse propre :



ref : 19

I : diffusion externe

II : diffusion interne dans les macropores

III : diffusion interne dans les micropores

1 Diffusion externe

La diffusion se fait dans un film entourant la particule d'adsorbant, l'épaisseur du film étant faible par rapport au diamètre de la particule, on suppose qu'à la surface externe des particules s'établit un équilibre et que le transfert de masse interparticulaire est rapide.

2 - Diffusion dans les macro-pores

Pour une diffusion en phase fluide, il y a accumulation négligeable dans les pores

3 - Diffusion dans les micro-pores

La diffusion est en phase solide dans le réseau des micro-pores

9 - 3 Bilan de matière lors de l'utilisation du charbon actif.

- Le charbon actif en grains est introduit dans des filtres situés après ou à la place de la filtration sur sable.

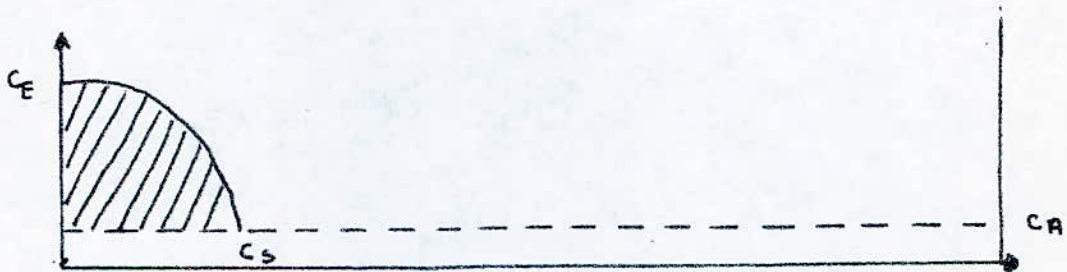
La qualité de l'eau filtrée sur charbon actif n'est pas constante elle se détériore avec la saturation progressive du charbon. En admettant que l'arrivée de l'eau à traiter dans la colonne de charbon actif, se fait par le bas, il est logique que la concentration en polluant est plus importante à l'entrée, c'est-à-dire en bas de la colonne. On observera une saturation progressive du charbon par le bas. Cette zone de saturation va se déplacer le long de la colonne au fur et à mesure de l'arrivée de l'eau à traiter.

Lorsque la concentration en polluant à la sortie de la colonne est sensiblement identique à celle d'entrée, on dit que le charbon est saturé.

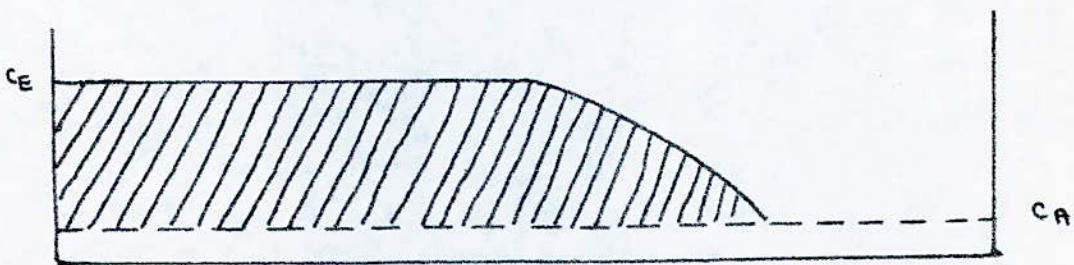
Le front d'adsorption s'est déplacé du bas en haut de la colonne de charbon actif.

Bohart et Adams ont développé une relation prédisant le temps de fonctionnement optimum d'un filtre à charbon actif.

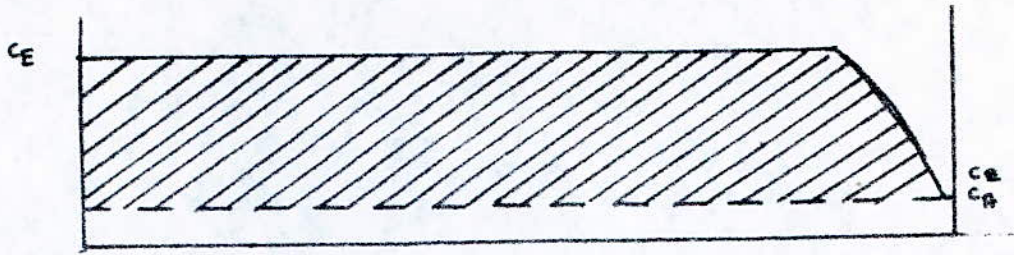
Soit les schémas suivants de l'évolution d'un polluant dans une colonne de charbon ref [13]



debut du cycle d'adsorption



milieu du cycle d'adsorption



Fin du cycle d'adsorption

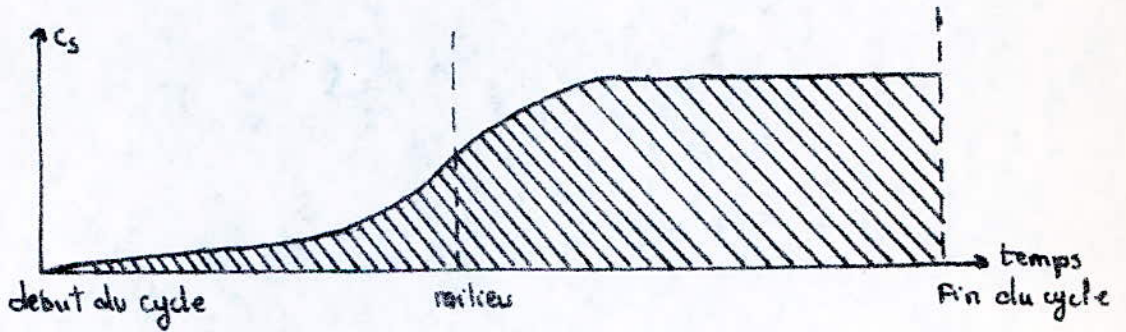
où

c_E : concentration du polluant à l'entrée

c_S : concentration du polluant en sortie de filtre

c_A : concentration maximale en sortie de filtre

Evolution du front d'adsorption dans un filtre



- Mise en equation des differentes etapes lors de l'adsorption d'un polluant sur charbon actif. [Ref: 2]

phase fluide

entree' = sortie + accumulation + perte par adsorption

$$U A \varepsilon C_0 = U A \varepsilon C_f + \frac{\partial}{\partial z} [U A \varepsilon C_f] dz + \frac{\partial}{\partial t} [A C_f \varepsilon] dz + N A [1 - \varepsilon] q_p dz$$

phase solide

$$0 = 0 + \frac{\partial}{\partial t} [(1 - \varepsilon) A C_s dz] - N A (1 - \varepsilon) q_p dz$$

bilan total devient

$$\frac{\partial}{\partial z} (U A \varepsilon C_f) dz + \frac{\partial}{\partial t} [A C_f \varepsilon] dz + \frac{\partial}{\partial t} [(1 - \varepsilon) A C_s] dz = 0$$

Soit encore en divisant par dz

$$\varepsilon U \frac{\partial}{\partial z} C_f + \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} [C_f] + (1 - \varepsilon) \frac{\partial}{\partial t} [C_s] = 0$$

on pose que $\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{1}{m}$

on obtient finalement :

$$U \frac{\partial C_f}{\partial z} + \frac{\partial C_f}{\partial t} + \frac{1}{m} \frac{\partial C_s}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

où

A : section droite de la colonne

a_p : surface extérieure des grains par unité de volume des grains

c_f : concentration du polluant dans le fluide

c_c : concentration du polluant dans le solide

N : flux de soluté par unité d'aire des grains

u : vitesse intergranulaire

ε : fraction de vide du lit

$1-\varepsilon$: fraction pleine de grains du lit

$$N = \frac{k}{A} \frac{\partial c}{\partial z}$$

z : hauteur du lit de charbon actif

Si le polluant est adsorbé irréversiblement, on a :

$$\frac{1}{m} \frac{\partial c_c}{\partial t} = k_a c [c^* - c_c] \quad (2)$$

Les conditions de résolution de l'équation (1) sont :

$$* c_c \left(\frac{z}{v}, t \right) = c_0 [z] \text{ pour } t \leq \frac{z}{v} \text{ avec } t \geq 0 \quad (3)$$

$$* c \left(z, t \right) = c_0 [t] \text{ pour } z = 0 \quad (4)$$

La solution de l'équation exige un changement de variables:

$$j = c^* - c$$

$$x = z/v$$

$$y = m[t - z/v]$$

Les équations 1, 2, 3 et 4 deviennent:

$$\frac{\partial j}{\partial y} - \frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial j}{\partial y} = -\kappa_a c m \quad (6)$$

$$j[x, y] = c^* - c_1(x) \text{ pour } y = 0 \quad (7)$$

$$c[x, y] = c_2[y] \text{ pour } x = 0 \quad (8)$$

$$\text{or } c_1[x] = c_0[vx] \cdot c_2[y] = c_0[y/m]$$

De plus, l'équation (5) s'écrit

$$\frac{\partial j}{\partial y} = \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{qui implique qu'il existe une fonction } f[x, y]$$

$$\text{telle que } \frac{\partial f}{\partial x} = j \text{ et } \frac{\partial f}{\partial y} = c \quad (9)$$

En substituant (9) dans (6) on a

$$\boxed{\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} + \kappa_a \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} = 0} \quad (10)$$

L'équation différentielle hyperbolique non linéaire dont la résolution nous conduit à :

$$t = \frac{c^*}{c_0 u} \left[z - \frac{u}{k_a c^*} \ln \left(\frac{c_0}{c} - 1 \right) \right]$$

où

t : temps de fonctionnement du filtre à charbon actif
[heures]

c_0 : concentration du polluant à l'entrée de la colonne [mg/L]

z : hauteur de colonne [m]

u : vitesse de passage de l'eau dans la colonne [m/L]

c : concentration du polluant à la sortie de la colonne [mg/L]

k_a : constante d'adsorption .

PARTIE

EXPERIMENTALE

SYSTEME
D'ADSORPTION D'UN LIT DE CHARBON ACTIF

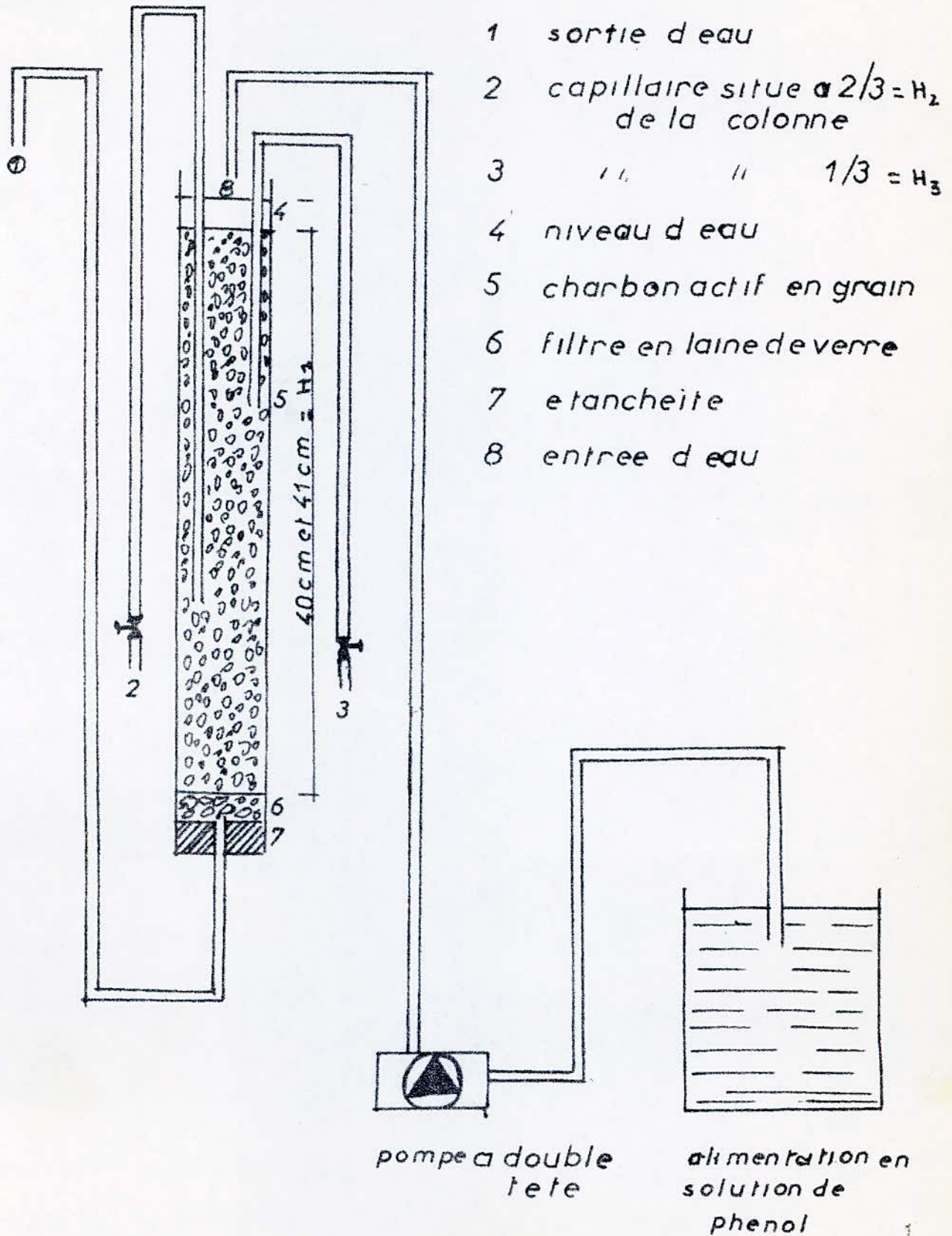


Fig 8

III 1 Cinétique d'adsorption en dynamique

Dans le but d'examiner l'efficacité du charbon actif nous nous sommes proposés de tracer les cinétiques d'adsorption en dynamique

Afin d'arriver à ce but nous avons réalisés un appareillage qui nous a permis d'étudier la dynamique d'adsorption des phénols sur un lit de charbon-actif

fig n° 8

Nous avons suivies le comportement d'un polluant dissout dans l'eau distillée, qui traverse une colonne en verre remplie de charbon-actif, en faisant varier la concentration de l'adsorbat qui dépende de deux débits choisis

1 Caractéristique de l'adsorbant et adsorbat et leur choix

1 - charbon-actif utilisé

c'est un picactif dont la granulométrie varie de 2,5 à 3 mm

5 1

origine : noix de coco

$$\frac{\text{Volume macroporeux}}{\text{volume poreux Total}} = 15$$

Aire spécifique : 1140 m²/g

teneur en cendre : 3

Pouvoir adsorbant 1000 1200

melasse

Pouvoir adsorbant : 60

ccu % min

Pouvoir adsorbant : 40

Iode % min

Teneur en humidité : 3

% max

Activation : thermique

2 Phenols

Les phenols sont des composés aromatique ayant un noyau qui fixes un ou plusieurs hydroxydes. C_6H_5OH

Pour une eau brute destinée à la preparation d'eau potable, les phenols constituent une charge importante, en tant que polluant donne à l'eau une odeur et un goût très caractéristique

a - choix des teneurs en phenols

Le choix a été fait en fonction des valeurs moyennes observées lors des prelevements qui ont été effectués à la raffinerie d'ALGER

La concentration moyenne en phenols est de 60 mg/L

Les valeurs retenues lors de notre analyse sont de:

60 mg/L, 120 mg/L, 250 mg/L

b - Choix des debits

Les valeurs que nous avons choisie 1,7 L/h et 0,6 L/h sont fonction de la pompe d'alimentation ayant double têtes dependantes qui correspond à chaque debit fixe

Pour avoir une idée bien précise sur l'avancement du front d'adsorption, nous avons laissés travailler la pompe 24^h sur 24^h et cela jusqu'à l'obtention de la saturation du charbon.

Les résultats expérimentaux sont reportés sur les Tableaux en annexes.

III - 2 Principe et méthode de dosage.

2 - 1 Étude par spectrophotométrie par adsorption

Le principe de dosage par spectrophotométrie, un faisceau de lumière traverse la solution colorée à analyser de l'adsorption de la lumière par la solution, on déduit la concentration de la solution adsorbante.

2 détermination de la concentration

Les phénols sont dosés par la méthode colorimétrique, après purification de l'eau polluée en phénols.

Cette pollution a été créée en mettant en solution les phénols de concentration allant de 60 mg/L à 250 mg/L.

qui sont dissous dans l'eau distillée

Afin de déterminer la concentration en sortie nous avons effectué une dilution de 50 fois des qu'on constate que la concentration lu sur la courbe d'étalonnage de passe 5 mg/L.

3 détermination de la courbe d'étalonnage.

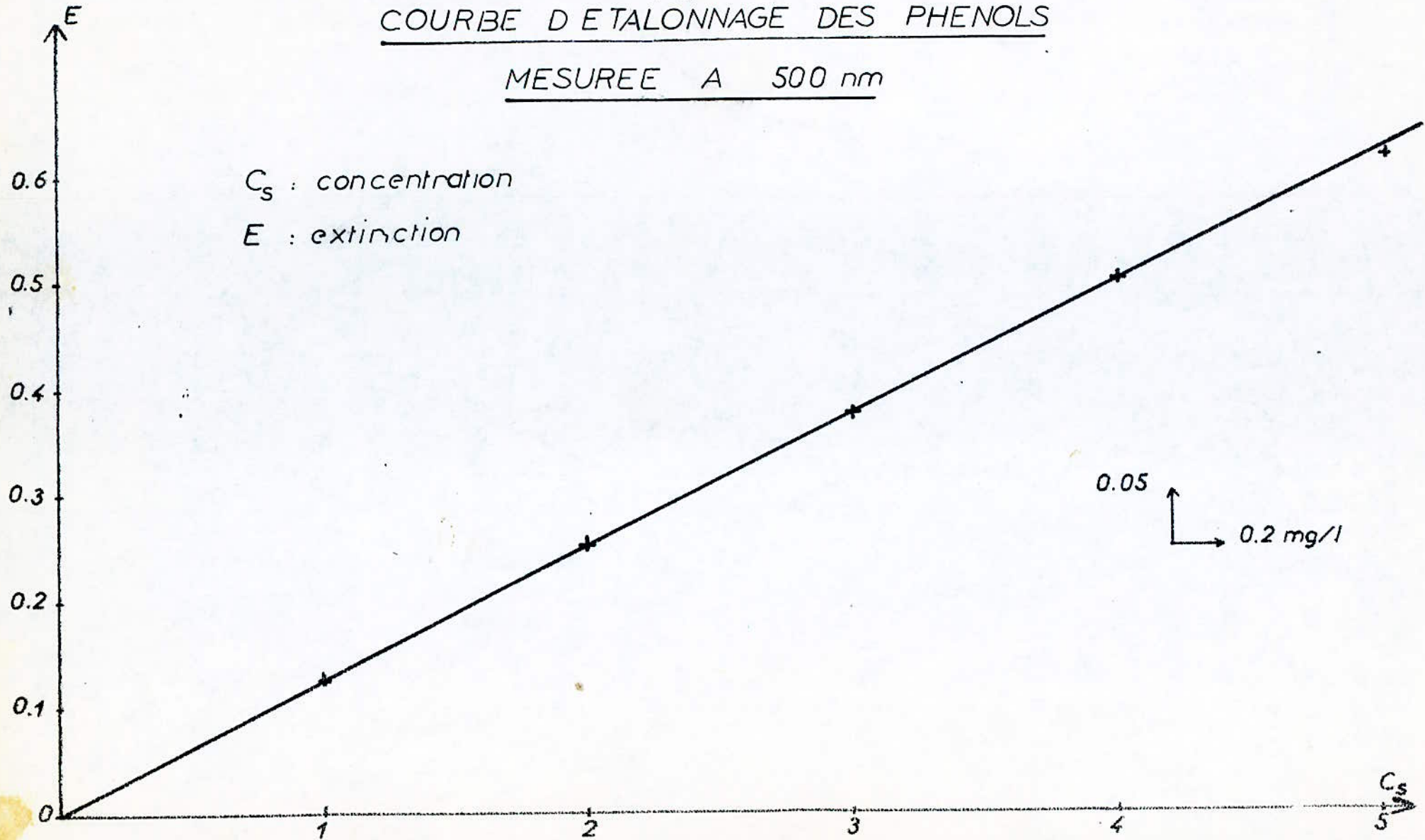
Pour établir la courbe d'étalonnage

- en pratique la dilution de la solution mère pour obtenir une gamme étalon de 1 mg à 5 mg de phénols par litre de solution. on effectue les lectures au colorimètre à 510 nm

- Dans une série de béchers numérotés de 1 à 5 on introduit successivement :

COURBE D'ETALONNAGE DES PHENOLS

MESUREE A 500 nm



ref [17]

Numeros	temoins	I	II	III	IV	V
solution fille etalon de phenol [mg]	0	1	2	3	4	5
echantillon [mg]	50	50	50	50	50	50
chlorure d'ammonium [mL]	1	1	1	1	1	1
Hydroxyde d'ammonium 94 gouttes pour avoir	PH=10	PH=10	PH=10	PH=10	PH=10	PH=10
Amino Antypirine [mL]	1	1	1	1	1	1
Ferricyanure de Potassium [mL]	1	1	1	1	1	1

On effectue une agitation apres l'addition de chaque reactifs , ensuite on laisse decanter la solution pendant 15 mn la lecture est liee au spectro photometre a 510nm

résultats

concentration	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L
extinction	0,125	0.250	0.375	0.500	0.590

2 Mode opératoire

Nous avons effectués un prélèvement de 50 ml de solution en chaque point de la colonne après l'addition de la solution tampon on agite rigoureusement. Après lecture sur un spectrophotomètre nous nous sommes reportés à la courbe d'étalonnage

3 expression des résultats

Pour une prise de 50 ml la courbe d'étalonnage donne la teneur des phénols exprimée en mg/L

Conclusion

Dans le premier temps notre choix de méthode de dosage s'est fixé sur la méthode volumétrique après plusieurs essais à blanc nous n'avons pas obtenus des résultats désirés. Alors nous avons changé de méthode en fixant notre choix sur la méthode de dosage

57

par spectrophotometrie appareil precis et cela
a donne' des resultats satisfaisant.

Le but de ce travail est d'examiner en dynamique l'élimination du phénol par le charbon-actif

Nous nous sommes proposés d'examiner quelques paramètres intervenant dans le phénomène d'adsorption il s'agit de :

- la concentration
- de la hauteur de charbon-actif
- effet de la vitesse de passage.

A Influence de la concentration d'entrée

Nous avons examinés l'influence de la concentration d'entrée en phénol en travaillant à des concentrations de 60 mg/L, 120 mg/L, et 250 mg/L ceci ~~avec~~ en respectant les valeurs des effluents industriels.

L'examen des courbes (1, 2, 3, 4, 5) fait ressortir l'influence de ce paramètre.

Ainsi pour une même hauteur de charbon-actif [13,3 cm] et une vitesse de passage égale à 0,84 m/h, on observe une saturation rapide pour une concentration de 250 mg/L [$t_s = 233$ h.

Alors que pour une des concentrations de 60 mg/L et 120 mg/L les temps de saturation sont respectivement de 464 heures, 400 h.

De même, pour une hauteur de ~~40~~^{26,6} cm et une vitesse de passage égale à 0,84 m/h on observe les temps de saturations pour :
120 mg/L $\rightarrow t_s = 320$ h
250 mg/L $\rightarrow t_s = 160$ h.

Enfin pour une hauteur de 40 cm, et toujours dans les mêmes conditions expérimentales nous avons pour

$$120 \text{ mg/L} \rightarrow t_s = 400 \text{ h}$$

$$250 \text{ mg/L} \rightarrow t_s = 240 \text{ h.}$$

La concentration d'entrée joue un rôle très important dans l'adsorption, en intervenant sur la cinétique d'adsorption.

Le traitement d'un effluent industriel fortement chargé en phénol saturera rapidement une colonne de charbon-actif.

B Influence de la hauteur de charbon-actif

la colonne expérimentale est pourvue de 3 prises d'échantillons disposées à 13,3 cm, 26,6 cm, 40 cm le long de la colonne.

des prélèvements d'échantillons en différents points nous permettent de suivre l'évolution du front d'adsorption dans la colonne.

Ainsi pour des concentrations d'entrée de 120 mg/L et 250 mg/L et une vitesse de passage de 0,84 m/h, on observe nettement la saturation progressive du lit d'adsorbant. ~~fig. courbes (6 à 15~~

En portant la concentration de sortie (C_s) en fonction du rapport des volumes (eau traitée / volume de charbon), on observe l'évolution du front d'adsorption. fig:)

des mêmes résultats sont observés pour une vitesse de passage de 2,4 m/h. fig:

des essais expérimentaux, montrent l'importance de la hauteur d'une colonne de charbon actif.

Il est évident que plus la hauteur est importante plus durera la vie du filtre. Cependant pour des raisons techniques. perte de charges par exemple on limite les hauteurs des colonnes de charbons à 2 ou 3 m au maximum.

C influence de la vitesse de passage

Les courbes précédentes ont fait ressortir l'influence de ce paramètre. Ceci est d'autant plus visible sur les courbes (Frog ~~combes~~: 16 à 19

sur lesquelles on observe l'influence de la vitesse de passage

Cette-ci va donc guider les phénomènes d'adsorption mais n'interviendra que sur le dimensionnement des filtres de charbon actif.

Dans l'industrie, on tente au maximum de travailler à de grandes vitesses tout en respectant les normes de rejet.

Dans notre cas les concentrations d'entrée étant importante nous nous sommes vus contraints

de limiter notre vitesse de passage à 2,4 m/h
Ainsi, pour une hauteur de 40 cm par exemple,
on obtient une saturation du lit après 320 heures
de fonctionnement pour une vitesse de 0,84 m/h
et un temps de fonctionnement de 240 hea.

r

Calcul du temps de fonctionnement d'une colonne de charbon actif

Dans ce chapitre nous nous sommes proposés de calculer la durée de fonctionnement d'une colonne de charbon actif qui correspond à une concentration à la sortie 3 mg/L cette valeur a été choisie en supposant que l'effluent industriel l'arejeté après traitement

En utilisant la formule donnée par Bohart et Adam prédisant le temps de fonctionnement optimum d'un filtre ~~sur~~ charbon actif :

$$t = \frac{c^*}{c_0 U} \left[z - \frac{v}{k_a c^*} \log \left(\frac{c_0}{c_s} - 1 \right) \right]$$

Avec :

c^* : capacité d'adsorption [kg de polluant / m³ de charbon]

c_0 : concentration initiale [mg/L]

v : vitesse d'écoulement à travers la colonne [m/h]

z : hauteur du lit de charbon-actif [m]

c_s : concentration à la sortie [mg/L]

k_a : constante d'adsorption $\left[\frac{m^3}{h \cdot kg} \right]$

t : heures

on se propose de calculer la capacité d'adsorption c^* , la constante d'adsorption.

$$c^* = c_0 \cdot v \cdot \text{pente}$$

pente de la droite $t = f[z]$ Fig: 9

t = temps de fonctionnement expérimental.

z = hauteur de la colonne

K_a constante d'adsorption donnée par la formule suivante

$$K_a = \frac{1}{c_0 b} \lg \left[\frac{c_0}{c_s} - 1 \right]$$

b est le point de l'intersection à l'origine.

Détermination du temps de fonctionnement pour différentes valeurs de concentrations

$$1^{\circ}) \quad Q = 1,7 \text{ L/h}$$

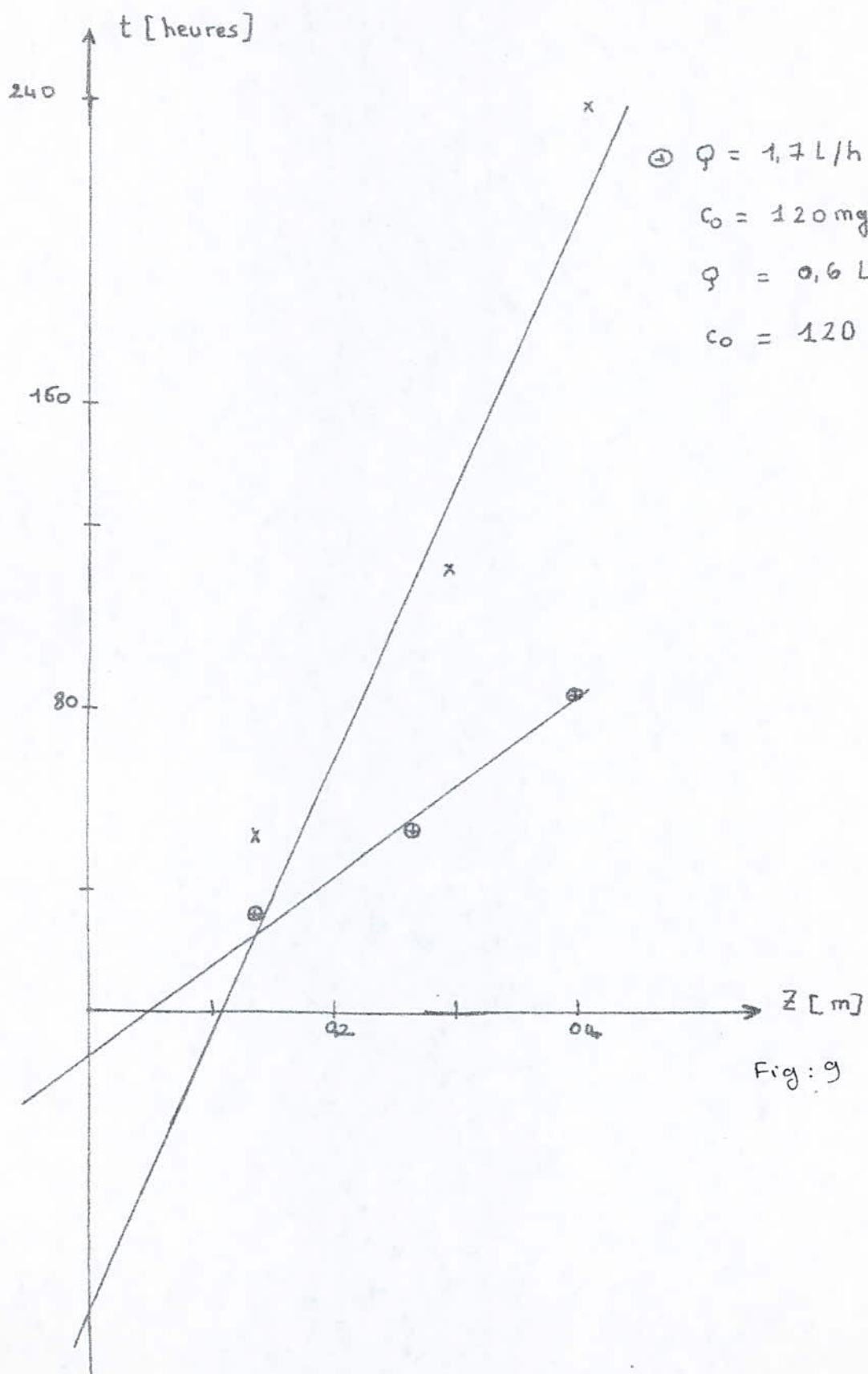
$$c_0 = 120 \text{ mg/L}$$

$$v = 2,4 \text{ m/h}$$

$$c_s = 3 \text{ mg/L}$$

$$\text{hauteur critique} = z_c = \frac{v}{K_a c^*} \lg \left[\frac{c_0}{c_s} - 1 \right] \quad \text{Fig: 9}$$

$$\underline{z_c = 0.0468 \text{ m}}$$



⊕ $Q = 1,7 \text{ L/h}$
 $c_0 = 120 \text{ mg/L}$
 $Q = 0,6 \text{ L/h}$
 $c_0 = 120 \text{ mg/L}$

Fig: 9

$$C^* = 69 \text{ - } 60 \text{ - } \text{kg de phenols / m}^3 \text{ de charbon}$$

$$K_a = 2,723$$

hauteurs [m]	volume d'eau [L]	t experimental [heures]	t calculé [heures]	volume d'eau au temps calculé [L]	fonctionnement annuel	volume annuel 10^4 [m ³]	quantité de phenol adsorbé Kg 10^4	C^*_v [kg] 10^4	eff totale %	eff sur la hauteur %
0,133	44	26	21	36	417	392	40,95	65	63	65
0,266	82	48	53	90	165	310	104	130	80	82
0,400	141	83	85	145	103	291	168,5	195	86	88

$C_0 = 60 \text{ mg/L}$

$Q = 1.7 \text{ L/h}$

$C^* = 77 \text{ kg de phenol / } 3^3 \text{ de charbon}$

$K_d = 0,654$

$Z_0 = 0,140 \text{ m}$

hauteur [m]	volume d'eau [L]	temps exp [heures]	temps calculé [heures]	volume d'eau au temps calculé [L]	fonctions annuelles	volume annuel 10^4 m^3	quantité de phenol adsorbé 10^4 [kg]	$C^* \cdot V$ 10^4 kg	% eff totale	% eff sur la hauteur
0,133	27	16	C			24				
0,266	90	53	67	114	131	246	65	145	45	47
0,40	272	160	139	236	63	178	135	218	62	65

Les résultats obtenus montrent une bonne correspondance entre les temps expérimentaux et ceux calculés par la formule de Bohart-Adams.

On remarque les faibles durées de vies des filtres qui sont de l'ordre de 200 h. Ceci s'explique par les fortes concentrations d'entrée en phénols, qui nous l'avons vue précédemment interviennent dans les phénomènes d'adsorption.

Conclusion

Ce travail expérimental est loin d'être achevé.

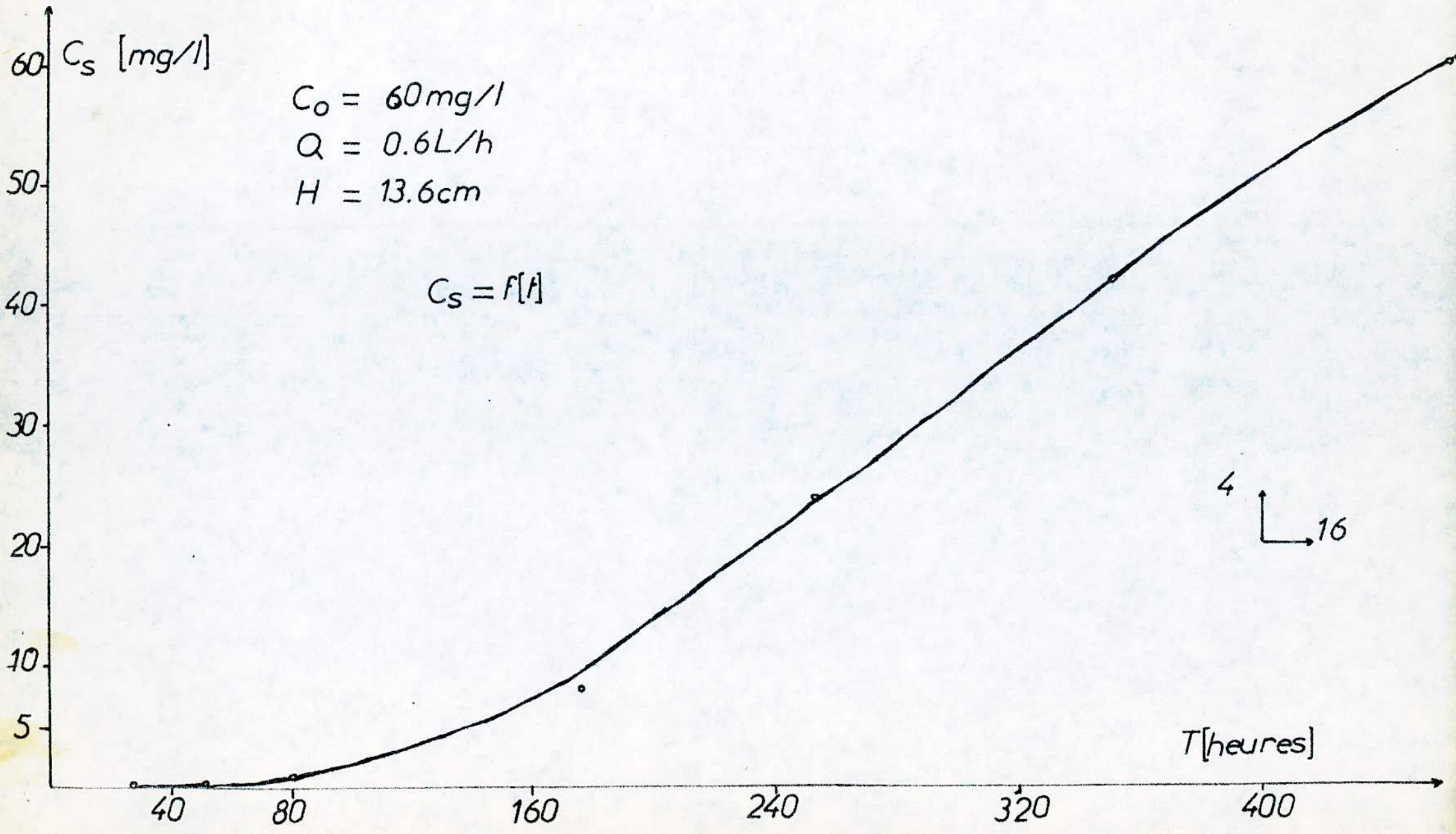
Il nous a cependant, permis d'étudier l'adsorption en dynamique du phénol sur le charbon actif.

Les paramètres étudiés comme la concentration d'entrée, la hauteur de fonctionnement et la vitesse de passage ont fait ressortir qu'ils étaient importants pour l'étude du traitement d'une eau par le charbon-actif.

Cependant il serait intéressant de poursuivre ce travail en faisant varier les paramètres dans d'autres conditions également on pourra faire intervenir la granulométrie par exemple.

de traitement d'un effluent fortement chargé en phénol il est très possible d'utiliser le charbon-actif il permet d'en tirer plusieurs avantages comme :

- choix de la concentration de sortie de l'effluent
- peu d'entretien
- facilité expérimentale.
- facilité de mise en œuvre



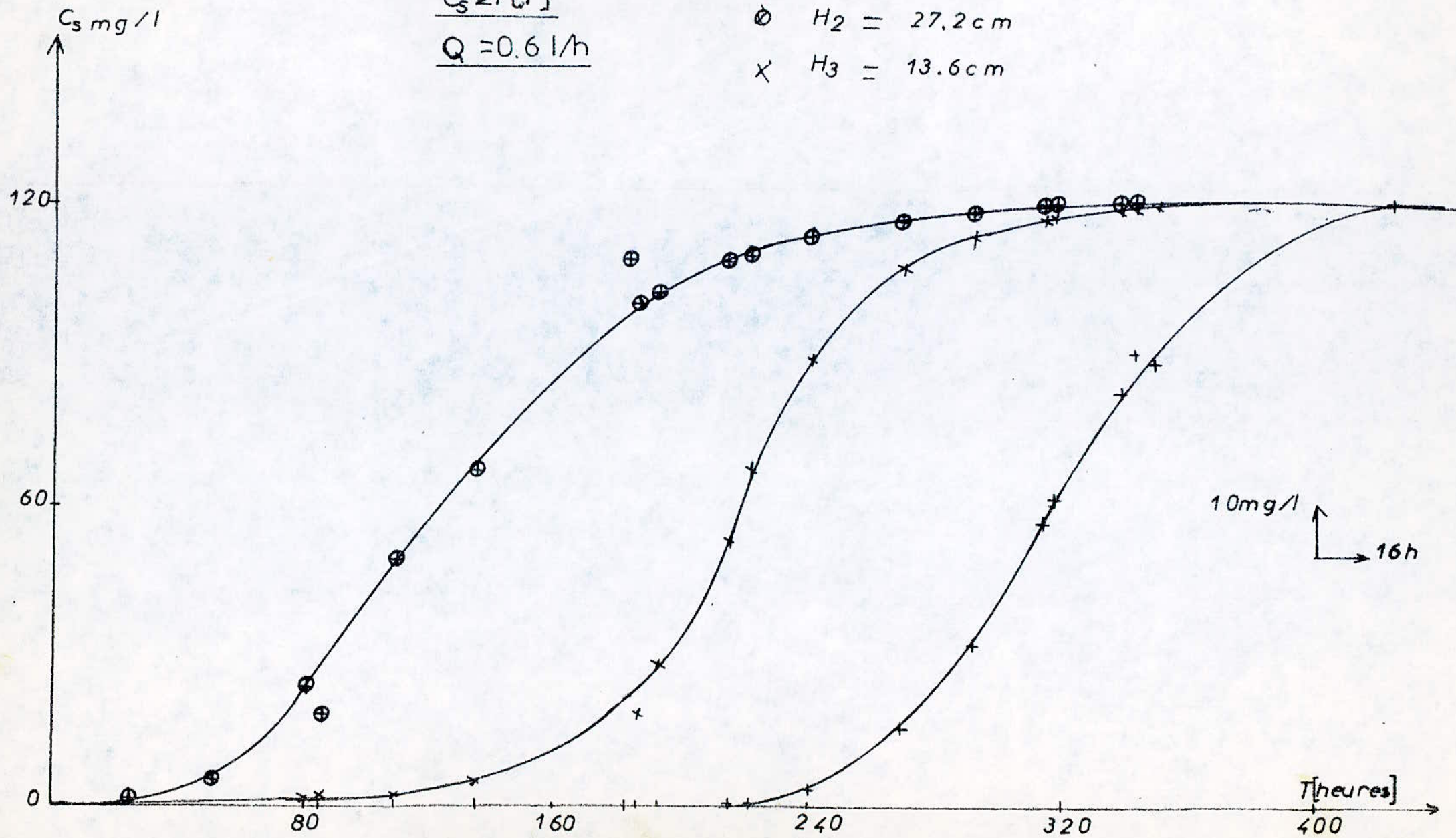
$$C_s = f(T)$$

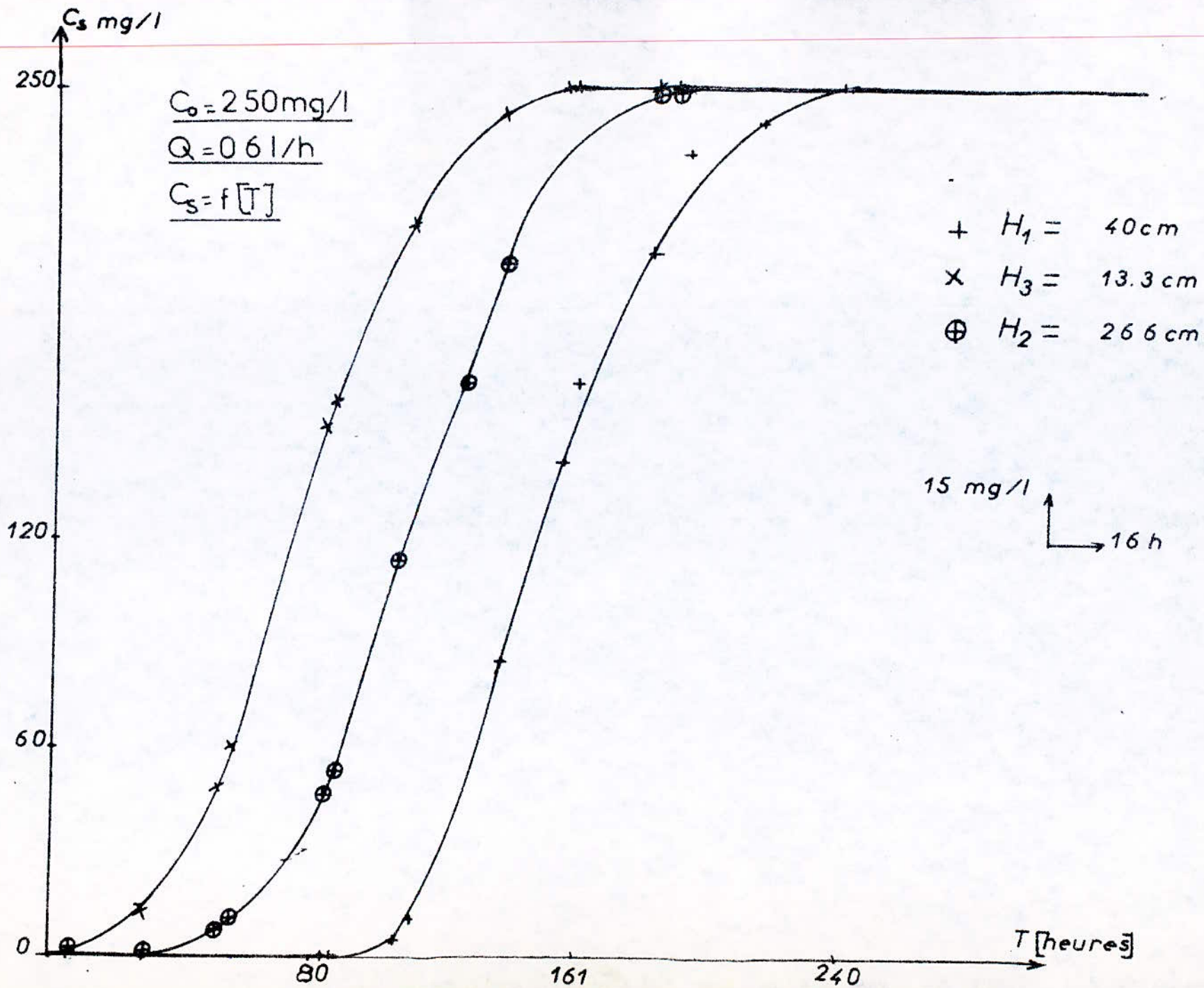
$$Q = 0.6 \text{ l/h}$$

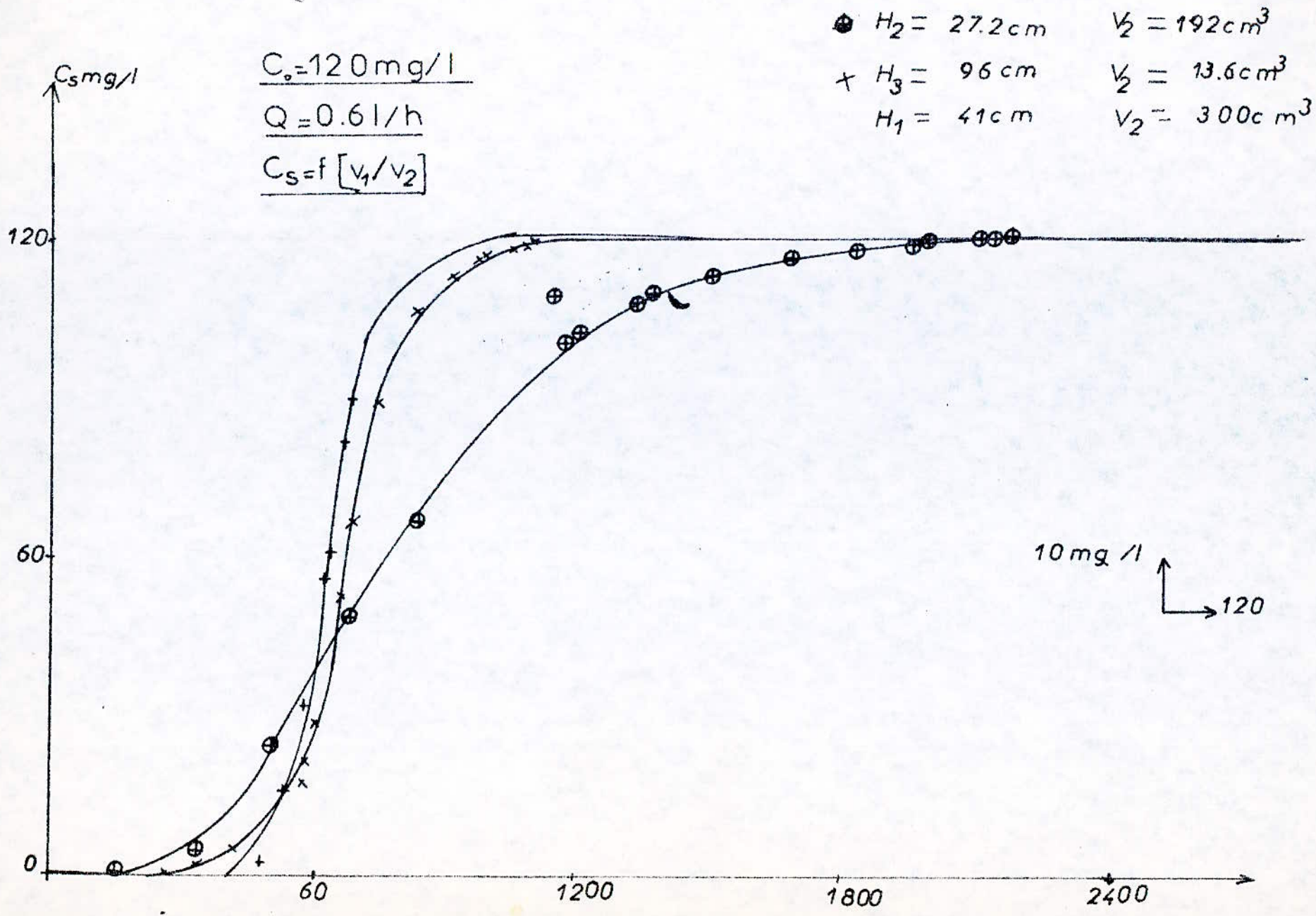
$$+ H_1 = 41 \text{ cm}$$

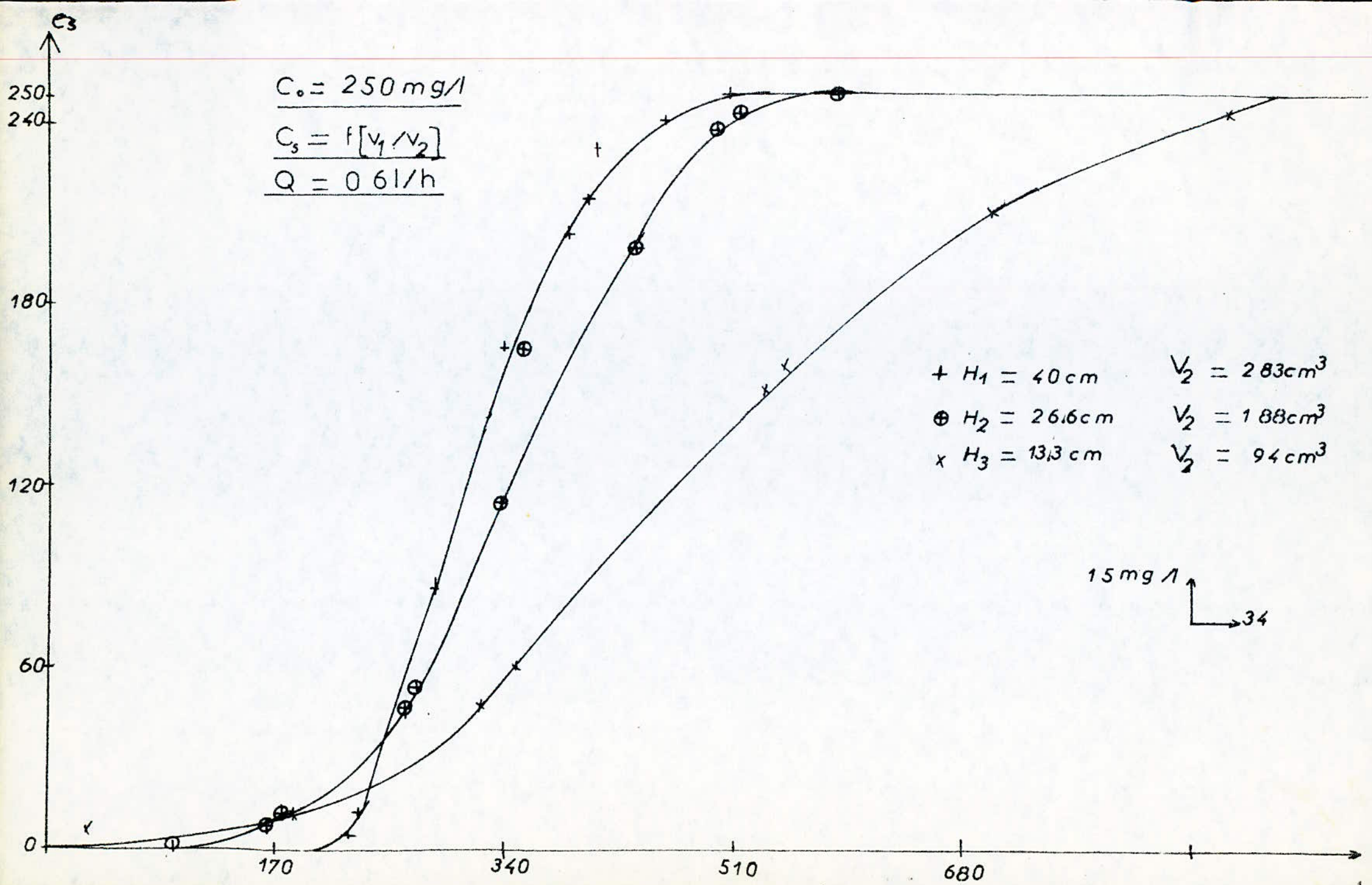
$$\circ H_2 = 27.2 \text{ cm}$$

$$\times H_3 = 13.6 \text{ cm}$$









$$V_2 = 300 \text{ cm}^3$$

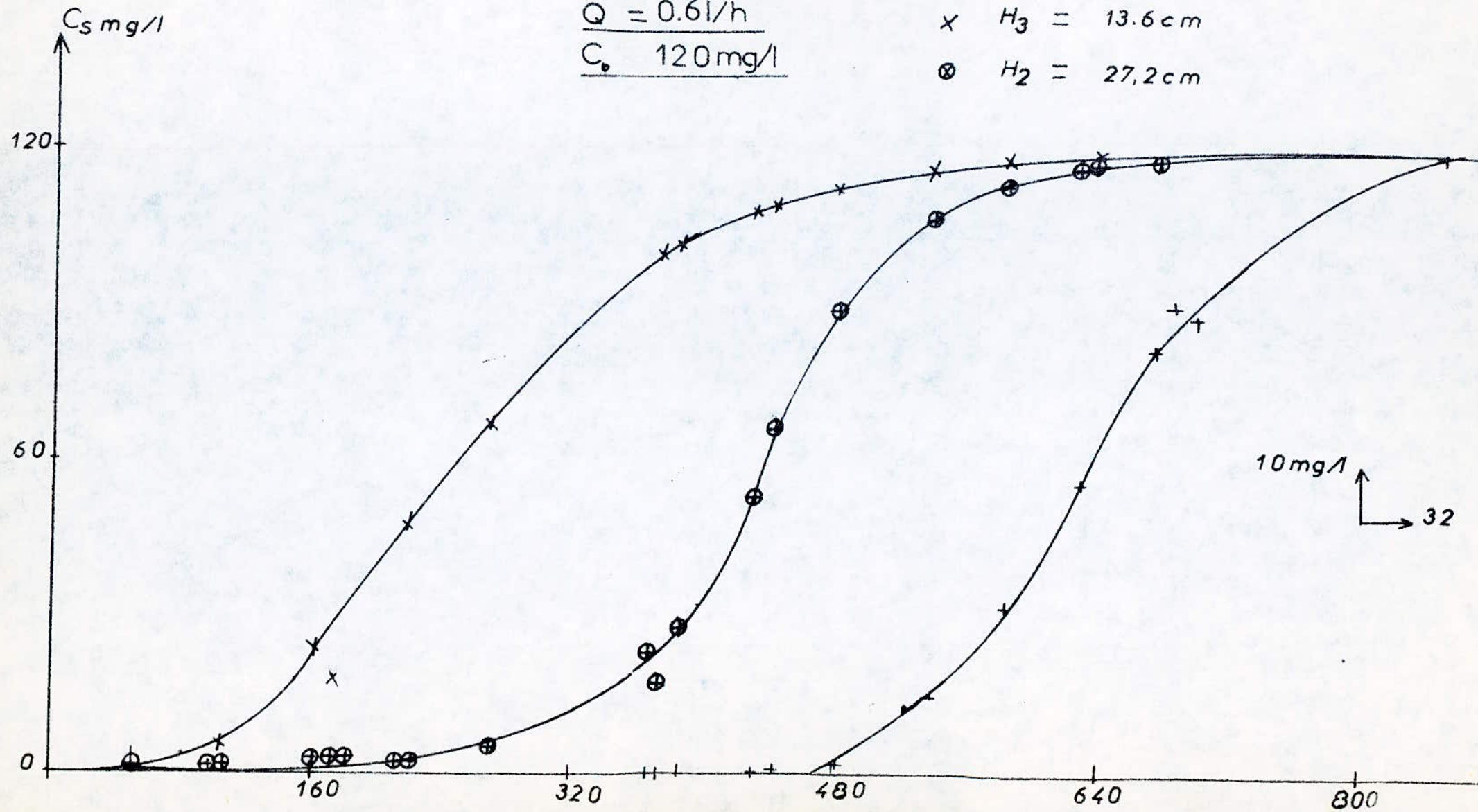
$$Q = 0.6 \text{ l/h}$$

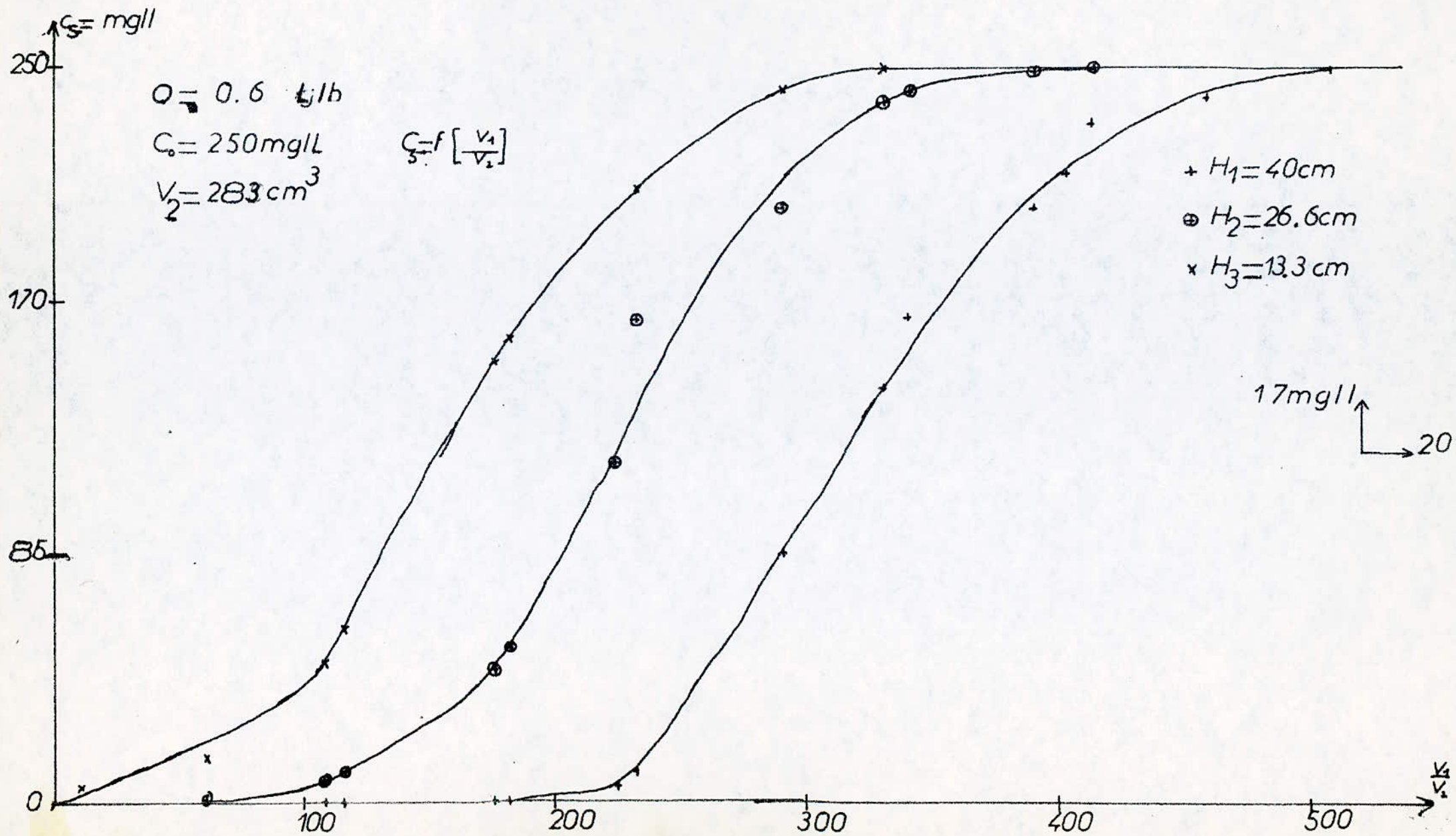
$$C_0 = 120 \text{ mg/l}$$

$$+ H_1 = 41 \text{ cm}$$

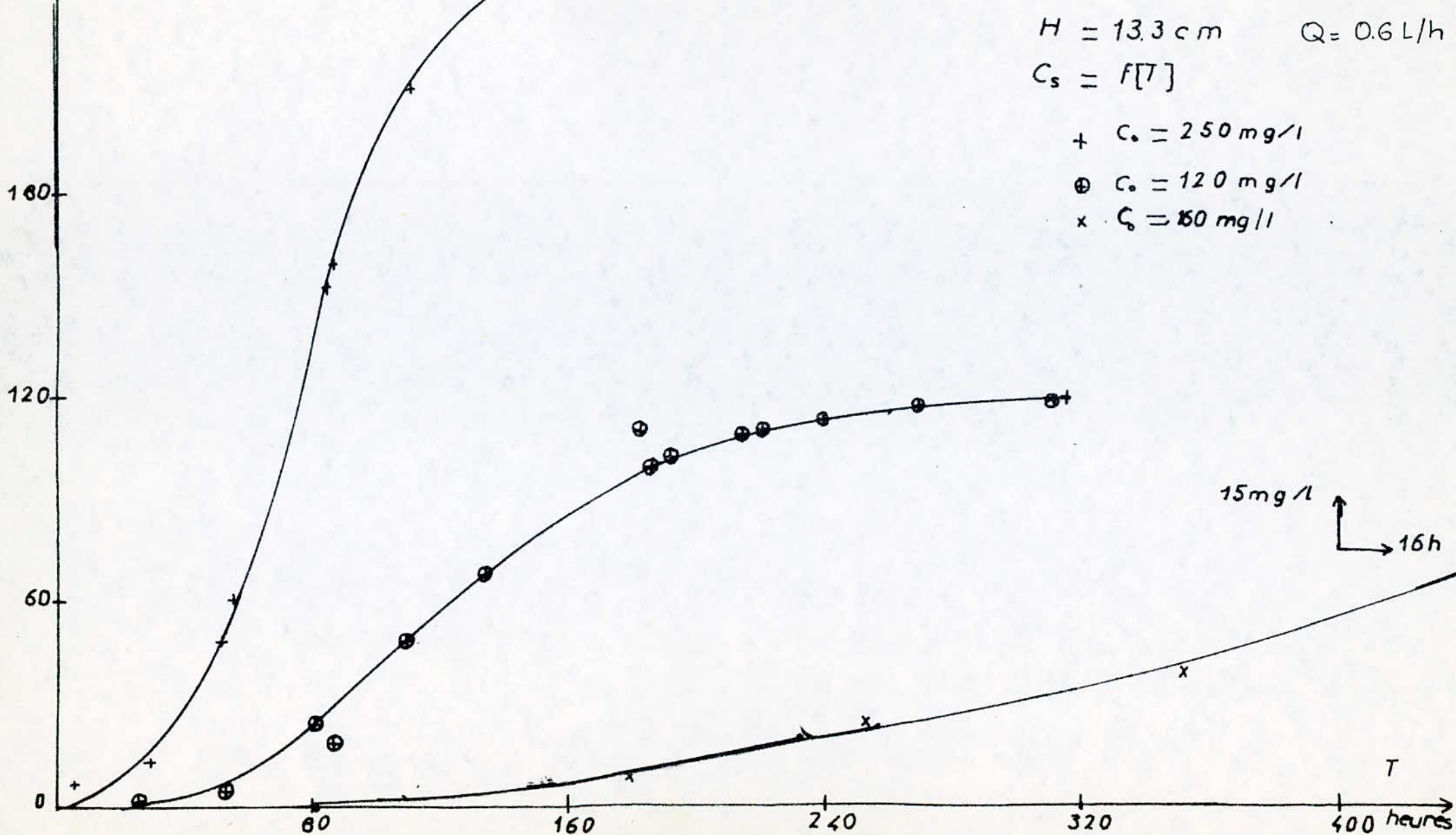
$$\times H_3 = 13.6 \text{ cm}$$

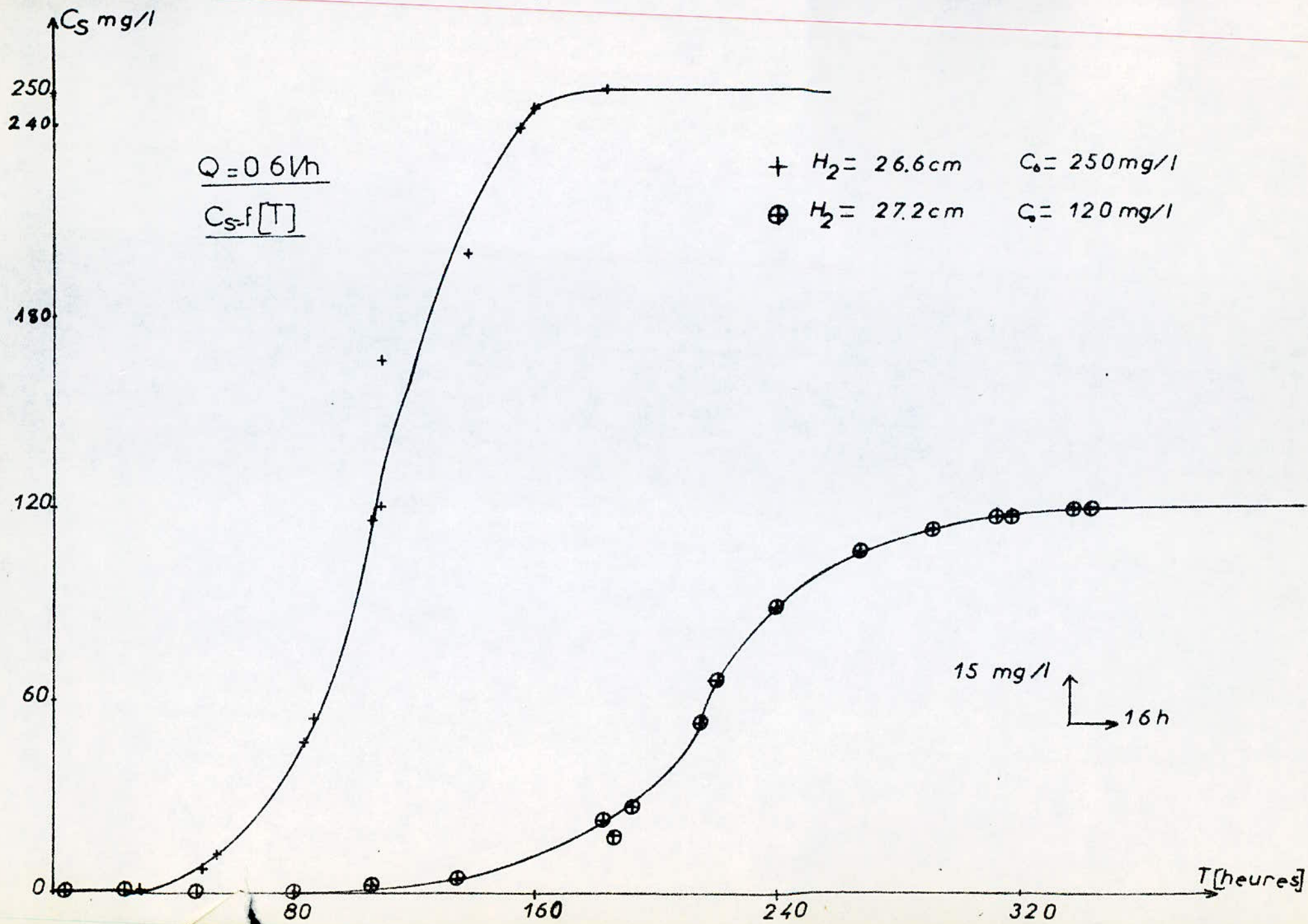
$$\oplus H_2 = 27.2 \text{ cm}$$

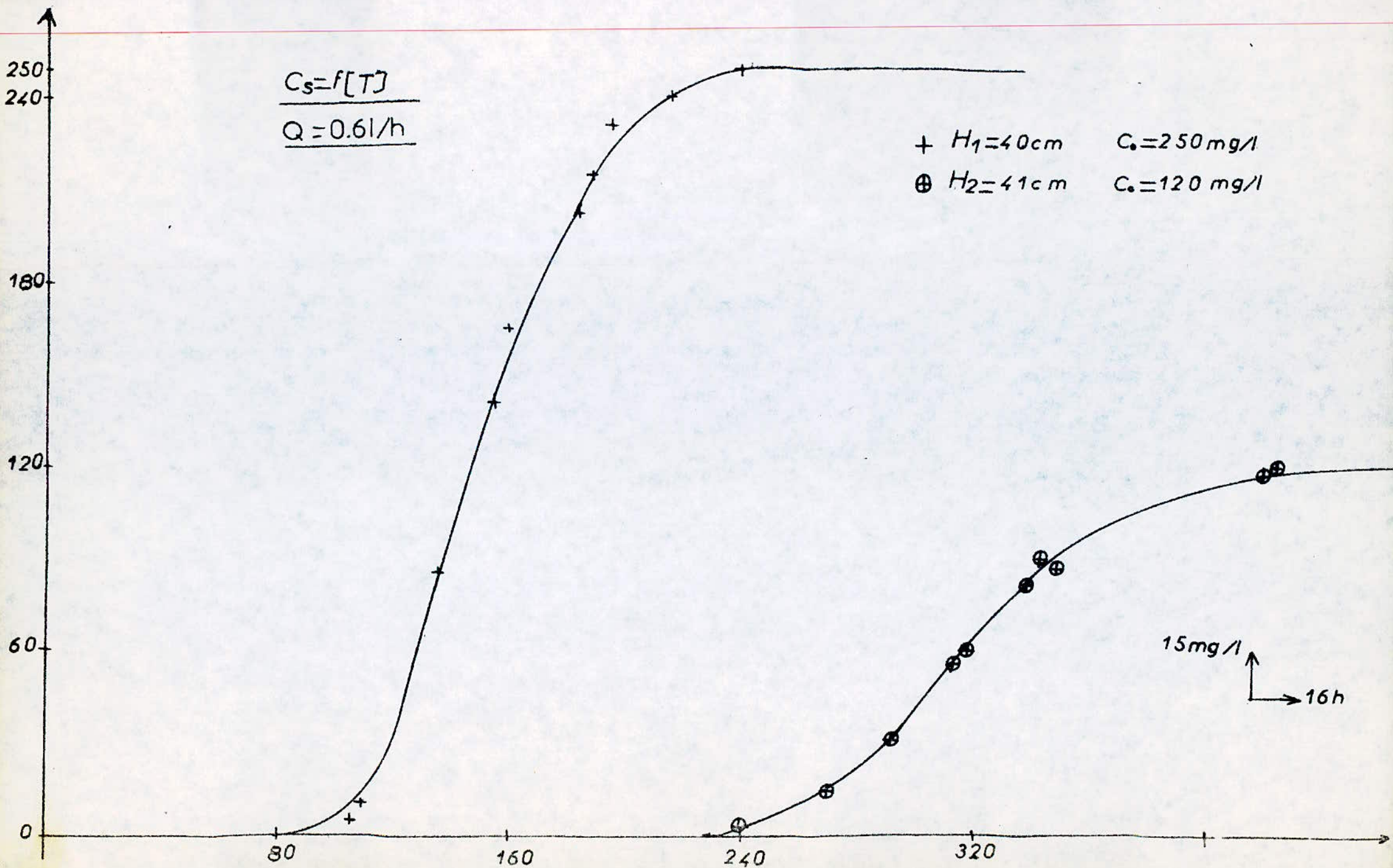


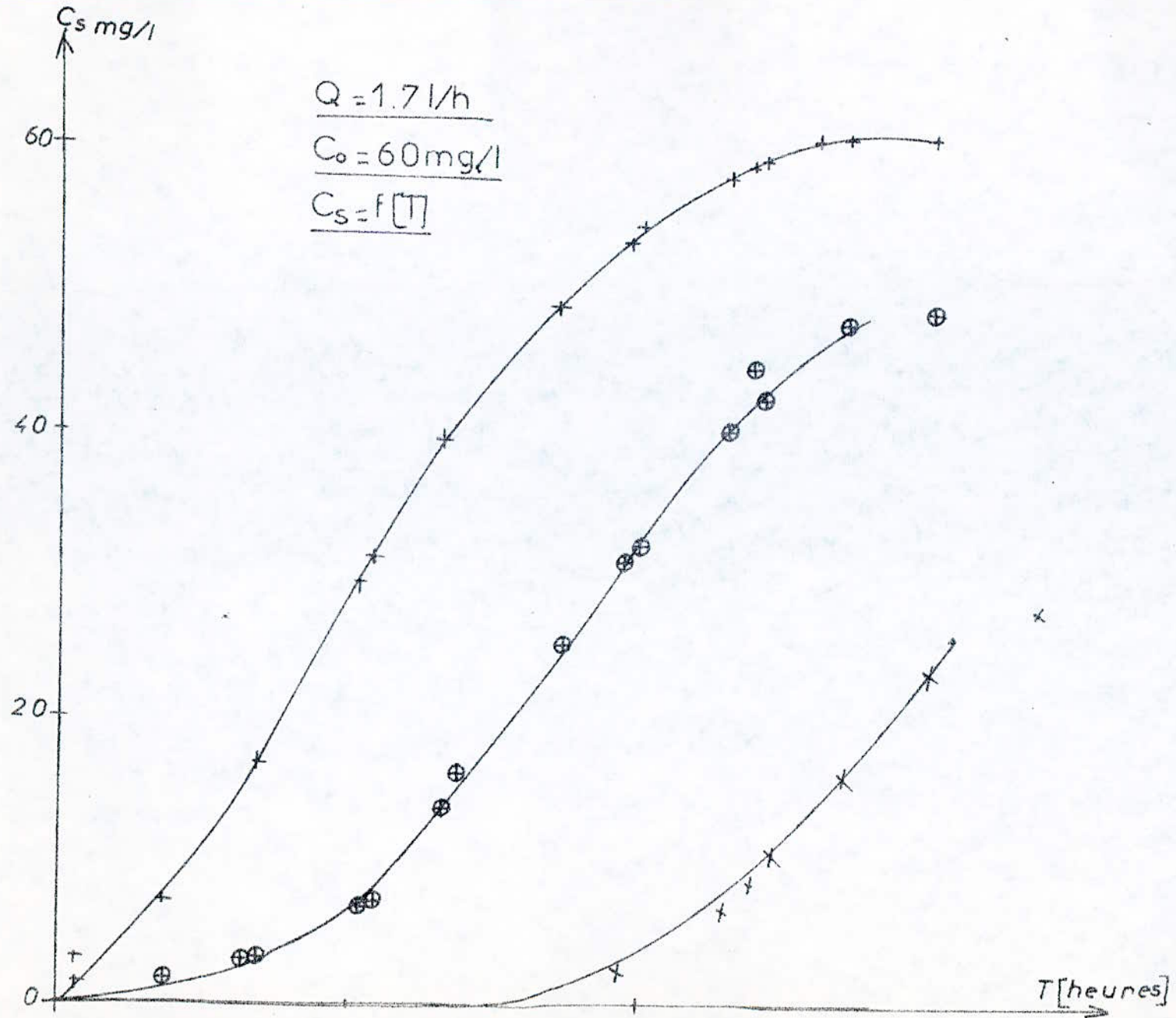


$C_s = \text{mg/L}$



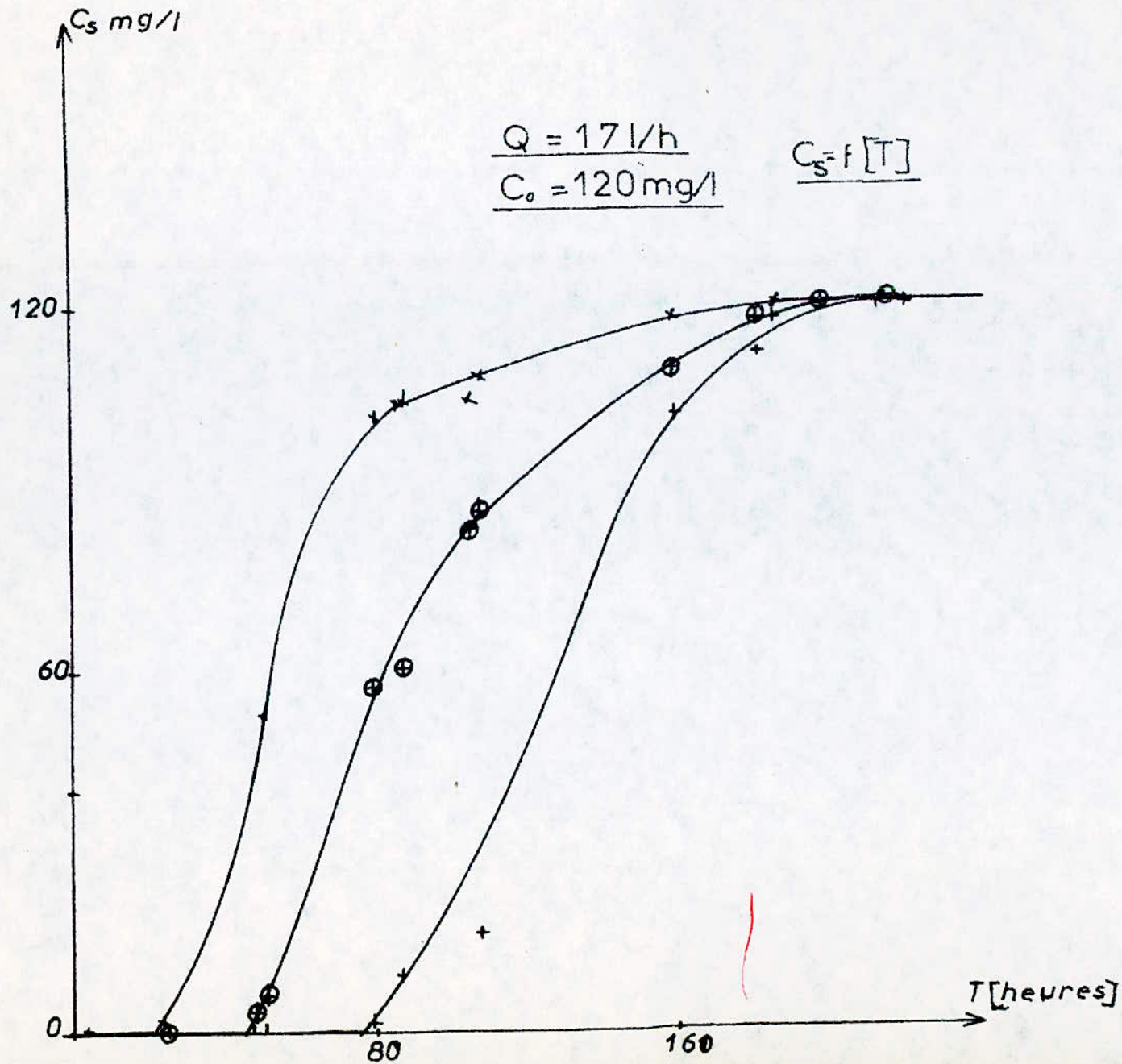






$\oplus H_2 = 26.6 \text{ cm}$
 $\times H_3 = 13.3 \text{ cm}$
 $+ H_1 = 40 \text{ cm}$

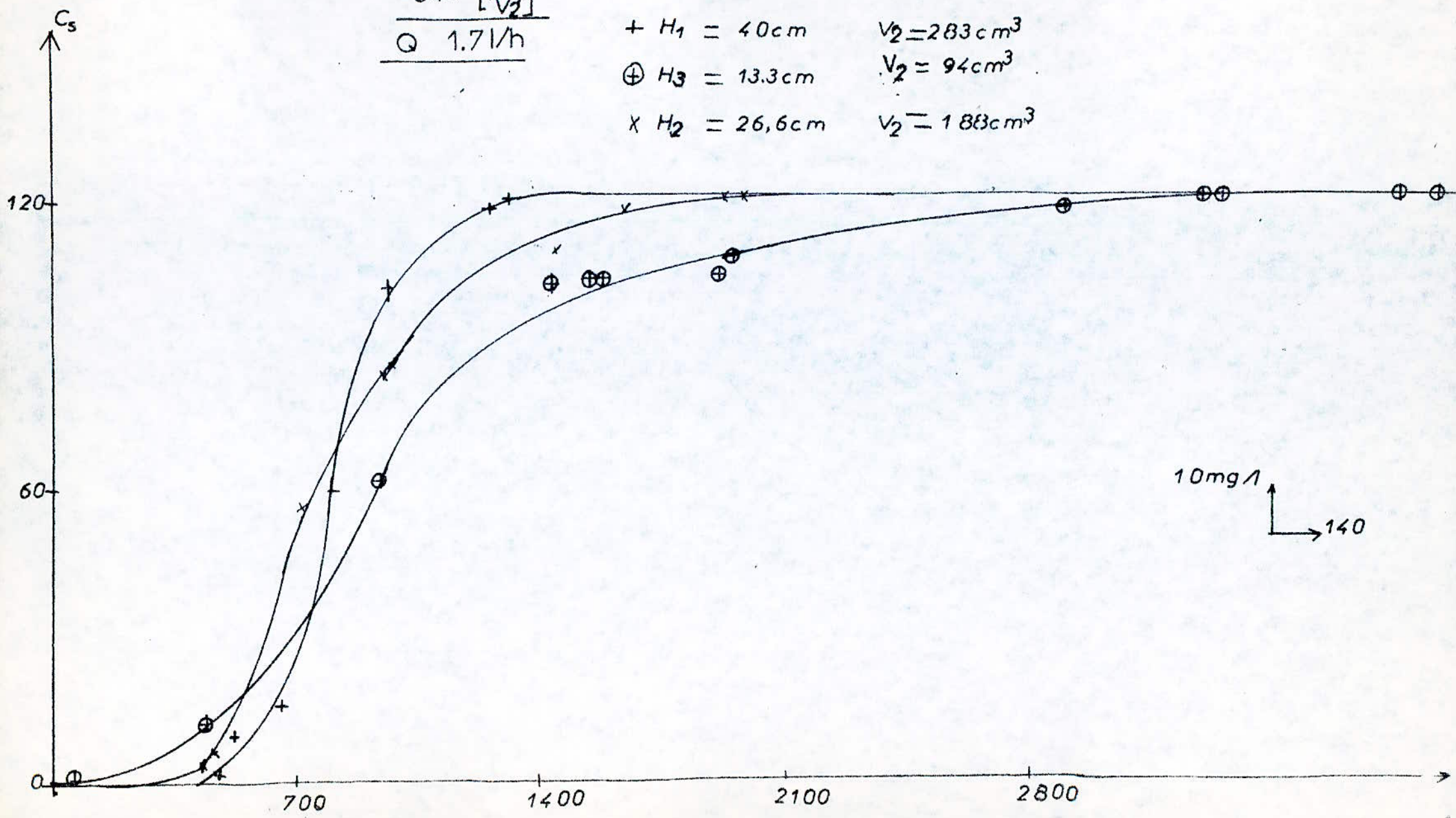
4 mg/l
 16 h



$$C_s = F \left[\frac{V_1}{V_2} \right]$$

$$Q = 1.7 \text{ l/h}$$

- + $H_1 = 40 \text{ cm}$ $V_2 = 283 \text{ cm}^3$
- ⊕ $H_3 = 13.3 \text{ cm}$ $V_2 = 94 \text{ cm}^3$
- x $H_2 = 26.6 \text{ cm}$ $V_2 = 188 \text{ cm}^3$



10 mg/l

140

$$Q = 1.7 \text{ l/h}$$

$$V_2 = 283 \text{ cm}^3$$

$$C_s = f[V/V_2]$$

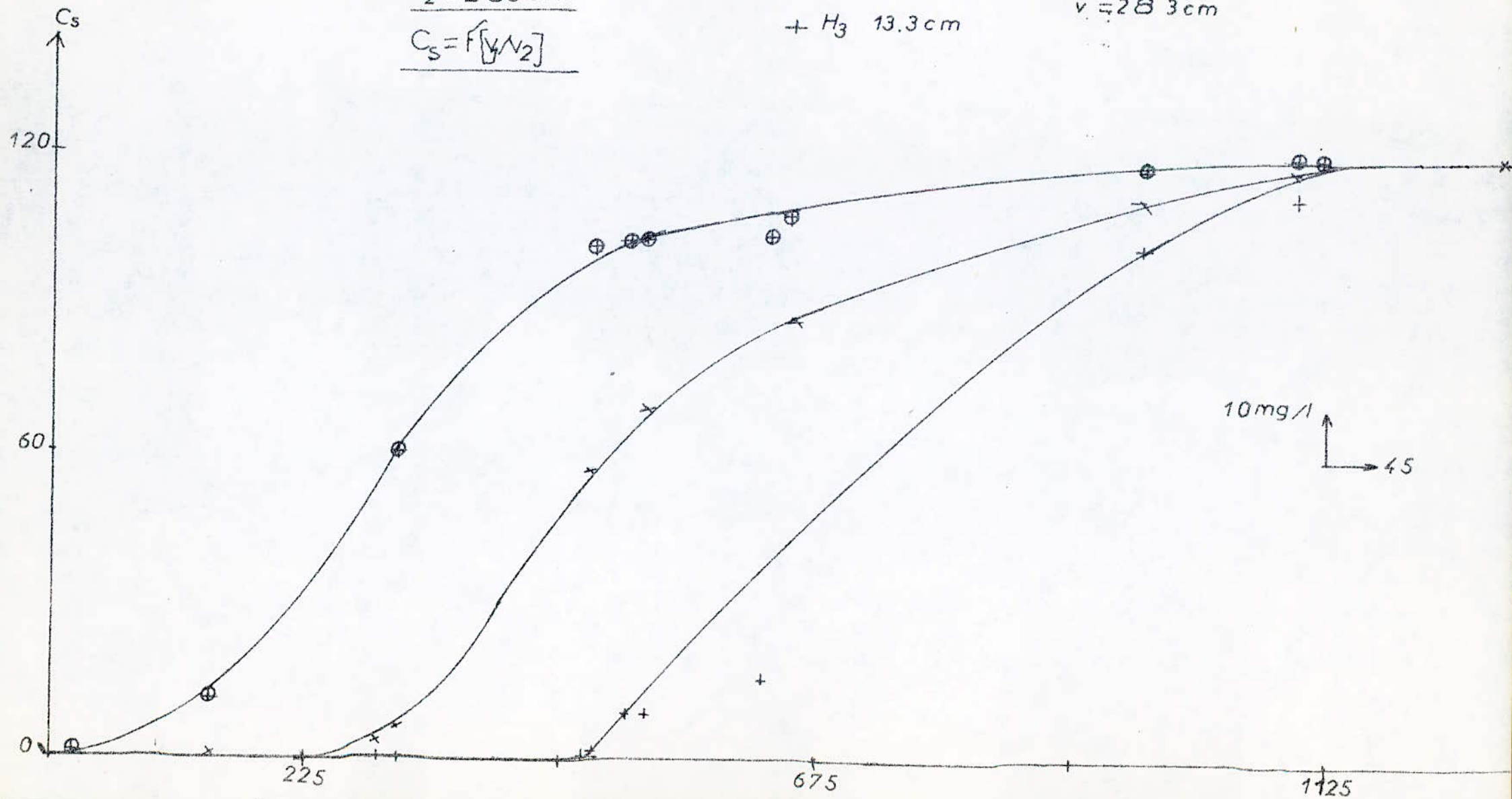
⊕ H_1 40 cm

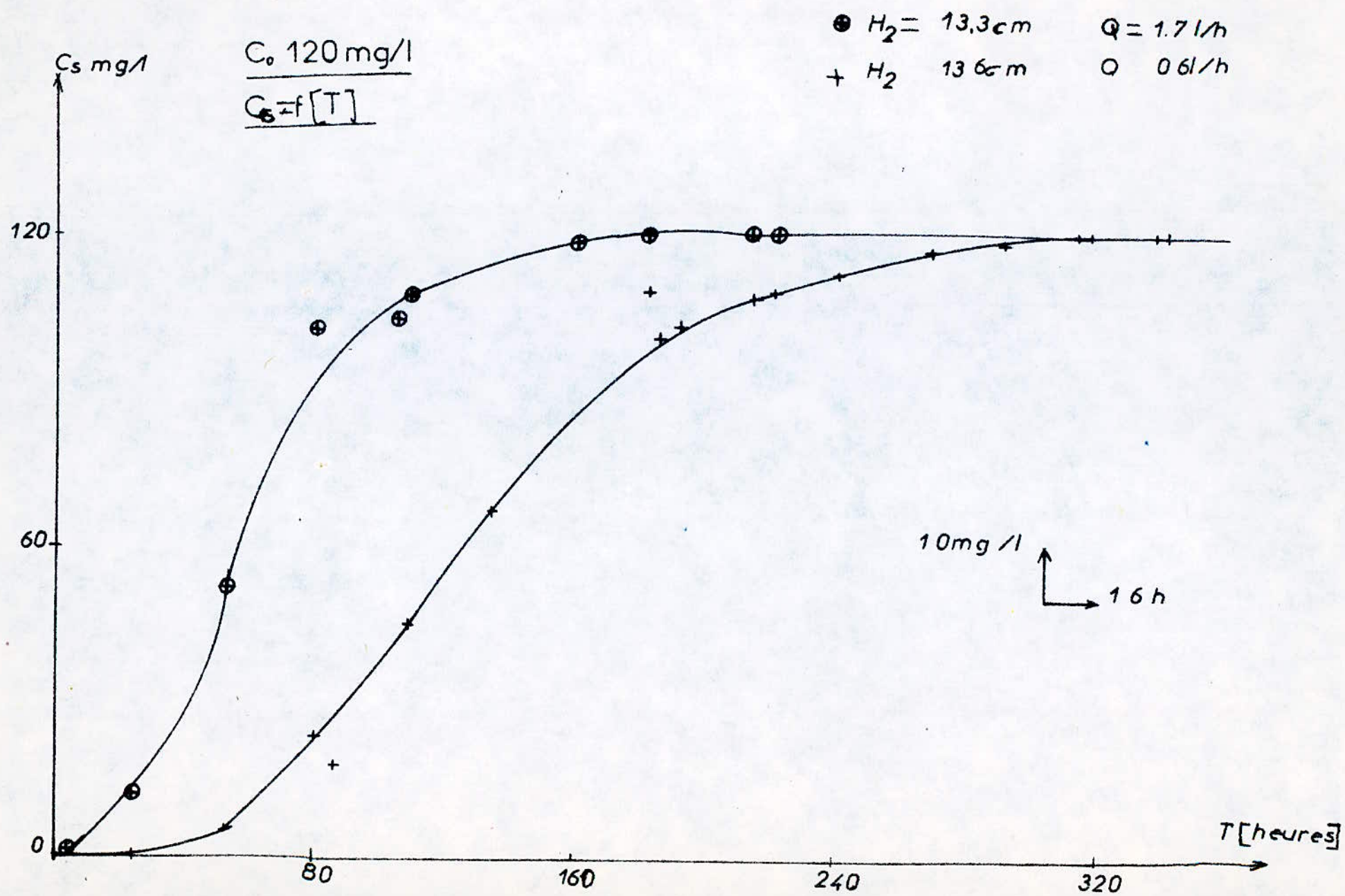
× H_2 26.6 cm

+ H_3 13.3 cm

$Q = 1.7 \text{ l/h}$

$v = 283 \text{ cm}$



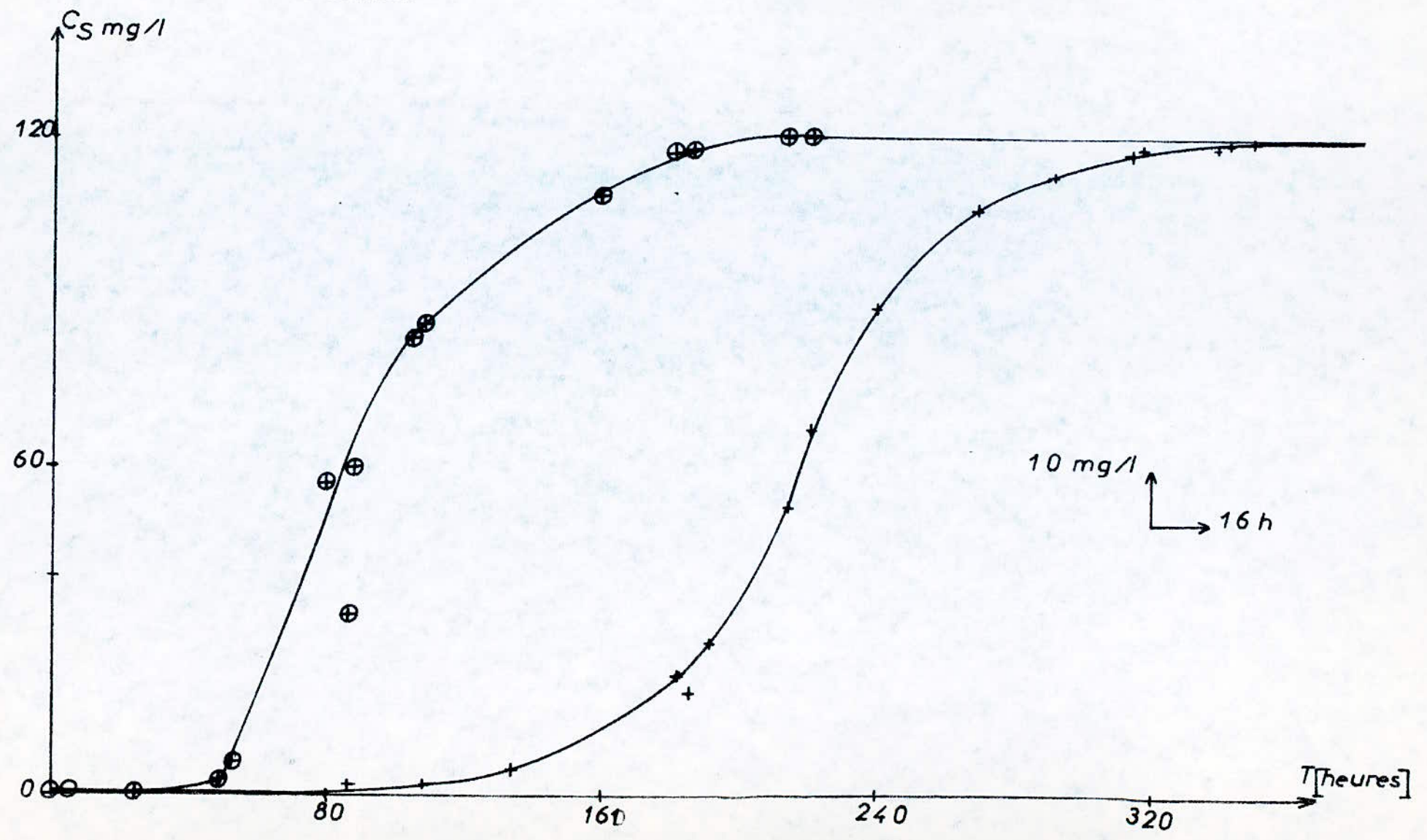


$$C_0 = 120 \text{ mg/l}$$

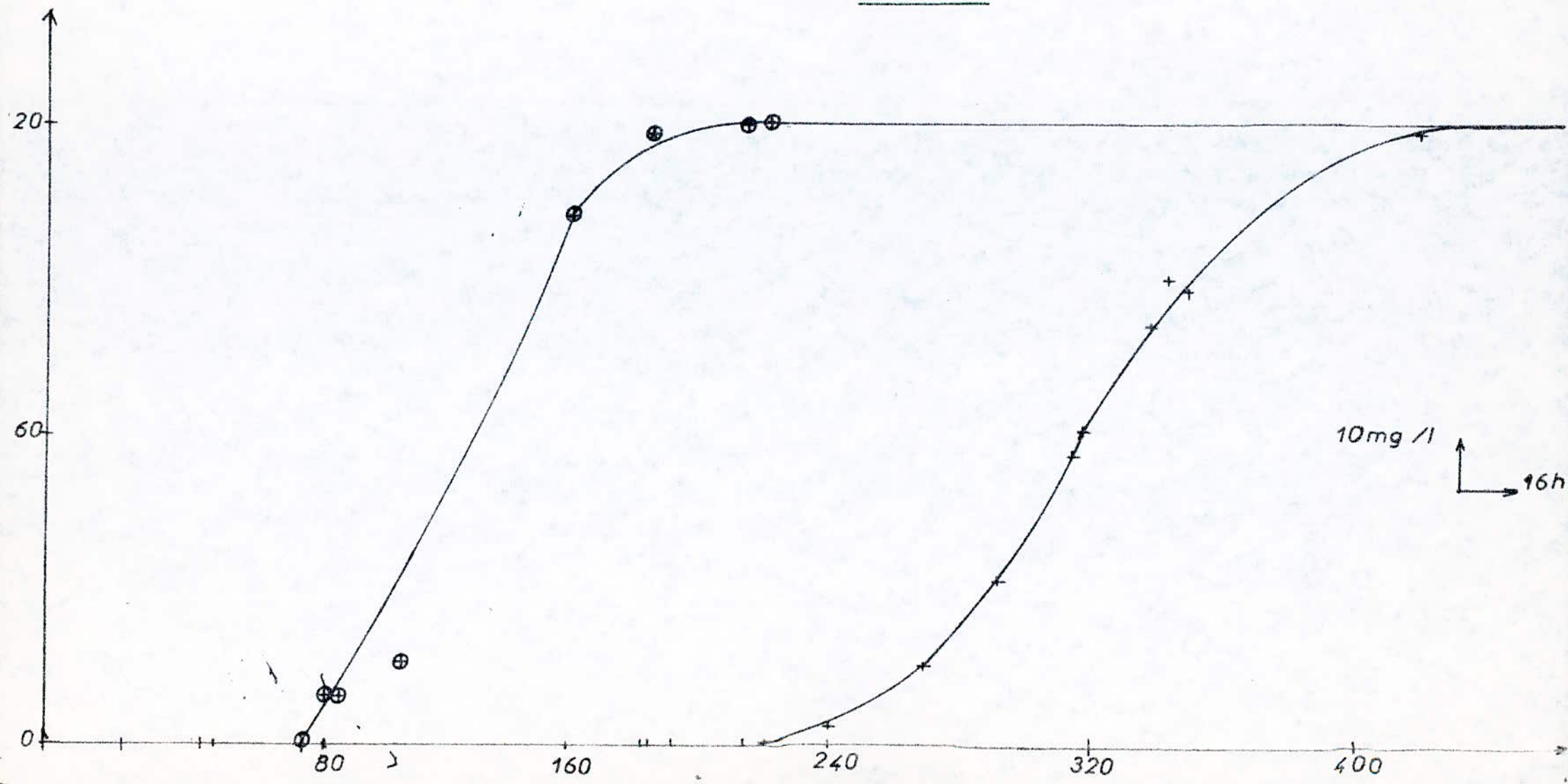
$$C_S = f [T]$$

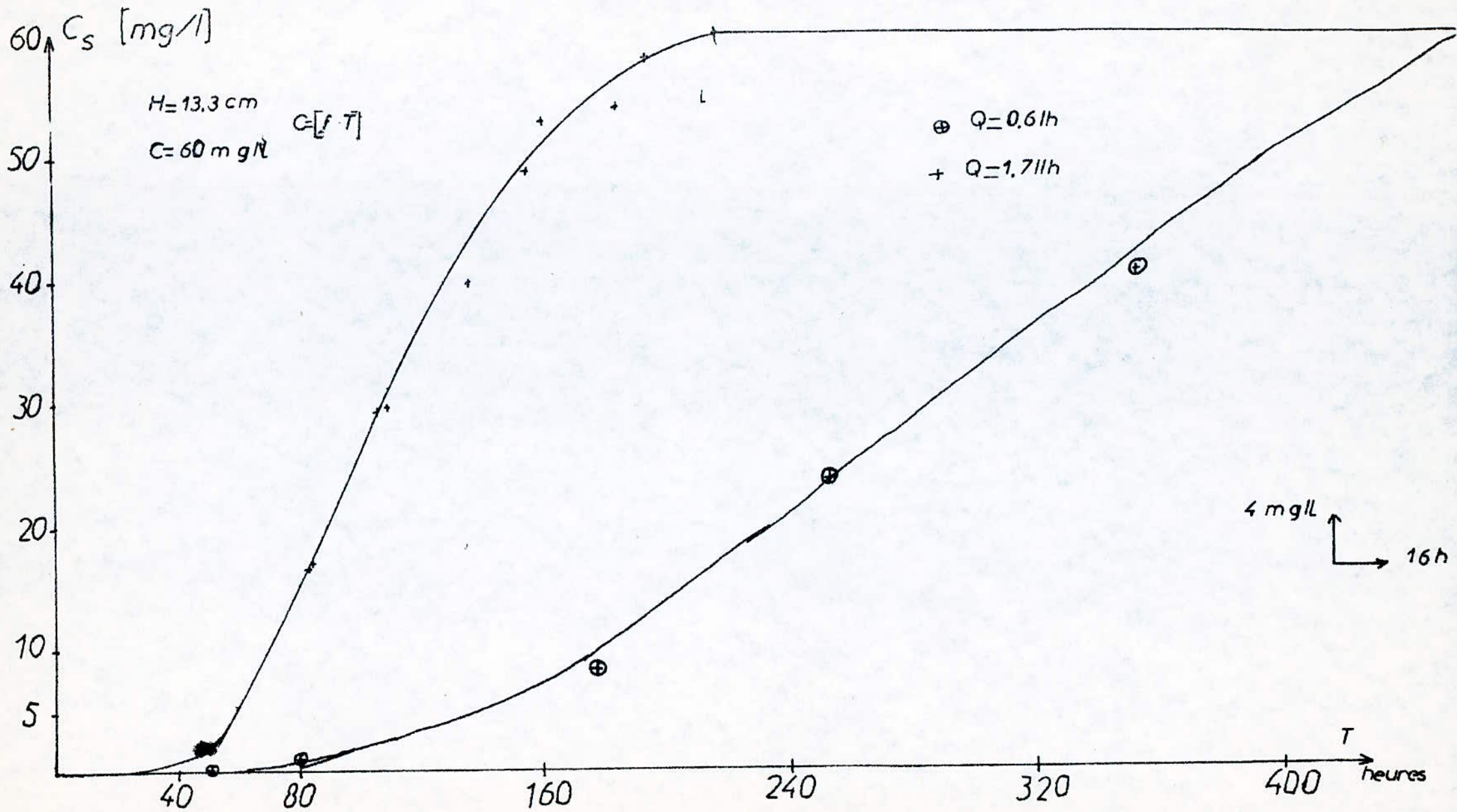
$$+ H_3 = 27.2 \text{ cm} \quad Q = 0.6 \text{ l/h}$$

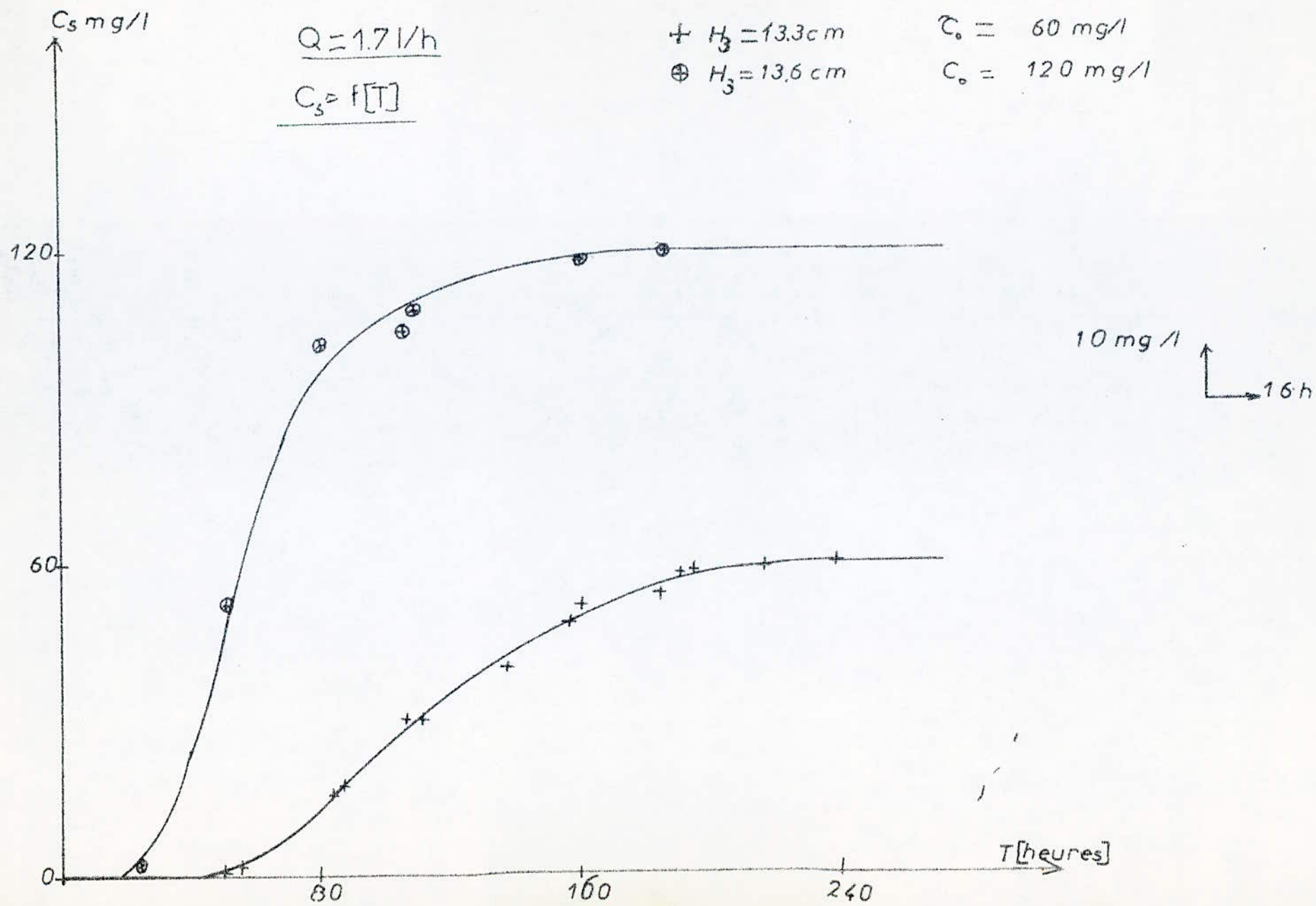
$$\oplus H_3 = 26.6 \text{ cm} \quad Q = 1.7 \text{ l/h}$$



\oplus $Q = 1.7 \text{ l/h}$ $H_1 = 40 \text{ cm}$
 $+$ $Q = 0.6 \text{ l/h}$ $H_1 = 41 \text{ cm}$
 $C_s = f[T]$







BIBLIOGRAPHIE

- 1 BOUCENNA M Préparation et caractérisation du charbon actif Projet de Fin d'études
- 2 BOHART EG ADAMS J Amer, chem, soc 1920, 42, 543
- 3 BOBSUYT L Lutte contre la pollution des eaux de surface à la raffinerie ESSO - d'ANVERS.
"Technique de l'eau et d'assainissement"
mensuel 352 Avril 1976
- 4 Bossy Filtration sur charbon actif en grains.
Technique de l'eau et d'assainissement
Juillet - août 1982
- 5 CASES J M "Adsorption des tensio-actifs à l'interface solide - liquide." Revue : Industrie minérale - minéralurgie octobre 1979
- 6 GLINKA N Chimie générale Tome II Edition Moscou
- 7 JOFFRE R "Eau le traitement des eaux résiduaires dans les raffineries de pétrole".
Nuisances et environnement Avril 1974

- 83 CHERID S "Traitement de l'effluent aqueux de la raffinerie d'ALGER par le chlorure ferrique" Projet de fin d'études
- 9 CHITOUR S.E Chimie physique des phénomènes de surface Année 1979
- 10 DEGREMONT Memento - Technique de l'eau. 8^{ème} édition Année 1978
- 11 ESPINOSA H "Procédé d'épuration des eaux chargées en hydrocarbures". Thèse doctorat ingénieur Toulouse III N° 437 Année 1974
- 12 FIESSINGER F "Progrès récents dans l'utilisation du charbon-actif pour le traitement des eaux potables" conférences présentée aux JIE 80 à POITIER 2-3 octobre Mars 1981
- 13 GAÏD A Modes d'élimination de composés sur filtration cas d'un support inerte et adsorbant cas d'un support consommable Thèse septembre 1981

- 14 .KETTAB A "Traitement des eaux usees d'Annaba"
these d'ingeniorat agronomique 1977
- 15 NIKOLAIEV L .chimie . moderne
2^{eme} edition Mir Moscou
- 16 PESSON P La pollution des eaux continentales
2^{eme} edition
- 17 RODIER J .L'analyse de l'eau
6^{eme} edition
- 18 SULEVIC JACTEL B .L'epuration des eaux residuaires
Jeumont - Schneider
- 19 TERRADELLAS J . Adsorption
Publication de l'institut du genie de
l'environnement publication n° 2
LAUSANNE 1976
- 20 WINKEL J .Charbon actif pour les traitements des
eaux Technique de l'eau et de
l'assainissement Mai 1976

- 21 STEVAN JANKOVIC X "chimie de l'environnement"
organisation mondiale de la sante'
Geneve 1974
- 22 PAVIE R X "L'emploi du charbon actif dans le
Traitement d'eau" L'eau et industrie
Mars 1981
- 23 DIVET P Y "Utilisation du charbon actif dans le
Traitement des eaux" Technique de
l'eau et de l'assainissement Juillet.
Aout 1973.

ANNEXES

Q : debit d'alimentation en eau polluee de phenols [L / h]

V_1 : volume d'alimentation en eau à traiter
 $V_1 = Q \cdot t$ [cm^3]

t : temps de fonctionnement de la colonne de charbon-actif [heures]

V_2 : volume de charbon-actif
 $V_2 = S \cdot H$ [cm^3]

H : hauteur de la colonne

S : surface ~~inter~~ de la colonne

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad [\text{cm}^2]$$

d : diametre de la colonne [$\varnothing = 3 \text{ cm}$]

C_0 : concentration initiale de phenols [mg/L]

C_s : concentration à la sortie de colonne de charbon actif [mg/L]

$$Q = 0.6 \text{ L/h}$$

$$C_0 = 60 \text{ mg/L}$$

$$H_3 = 13.3 \text{ cm}$$

t [heures]	volume d'eau v_1 [cm ³]	volume de charbon v_2 [cm ³]	v_1 / v_2	masse de phenols [g]	c_s [mg/L]
0	0		0	0	0
27	16200	94	172	0,972	0.060
52	31200	//	332	1.872	0.230
80	48000	//	511	2.880	0.750
178	106800	//	1136	6.400	8.250
254	152400	//	1621	9,144	23,6
351	210600	//	2240	12.636	40.5
429	257400	//	2738	15.444	55.2
464	278400	//	2962	16.704	60

t [h] heures	volume d'eau V_1 [cm ³]	volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	c_s [mg/L]
0	0	96	0	0	0
3	1800	"	19	0,216	0
24	14400	"	150	1,728	0,46
49	29400	"	306	3,528	x
52	31200	"	325	3,744	4,60
80	48000	"	500	5,760	23,50
86	51600	"	537,50	6,192	17,50
109	65400	"	681	7,848	48,75
135	81000	"	842	9,720	66,75
183	109800	"	1142	13,176	109,50
186	111600	"	1162,50	13,392	100,00
192	115200	"	1200	13,824	101,75
214	128400	"	1337,50	15,408	107,75
220	132000	"	1375	15,840	109,75
240	144000	"	1500	17,280	112,75
268	160800	"	1675	19,296	116,75
292	175200	"	1825	21,024	117,75
317	190200	"	1981,25	22,824	120

$C_0 = 120 \text{ mg/L}$

$V_2 = 96 \text{ cm}^3$

$D = 0,6 \text{ L/h}$

$H_3 = 13,6 \text{ cm}$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
0	0		0	0	0
3	1800	192	9	0,216	0
24	14400		75	1,728	0
49	29400		153	3,528	0,42
52	31200		162,5	3,744	0,70
80	48000		250	5,760	2,00
86	52800		269	6,336	2,00
106	63600		331	7,632	2,00
135	81000		422	9,720	4,50
183	109800		572	13,176	22,25
186	111600		581	13,392	18,25
192	115200		600	13,824	27,75
214	128400		669	15,408	52,75
220	132000		687,5	15,840	66,75
240	144000		750	17,280	89,00
268	160800		838	19,296	106,75
292	175200		913	21,024	113,00

$Q = 0,6 \text{ L/h}$
 $C_0 = 120 \text{ mg/L}$

$H_3 = 27,2 \text{ cm}$
 $V_2 = 192$

Suite page :

t [h]	Volume d'eau V_1 [cm ³]	volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phénols [g]	c_s [mg/L]
313	187800	192	978	22,536	116,50
317	190200		990,6	22,824	116,75
338	202800		1056	24,336	118,00
342	205200		1069	24,624	118,50
348	208800		1087,5	25,056	119.
419	251400		10309,4	30,168	120
424	254400		1325	30,528	120

t [h] heures	volume d'eau V_1 [cm ³]	volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	c_s [mg/L]
0	0	300	0	0	0
3	1800	"	6	0,216	0
24	14400	"	48	1,728	0
49	29400	"	98	3,528	0
52	31200	"	104	3,744	0
80	48000	"	160	5,760	0
86	51600	"	172	6,192	0
88	52800	"	176	6,336	0
106	63600	"	212	7,632	0
109	65400	"	218	7,848	0
135	81000	"	270	9,720	0
183	109800	"	366	13,176	0,15
186	111600	"	372	13,392	0,15
192	115200	"	384	13,824	0,15
214	128400	"	428	15,408	0,23
220	132000	"	440	15,840	0,38
240	144000	"	480	17,280	2,71

$Q = 0,6 \text{ L/h}$
 $C_0 = 120 \text{ mg/L}$

$H_1 = 41 \text{ cm}$
 $V_2 = 300$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
2 68	144000	300	480	17,280	2,71
2 68	160800	"	536	19,296	15,50
2 92	175200	"	584	21,024	32,00
3 13	187800	"	626	22,536	56,00
3 17	190200	"	634	22,824	60,75
3 38	202800	"	676	24,336	81,75
3 42	205200	"	684	24,624	90,00
3 48	208800	"	696	25,056	88,00
4 19	251400	"	838	30,168	117,50
4 24	254400	"	848	30,528	120

t [h] heures	volume d'eau v_1 [cm ³]	Volume de charbon v_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	c_s [mg/L]
0	0	94	0	0	0
5	3000	"	32	0,75	6,20
29	17400	"	185	4,35	11,50
51	30600	"	326	7,65	47,75
55	33000	"	351	8,25	60
84	50400	"	536	12,60	152,50
86	51600	"	549	12,90	159,00
106	63600	"	677	15,90	143,50
110	66000	"	702	16,50	210,00
137	82200	"	874	20,55	243,75
156	93600	"	996	23,40	250,00
161	96600	"	1018	24,15	250,00
184	110400	"	1174	27,60	250,00
190	114000	"	1213	28,50	250,00
195	117000	"	1245	29,25	250,00
216	129600	"	1379	32,40	250,00
239	143400	"	1526	35,85	250,00

$Q = 0.6 \text{ L/h}$
 $C_0 = 250 \text{ mg/L}$

$H_3 = 13.3 \text{ cm}$
 $V_2 = 94$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
0	0	188	0	0	0
5	3 000	=	16	0,75	0,07
29	17 400	=	93	4,35	1,30
51	30 600	=	163	7,65	7,50
55	33 000	=	176	8,25	11,50
84	50 400	=	268	12,60	46,50
86	51 600	=	274	12,90	53,50
106	63 600	=	338	15,90	115,75
110	66 000	=	351	16,50	166,00
137	82 200	=	437	20,55	198,75
156	93 600	=	498	23,40	238,00
161	96 600	=	514	24,15	243,00
184	110 400	=	587	27,60	249,00
190	114 000	=	603	28,50	250,00
195	117 000	=	622	29,25	250,00
216	129 600	=	689	32,40	250,00
239	143 400	=	763	35,85	250,00

$Q = 0.6 \text{ L/h}$
 $C_0 = 250 \text{ mg/L}$

$H_2 = 26.6 \text{ cm}$
 $V_2 = 188$

t [h] heures	volumes d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
0	0	283	0	0	0
5	3000	"	10,60	0,75	0
29	17400	"	61,48	4,35	0
51	30600	"	108,00	7,65	0
55	33000	"	116,60	8,25	0
84	50400	"	178,09	12,60	0,196
86	51600	"	182,33	12,90	0,300
106	63600	"	224,73	15,90	4,880
110	66000	"	233,20	16,50	10,50
137	82200	"	290,45	20,55	85,50
156	93600	"	330,74	23,40	142,25
161	96600	"	341,34	24,15	165,00
184	110400	"	390,10	27,60	203,25
190	114000	"	402,82	28,50	215,25
195	117000	"	413,40	29,25	231,00
216	129600	"	457,95	32,40	240,00
239	143400	"	506,71	35,85	250

$Q = 0.6 \text{ L/h}$
 $C_0 = 250 \text{ mg/L}$

$V_1 = 40 \text{ cm}$
 $V_2 = 283$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
0	0		0	0	0
5	8500	94	90	0,510	3,2
29	49300	"	524	2,958	7,50
51	86700	"	922	5,200	7,50
55	93500	"	995	5,600	16,75
84	142800	"	1519	8,600	29,50
86	146200	"	1555	8,800	31,50
106	180200	"	1917	10,800	39,20
110	187000	"	1987	11,220	39,75
137	232900	"	2478	14,000	39,75
156	265200	"	2821	16,000	48,80
161	273700	"	2912	16,400	52,80
184	312800	"	3328	19,000	54,00
190	323000	"	3436	19,400	57,60
195	331500	"	3527	19,890	58,00
216	367200	"	3906	22,000	58,20
239	406300	"	4322	24,378	60,00
268	455600	"	4847	27,336	60,00

$Q_0 = 1.7 \text{ L/h}$
 $C_0 = 60 \text{ mg/L}$

$H_3 = 13.3 \text{ cm}$
 $V_2 = 94$

E [h] heures	Volumes d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
0	0		0	0	0
5	8500	188	45	0,510	1,42
29	49300	"	262	2,958	2,70
51	86700	"	461	5,200	2,85
55	93600	"	497	5,600	3,25
84	142800	"	760	8,600	6,75
86	146200	"	778	8,800	7,50
106	180200	"	959	10,800	13,75
110	187000	"	995	11,220	15,75
137	232900	"	1239	14,000	25,00
156	265200	"	1411	16,000	30,80
161	273700	"	1456	16,400	32,00
184	312800	"	1664	19,000	39,60
190	32300	"	1718	19,400	44,60
195	331500	"	1763	19,860	42,00
216	367200	"	1953	22,000	46,80
239	406300	"	2161	24,378	48,00
268	455600	"	2423	27,336	

$Q = 47 \text{ L/h}$
 $C_0 = 60 \text{ mg/L}$

$H_2 = 26.6 \text{ cm}$
 $V_2 = 188$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_s [mg/L]
0	0		0	0	0
5	8500	283	30	0,510	0
29	49300	"	174,20	2,958	0
51	86700	"	306,38	5,200	0,07
55	93500	"	330,38	5,600	0,11
84	142800	"	504,59	8,560	0,07
86	146200	"	516,60	8,772	0,15
106	180200	"	636,74	10,810	0,30
110	187000	"	660,77	11,22	0,78
137	232900	"	822,96	13,97	2,31
156	265200	"	937,10	15,91	2,38
161	273700	"	967,13	16,42	3,20
184	312800	"	1105,30	18,76	6,75
190	323000	"	1141,34	19,38	8,80
195	331500	"	1171,37	19,89	9,50
216	367200	"	1297,52	22,00	15,60
239	406300	"	1435,68	24,378	23,50
268	455600	"	1609,89	27,336	27,25

$Q = 17 \text{ L/h}$
 $C_0 = 60 \text{ mg/L}$

$H_1 = 40 \text{ cm}$
 $V_2 = 283$

⑦

$$Q = 1,7 \text{ L/h}$$

$$C_0 = 120 \text{ mg/L}$$

$$H'_3 = 13,3 \text{ cm}$$

t [h] heures	volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_3 [mg/L]
0	0	94	0	0	0
3	5100	611	54	0,612	0
24	40800	"	434	4,896	12
49	83300	"	886	9,936	X
52	88400	"	940	10,608	61,60
80	136000	"	1447	16,320	101,75
86	146200	"	1555	17,544	103,25
88	149600	"	1591	17,952	102,75
106	180200	"	1917	21,624	103,75
109	185300	"	1971		107,75
161	273700	"	2912	32,844	117,75
183	311100	"	3309,5	37,332	120
186	316200	"	3364	37,944	120
214	363800	"	3870	43,656	120
220	374000	"	3979	44,880	120

(x)

$$Q = 1,7 \text{ L/h}$$

$$C_0 = 120 \text{ mg/L}$$

$$H'_2 = 26,6 \text{ cm}$$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	c_s [mg/L]
0	0	188	0	0	0
3	5100	"	27	0,612	0
24	40800	"	217	4,896	0,38
49	83300	"	443	9,996	2,66
52	88400	"	470	10,608	5,58
80	136000	"	723	16,320	57,00
86	146200	"	778	17,544	33,50
88	149600	"	796	17,952	60,00
106	180200	"	959	21,624	83,75
161	273700	"	1456	32,844	109,50
183	311100	"	1655	37,332	116,75
186	316200	"	1682	37,944	118,75
214	363800	"	1935	43,656	120
220	374000	"	1989	44,880	120

$$Q = 1,7 \text{ L/h}$$

$$C_0 = 120 \text{ mg/L}$$

$$H'_1 = 40 \text{ cm}$$

t [h] heures	Volume d'eau V_1 [cm ³]	Volume de charbon V_2 [cm ³]	V_1 / V_2	masse de phenols [g]	C_3 [mg/L]
0	0	283	0	0	0
3	5100	//	18	0,612	0
24	40800	//	144	4,896	0
49	83300	//	294	9,996	0
52	88400	//	312	10,608	0
80	136000	//	481	16,320	1,22
86	146200	//	517	17,544	9,50
88	149600	//	529	17,952	9,50
106	180200	//	637	21,624	x
109	185300	//	655	22,236	15,50
161	273700	//	967	32,844	101,75
183	311100	//	1099	37,332	111,75
186	316200	//	1117	37,944	117,75
214	363800	//	1286	43,656	119,75
220	374000	//	1322	44,880	120

