

3/83

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Alex

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Sujet :

Etude de la cinétique d'adsorption

en phase liquide

Proposé par : A. TYCZKOWSKI

Etudié par : A. BOUGRINE



-O- PROJET DE FIN D'ETUDE -O-

Soutenu le 22 janvier 1983

DEVANT

LES MEMBRES DU JURY

PRESIDENT :

Mer BENDJEMAA . A : Maitre assistant à l'E.N.P.A.

EXAMINATEURS :

Mer : TYCZKOWSKI A : Maitre de conférence à l'ENPA

Mer : OBRETENOV T : Professeur à l'ENPA

Meme : YAGOUB F : Maitre assistante à l'ENPA

-0- DEDICACES -0-



- Ma mère , mon père
- Mes frères , mes soeurs
- Mon fiancé mohamed
- Mes belles soeurs , mes beaux frères
- Mes nièces , mes neveux
- Mes amis (es)
- Tous ce qui me sont chers

Je dédie ce modeste travail .



-0- REMERCIEMENTS -0-

Ce travail a été proposé et dirigé par monsieur TYCZKOWSKI à qui je tiens à exprimer ma vive reconnaissance pour tous les précieux conseils qu'il a bien voulu me donner et pour les laborieuses discussions que nous avons eues .

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants et professeurs du primaire , du secondaire et du supérieur qui ont contribué ^{ma} à l'information .

Mes remerciements s'adressent aussi au président du jury aussi bien que pour les examinateurs qui ont bien voulu m'honorer de leur présence dans ce jury .

Je tiens aussi à remercier toute personne ayant participé à l'élaboration de ce projet de loin ou de près , et particulièrement à mon frère belkacem qui a eu l'amabilité de me faire la frappe, mon beau frère CHABANE mohamed pour son aide matériel et moral , ainsi que ~~MOJIB~~ a bien voulu me faire le tirage .

Enfin que tous mes amis , mes camarades trouvent dans ce présent travail ma profonde sympathie .

-0- T A B L E D E S M A T I E R E S -0-

I	INTRODUCTION ;	.....
II	PARTE THEORIQUE	.....
II-1-	INTRODUCTION AU PROBLEME	.....
II-1-1-	DEFINITION	.....
II-1-2-	TYPE D'ADSORPTION	.....
II-1-3-	CARACTERISTIQUE DES DEUX TYPES D'ADSORPTION	.....
II-1-4-	FACTEURS INFLUANT SUR L'ADSORPTION	.....
II-1-5-	LES ADSORBANTS	.....
II-1-6-	APPLICATION DE L'ADSORPTION EN MILIEU LIQUIDE	.....
II-2-	EQUILIBRE D'ADSORPTION	.....
II-2-1-	DEFINITION DE L'ISOTHERME D'ADSORPTION	.....
II-2-2-	CLASSIFICATION DES ISOTHERMES	.....
II-2-3-	THEORIE DE LANGMUIR	.....
II-2-4-	CONCLUSION	.....
II-2-5-	EXEMPLE D'ISOTHERME D'EQUILIBRE	.....
II-3-	ETUDE CINETIQUE	.....
II-3-1-	GENERALITES	.....
II-3-2-	MECANISME DE L'ADSORPTION	.....
II-3-3-	LOI CINETIQUE D'ADSORPTION	.....
II-3-4-	DEUXIEME LOI D'ADSORPTION	.....
II-3-5-	PROCESSUS DE TRANSFERT DE MATIERE : LA DIFFUSION	.....
II-3-6-	DETERMINATION DU COEFFICIENT EFFECTIF (De)	.....
II-4-	LE CHARBON ACTIF:	.....
II-4-1-	DEFINITION	.....
II-4-2-	PARTICULARITE DES CHARBONS ACTIFS	.....
II-4-3-	FABRICATION DES CHARBONS ACTIFS	.....
II-4-4-	TECHNIQUE D'ETULISATION	.....
II-4-5-	REGENERATION DU CHARBON ACTIF	.....
II-4-6-	APPLICATION DU CHARBON ACTIF	.....

II-5-	NOTION GENERALES SUR L'AGITATION	2
II-5-1-	BUT DE L'AGITATION	2
II-5-2-	MODE D'AGITATION	2
II-5-3-	TYPE D'AGITATION	2
II-5-4-	TYPE D'AGITATEUR	2
II-5-5-	VARIABLES INTERVENANT LORS D'UNE AGITATION	2
III-	PARTIE EXPERIMENTALE	3
III-1-	PRODUITS UTILISES	3
III-1-1-	ACIDE ACETIQUE EDM	3
III-1-2-	CHARBONS ACTIFS	3
III-1-3-	TECHNIQUE D'ANALYSE UTILISEE	3
III-1-4-	PREPARATION DES PRODUITS UTILISES	3
III-1-5-	PREPARATION DU CHARBON ALGERIEN	3
III-2-	CARACTERISTIQUE DU CHARBON ACTIF	3
III-2-1-	INTRODUCTION	3
III-2-2-	CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUE DU CHARBON ACTIF	3
III-2-3-	RESULTATS EXPERIMENTAUX	3
III-3-	EQUILIBRE D'ADSORPTION DU CHARBON ALGERIEN	3
III-3-1-	DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE	3
III-3-2-	EQUILIBRE D'ADSORPTION	3
III-3-3-	RESULTATS EXPERIMENTAUX	3
III-3-4-	INTERPRETATION DES RESULTATS	3
III-4-	CINETIQUE D'ADSORPTION	3
III-4-1-	MODE OPERATOIRE	3
III-4-2-	LOI CINETIQUE D'ADSORPTION	3
III-4-3-	RESULTATS EXPERIMENTAUX	3
IV-	CONCLUSION GENERALE	3
V-	BIBLIOGRAPHIE	3

-0- TABLE DES FIGURES (PARTIE THEORIQUE) -0-

- 1) Affinité de l'adsorbant $\frac{X}{m} = f(C)$
- 2) Classification des isothermes
- 3) Formulation de l'isotherme de LANGMUIR $m = f(p)$
- 4) Equation de FREUNDLICH $(\frac{X}{m} = f(C) , \text{ variation de } n)$
- 5) Détermination de $t_{0,5}$, $a = f(t)$
- 6) Variation de E en fonction de $\frac{Det}{R}$
- 7) Transformé de l'isotherme de LANGMUIR pour charbon polonais type A
- 8) Transformé de l'isotherme de LANGMUIR (pour les charbons anglais) .

-0- TABLE DES TABLEAUX 6 PARTIE THEORIQUE) -0-

- 1) Propriétés des deux types d'adsorption
- 2) Différents types d'adsorbants
- 3) Valeurs de K en fonction de L/R (Cas d'un grain cylindrique)
- 4) Valeurs de K dans le cas d'une sphère et d'un cylindre .

-O- NOTATIONS UTILISEES -O-

N	: Vitesse d'agitation	(trs/mn)
De	: Coefficient effectif de diffusion	(cm ² /s)
T	: Temperature	(°C)
K	: Constante de vitesse	(l ² /g mole mn)
K'	: Constante de vitesse	(l/g mn)
V	: Volume de la solution	(l)
m	: Quantite de charbon	(g)
Mo	: Capacite maximale d'adsorption	(g/g)
Cm	: Capacite maximale d'adsorption	(mole/l)
Co	: Concentration initiale de la solution	(mole/l)
C	: Concentration de la solution à un instant t	(mole/l)
Ce	: Concentration de la solution à l'équilibre	(mole/l)
L	: Longueur du cylindre (charbon)	(m)
t	: Temps	(s)

-0- HISTORIQUE -0-

Les phénomènes d'adsorption furent découverts en premier lieu par schille en 1773 , puis par l'ABBE FONTA en 1777 . (14) LOWTIZ étudia en 1785 la propriété qu'avait le noir animal à déplacer la couleur de solutions teintées . De SAUSSURE réalisa le premier travail systématique concernant les phénomènes d'adsorption en 1814 (14) . Ces études et recherches complétées en 1930 furent revues en 1932 par JW.MC Bain .

S.BRUNAUER reprit l'étude de la physique d'adsorption au environs de 1940 et MANTELL en tant que discipline nouvelle dans l'industrie chimique en 1950 BERSELIUS , en 1856 signala l'activation possible des charbons de bois mais c'est DEWARD , en 1904 qui fit connaitre les propriétés du charbon de noix de coco (12) Il fallut la guerre des gaz pour donner son essort à la fabrication des charbons adsorbants .

Très peu d'études sont faites sur la cinétique d'adsorption , Ce qui nous a poussé à faire notre projet dans ce domaine .

-0- I N T R O D U C T I O N -0-

La pollution de l'eau et de l'atmosphère par des produits chimiques toxiques tels que : l'acétone , l'acide , ... provenant des industries chimiques et pétrochimiques est devenue un problème important . Ceci conduit à une diminution importante de l'eau potable pour la population d'une part et pour le besoin du développement économique d'autre part, sans oublier le problème de santé .

L'adsorption des polluants par un solide adéquat semble être une technique intéressante pour résoudre ce problème . Car l'adsorption est une méthode physique de séparation des mélanges , elle est actuellement parmi les procédés les plus importants et les plus utilisés dans les industries chimiques , notamment dans les domaines de traitement des eaux polluées , la désulfuration des gaz industriels , les industries alimentaires et pharmaceutiques , la récupération de solvant ect... Ainsi un charbons actifs sont parmi les adsorbants les plus utilisés vu leur haut pouvoir adsorbant . Afin de régler tous ces problèmes rencontrés dans l'industrie , On est amené à développer le processus d'adsorption . De ce fait plusieurs études ont été faites sur l'équilibre d'adsorption , permettant ainsi de connaître le degrés maximal de séparation . Mais ceci est insuffisant pour bien connaître ce phénomène complexe. Ainsi ce travail est complété par une étude cinétique permettant de connaître la vitesse de diffusion des constituants du mélange dans le solide .

Notre travail à pour objet d'approfondir cette étude cinétique déjà entamée , en jouant sur plusieurs paramètres à savoir : la vitesse d'agitation , le diamètre des grains , le type de charbon actif et le type d'agitateur .

PARTIE THÉORIQUE _____

II- PARTIE THEORIQUE

II-1- INTRODUCTION AU PROBLEME

Le génie chimique a pour objet l'étude des processus fondamentaux qui sont appelés opérations unitaires (18) .

Ces opérations constituent trois grandes branches qui sont :

- Les opérations dynamiques .
- Les opérations du transfert de chaleur
- Les opérations du transfert de matière .

Cette dernière branche se divise en plusieurs groupes parmi lesquels nous citons :

- Distillation , rectification
- Extraction
- Absorption
- Adsorption

Parmi ces quatre méthodes de séparation , nous étudions en détail l'adsorption .

II-1-1- DEFINITION

L'adsorption par un solide peut être définie comme étant le phénomène d'enlèvement de molécules d'une phase gazeuse ou liquide par la surface de ce solide (13) . L'adsorption est donc un phénomène de surface qui peut se produire entre plusieurs phases de diverses natures mais nous étudierons principalement l'adsorption des fluides par les solides.

II-1-2- TYPES D'ADSORPTION

il existe deux types d'adsorption

- Physisorption
- Chimisorption ou adsorption chimique .

La différence entre l'adsorption physique et chimique se ramène à une différence entre les types de forces , donc des liaisons qui retiennent les molécules du gaz ou du liquide à la surface du solide . Dans l'adsorption physique , nous avons des forces faibles de type de VANDER-WAALS ? , l'adsorption chimique est caractérisée par des liaisons chimiques de type covalent (3) (17)

II-1-3- CARACTERISTIQUES DES DEUX TYPES D'ADSORPTION

L'adsorption physique est caractérisée par une énergie d'adsorption très

faible (2 à 10 Kcal / mole) alors que pour l'adsorption chimique dépasse 10 Kcal / mole (3)

Le second critère , le plus utilisé expérimentalement et la vitesse d'adsorption . Elle est très rapide en physisorption et lente en chimisorption .

Un autre critère utile est basé sur la température d'adsorption :

L'adsorption physique ne peut avoir lieu qu'à des températures inférieures à la température d'ébullition de l'adsorbat . Alors que la chimisorption est possible même au delà de cette température .

Ces critères sont réunis dans le tableau suivant :

T A B L E A U 1

PROPRIÉTÉS	adsorption physique	adsorption chimique
température du processus	relativement basse	plus élevée
chaleur d'adsorption	5 Kcal/mole environ	plus de 10 kcal/mole
liaison entre fluide et solide	physique (VANDERWAALS)	chimique
spécificité	processus non spécifique	processus spécifique
cinétique	en principe très rapide pratiquement indépendante de la température	très lente au dessus de la température d'activation
désorption	facile	difficile

II-1-4- FACTEURS INFLUENCANT SUR L'ADSORPTION

La théorie de l'adsorption des liquides par les solides est beaucoup moins complète que celle de l'adsorption des gaz ou de vapeurs par les solides (9) . Ceci est dû à de nombreux facteurs qui rendent l'étude de tels phénomènes beaucoup plus difficiles à interpréter . On peut toute fois citer quelques données qui mettent en évidence l'influence de facteurs divers sur l'évolution de l'adsorption .

II-1-4-1- CONCENTRATION

Avec l'accroissement de la concentration , l'adsorption passe par un maximum puis décroît pour devenir négative dans le cas d'adsorption en phase liquide (9)

II-1-4-2- VITESSE D'ADSORPTION

Alors que l'adsorption physique des gaz ou vapeurs sur les adsorbants solides est extrêmement rapide, l'adsorption en phase liquide est beaucoup moins rapide. La viscosité de la solution doit être un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption. On diminue la viscosité par chauffage, on accroît la vitesse. (9) + (19)

II-1-4-3- INTENSITE D'ADSORPTION

Elle caractérise la force avec laquelle l'adsorbant est fixé sur l'adsorbant. Si un corps A présente vis à vis du charbon actif une intensité d'adsorption plus grande qu'un 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 (15)

II-1-4-4- NATURE DE L'ADSORBANT

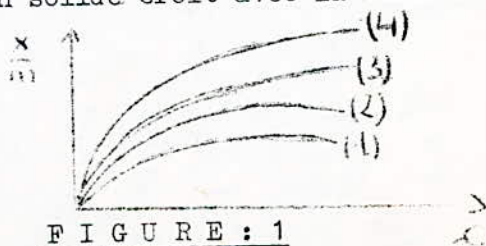
L'adsorbant travaillant en phase liquide a, en général des caractéristiques différentes de celles des adsorbants utilisés en phase gazeuse. La surface spécifique d'un adsorbant est sa caractéristique la plus importante (5) : C'est la surface offerte par les pores d'un gramme de solide. Les adsorbants travaillant en milieu liquide agissent tout d'abord par la surface externe. Leur surface interne doit être accessible par des pores ou des capillaires d'un diamètre plus élevé que celui nécessaire pour une adsorption de gaz. De plus les adsorbants ont une action spécifique par exemple le gel de silice est un adsorbant énergique de l'eau, par contre le charbon actif ne l'est pas.

II-1-4-5- NATURE DE L'ADSORBAT

L'affinité de l'adsorbant avec l'adsorbant joue un très grand rôle dans l'évolution de l'adsorption (21). En effet l'adsorbant possédant soit des groupements non polaires ou polaires, se fixe sur le solide selon son affinité pour ce dernier : Par exemple, pour le cas des acides carboxyliques, l'affinité croît avec la longueur de la chaîne ; Ceci est en accord avec la règle de Traube qui dit (3)

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

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



II-1-5- LES ADSORBANTS

II-1-5-1- GENERALITES

Les adsorbants industriels sont caractérisés par leur grande surface spécifique qui s'étend de moins d'un m^2 / g à plus de $1000 m^2 / g$ et par leur activité qui n'est autre chose que l'aptitude de fixer une quantité de substance par unité de masse ou de volume (20). Pour les bons adsorbants , cette surface pouvant aller de 600 à $1500 m^2 / g$ provient de la fragmentation intérieure et de la structure capillaire des corps . Elle est mesurée en général par la méthode de B.E.T. (17). Les adsorbants sont des solides poreux se présentant sous formes de granulés , de poudre ou de solides filés . Ils sont représentés par les charbons actifs , les gels de l'acide silicique et des oxydes métalliques . La nature , la structure , l'étendue de la surface est de la structure des pores déterminent le processus d'adsorption (15). Pour résoudre un problème où l'adsorption doit jouer un rôle important , le corps adsorbant le mieux approprié et le plus économique est le charbon actif. Il peut être préparé à partir des matières premières suivantes : Tourbe, houille , charbon bitumeux , bois , pâte à papier , résidus ligneux , os, déchets industriels et coque de noix de coco suivant deux modes d'activation : Activation chimique et activation par les gaz
Voir (II-4-3- Fabrication des charbons actifs)

II-1-5-2- CARACTERISATION DES ADSORBANTS

Un solide adsorbant est caractérisé par ses propriétés physicochimiques, mécaniques et géométriques . Nous étudions en particulier les propriétés géométriques . L'adsorption étant un phénomène de surface , il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique (15) .

La distribution de tailles des particules est aussi une caractéristique importante de l'adsorbant . En outre , pour un volume donné des particules , leur surface externe sera d'autant plus grande que ces grains auront une forme plus irrégulière . Ceci fait intervenir un facteur de forme . Un adsorbant est aussi caractérisé par une distribution de tailles de pores . Par conséquent , la caractérisation complète d'un adsorbant pourrait se définir comme la connaissance de ces quatres entités

- Surface spécifique
- Distribution de tailles de pores

- Distribution de tailles de grains

- Facteur de forme

Chacune de ces grandeurs donnent une information de nature différente du point de vue pratique (20) + (17)

La surface spécifique est une mesure de la capacité d'adsorption de l'adsorbant .

La distribution de tailles de particules détermine les facteurs technologiques tels que la perte de charge lors de l'écoulement du fluide à travers les adsorbants

Le facteur de forme est en rapport avec les propriétés mécaniques du solide , en particulier sa résistance à l'attrition .

La distribution de tailles de pores joue un rôle important dans la cinétique globale du processus d'adsorption car elle détermine la facilité d'accès aux sites internes d'adsorption . Cet accès se faisant par un mécanisme de diffusion

II-1-5-3- PRINCIPAUX TYPES D'ADSORBANTS

Ils sont représentés dans le tableau (2) ainsi que leur mode de préparation , leur usage , les diamètres moyens des pores et la surface spécifique (9)

II-1-6- APPLICATION DE L'ADSORPTION EN MILIEU LIQUIDE

Deux méthodes de travail peuvent être mises en oeuvre pour le traitement des liquides par un adsorbant solide : La percolation et le contact ou mélange suivi de filtration (9)

II-6-1- PERCOLATION

Dans ce procédé , le liquide à traiter s'écoule à travers un lit épais de l'adsorbant . Ce dernier est en général granulé et doit avoir une résistance mécanique suffisante et une granulométrie convenable afin d'éviter la formation de canaux . L'écoulement du liquide se fait généralement par pesanteur . On arrête l'adsorption lorsque l'effluent n'a plus la qualité requise , On procède alors à la régénération de l'adsorbant

II-6-2- CONTACT ET FILTRATION

Cette méthode permet d'augmenter la vitesse d'adsorption par l'emploi de grain plus fin . Dans ce cas , l'adsorbant à l'état pulvérulent est mélangé avec le liquide ou la solution à traiter porté à une

Tableau 2

ADSORBANTS

Matériau	Préparation	Exemples	Usages	∅ pores moyen Å	Surface spécifique $m^2 g^{-1}$
ALUMINES activée ou non	Déshydratation à 100°C d'alumine hydratée	AlCO a F ₁₅ F ₁₆ F ₂₆ Pechiney A C R C B T C B L Woelm Al ₂ O ₃ W ₂₆₀ , TLC	Séchage des gaz catalyse chromatog- raphie mobiles (peu d'attrition)	30-50	200-400
ALUMINOSILICA- TES	Déshydratation	Tamis moléculaires Davison 3A, 4A, 5A, 13X, 700 Linde 3A, 4A, 5A, 10X, 13X	Adsorption sélective par effet tamis	3, 4, 5, ou 710	600-800
SILICES terre de diatomée silica gel	Chauffage à 360° du gel formé par acidification d'une solution de silicate de Na	Chromosorb Silica gel Davison, Ceca- gel Sorbsil, Woelm	Chromatographie séchage de gaz séparation d'hydrocar- bures	20-40	05-4 300-900
CARBONES	Carbonisation à T 600° de bois, os, écorce de co- co + activation par la vapeur d'eau (oxydation sélective de certain com- posés) à partir de char- bon ou pétrole	Acticarbone, Picactif Cochranex	Traitement des eaux purification des gaz récupération de solvants décoloration	3 à 60 (très divers)	600-1000
ORGANIQUES SYNTHÉTIQUES Polystyrène réticulé	Réticulation du polystyrène avec du divinylbenzène	Amberlites XAD Chromosorb 101 Duolite 530		50-500	20-400
Résines phénoliques etc, etc....					

température , agitée et séparé après un temps de contact suffisant par filtration . Les adsorbants utilisés dans ce procédé sont rarement régénérés . Cette méthode est avantageuse lorsqu'on emploie pour le traitement des agents tels que les charbons actifs ou les terres activées , corps à pouvoir adsorbant élevé .

II-2- EQUILIBRE D'ADSORBANT

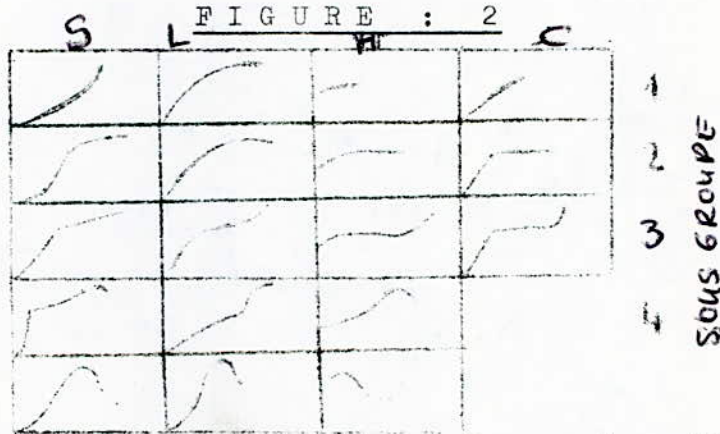
II-1-2- DEFINITION DE L'ISOTHERME D'ADSORPTION

L'isotherme d'adsorption est la courbe donnant , à température constante la quantité d'adsorbant adsorbé en fonction de la concentration de la solution au dessus de l'adsorbant à l'équilibre . L'équilibre est atteint quand la concentration de la solution reste constante quand le temps augmente indéfiniment (1)

II-2-2- CLASSIFICATION DES ISOTHERMES

En cas d'adsorption en phase gazeuse , les courbes d'isothermes sont classées en six types bien connus selon la classification élaborée par BET . Nous préférons donner la classification des isothermes dans le cas d'adsorption en phase liquide . (17)

GILES et ses collaborateurs (en 1960) ont classé ces isothermes en quatre groupes principaux



Les courbes du type S sont obtenues lorsque les molécules du soluté ne s'accrochent au solide que par l'intermédiaire d'un seul groupement , et l'adsorption du solvant est appréciable . L'effet " coopératif " explique le fait que l'adsorption devient progressivement facile lorsque la quantité adsorbée croit . Les courbes adsorbées facilitent l'adsorption des molécules suivantes à cause d'une attraction latérale ; Ce qui donne une couche adsorbée dans laquelle les molécules sont tassés verticalement . Un tel arrangement est favorisé lorsque le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites d'adsorption . Les courbes du type L (LANGMUIR) sont les plus fréquentes , ici l'adsorption devient plus difficile lorsque le degré de recouvrement

augmente . Ceci se rencontre dans le cas où l'adsorption du solvant est faible et lorsque les molécules ne sont pas orientées verticalement mais plutôt à plat . Les courbes du type H (haute affinité) existent lorsqu'il y a chimisorption de soluté . On les rencontre aussi dans certains cas d'échange d'ions , dans l'adsorption des macromolécules , et lorsque le soluté s'agglomère en micelles ioniques . L'isotherme du type C (constante) est caractérisée par un partage constant de soluté entre le solide et la solution . Ce type se rencontre dans le cas d'adsorption sur les fibres de textile , et sur d'autres substrats constitués de régions cristallines , séparées par des régions amorphes poreuses . Dans chaque groupe principale , on rencontre un palier correspondant à la formation d'une couche " monomoléculaire) . Une augmentation de l'adsorption au delà de ce palier peut indiquer une réorientation des molécules déjà adsorbées (pour former un film plus compact) , ou bien la formation de multicouches .

II-2-3- EQUATIONS DES ISOTHERMES

II-2-3-1-THEORIE DE LANGMUIR

La théorie de LANGMUIR est le plus souvent appliquée ;. (3)

Cette théorie est basée sur trois hypothèses pour interpréter la fixation par adsorption physique ou chimique monomoléculaire . Elle est appliquée aux adsorptions dont les isothermes ont une allure particulière . C'est pourquoi , on fait appel à d'autres théories pour interpréter l'adsorption

II-2-3-1-1- ISOTHERME DE LANGMUIR - COUCHE MONOMOLECULAIRE

LANGMUIR a proposé l'équation suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{a \cdot p}{1 + b \cdot p} \quad \text{ou} \quad m = \frac{m_0 \cdot b \cdot p}{1 + b \cdot p}$$

où a et b sont des constantes expérimentales dépendant de la nature du fluide et du solide , et de la température .

II-2-3-1-2- HYPOTHESES

L'équation repose sur les hypothèses suivantes :

- On admet que seule une couche monomoléculaire se forme sur le solide
- 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 thermodynamiquement identiques, il n'y a pas d'interaction entre les particules adsorbées .

II-2-3-1-3- FORMULATION DE L'ISOTHERME DE LANGMUIR SELON LE DOMAINE DE PRESSION

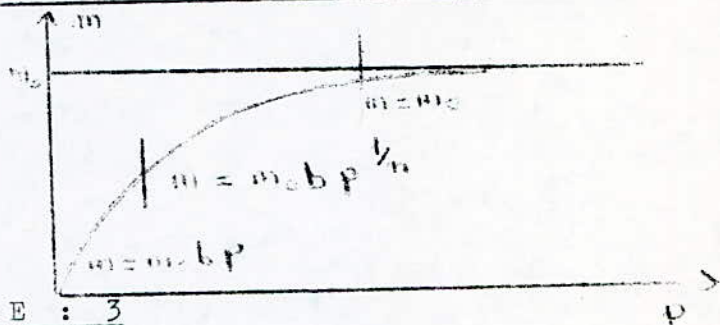


FIGURE : 3

- Aux basses pressions , l'équation de LANGMUIR se réduit à $m = m_0 b p$ une relation qui rappelle la loi de HENRY .
 - Aux hautes pressions ou pour un gaz fortement adsorbée ($1 \ll b p$) , la surface sera complètement saturée et l'équation devient $m = m_0$
 - Dans le domaine intermédiaire , l'isotherme est traduite par la formule générale $m = m_0 b p^{1/n}$
- Dans le cas d'adsorption en phase liquide , la pression est remplacée par la concentration .

II-2-3-2- EQUATION DE FREUNDLICH (3)

Les isothermes du type LANGMUIR peuvent être représentées par la formule empirique suivante : $\frac{x}{m} = k p^n$ où x est la quantité de gaz (en mg ou ml à TPM) adsorbée sur m grammes de solide , p la pression à l'équilibre , et k et n des constantes expérimentales positives , fonction de la température et la nature de l'adsorbé . Cette relation a été proposée par BOEDCKER (1859) et par KUSTER (1894) . En 1909 , FREUNDLICH fut le premier à l'étudier et l'appliquer . Pour des solutions diluées l'adsorption d'un constituant donné suit la même relation $\frac{x}{m} = k c^n$ n est peu différent de 0,5 et l'adsorption est d'autant plus forte que n est petit .

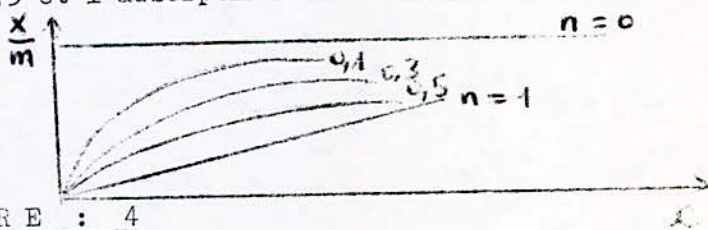


FIGURE : 4

II-2-3-3- EQUATION DE BET (BRUNAUER , EMMETT ET TELLER

Cette équation est relative à une adsorption par couche multiple de différentes épaisseurs (monocouche , bicouche , ect...) .

la polycouche sera d'autant plus épaisse que l'affinité adsorbant - adsorbé est plus importante. En 1938, BRUNAUER, EMMETT et TELLER développèrent la théorie de LANGMUIR pour permettre son application dans le cas d'adsorption polymoléculaire. Une des hypothèses supplémentaire fût la possibilité de coexistence de couche superposées de différentes épaisseurs.

Cette équation est de la forme
$$V = \frac{V_m \cdot C (P/P_0)}{1 + C (P/P_0)}$$
 où p est la pression d'équilibre, c est une constante

V : est le volume (à TPN) de gaz adsorbé à la pression p sur le solide donné.

V_m : Volume nécessaire pour couvrir toute la surface d'une couche monomoléculaire.

Cette équation s'écrit aussi

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

BET admettent que :

- 1°) Chaque couche adsorbée obéit à l'équation de LANGMUIR
- 2°) La chaleur différentielle d'adsorption à partir de la deuxième couche est égale à la chaleur de condensation de la vapeur.
- 3°) La chaleur différentielle d'adsorption de la première couche est différente de celle des couches suivantes.

On peut écrire l'isotherme de BET sous la forme

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

En portant $P/V(P_0 - P)$ en fonction de p/p_0 , on peut déterminer V_m et c . Pour le cas le plus général où l'adsorption est limité à n couches,

l'équation de BET est plus compliquée, elle s'écrit :

$$\frac{V}{V_m} = \frac{C (P/P_0)}{1 - (n-1)(P/P_0)^n + n (P/P_0)^{n+1}}$$

A part ces équations décrites précédemment, il existe deux autres équations qui sont :

- Equation du potentiel de POLANYI : $E_x = RT \ln P_0/P_x$

Où P_x : pression d'équilibre d'adsorption d'une masse X de gaz

- Equation de DUBININ-RADUSKEVITCH-KAGANER (D.R.K.)

ils ont proposés l'équation suivante : $\log \theta = -D [4 \log (P/P_0)]^2$

où θ est la surface couverte

II-2-4- CONCLUSION

Toutes ces équations citées trouvent leur application dans divers domaines . Les théories de FEUNDLICH et LANGMUIR sont utilisées pour la mesure des couches monomoléculaires mais les théories de B.E.T, POLYANYI et D.R.K. sont applicables en couches polymoléculaires . Ces équations sont applicables aussi bien en phase gazeuse qu'en phase liquide .

II-2-5- EXEMPLE D'ISOTHERME D'EQUILIBRE (17)

(tiré du projet de fin d'étude : cinétique d'adsorption de solution par un charbon actif étudié par THEODORET)

Nous donnons les isothermes d'équilibre faites avec trois charbons différents : Figure 4

- Charbon polonais type A à T = 25° C ; T = 30° C et T = 35° C
- Charbon anglais cylindrique A T = 25 - 30 - 35° C
- Charbon anglais en grain à T = 25 - 30 - 35° C

Nous donnons aussi les transformées de l'isotherme de LANGMUIR pour différents charbons représentées par les figures 7 et 8 . Les équations trouvées sont :

- | | | |
|-------------------------------|---|------------------|
| - Charbon polonais type A | $\frac{x}{m} = \frac{0,575C}{1 + 2,412C}$ | Mo = 0,238 g / g |
| - Charbon anglais cylindrique | $\frac{x}{m} = \frac{0,112C}{1 + 0,563C}$ | Mo = 0,209 g / g |
| - Charbon anglais en grain | $\frac{x}{m} = \frac{0,206C}{1 + 0,872C}$ | Mo = 0,235 g / g |

Figure: 7

Transformées de l'isotherme de LANGMUIR
Pour charbon polonais Type A

-Température 25°C *

30°C *

35°C *

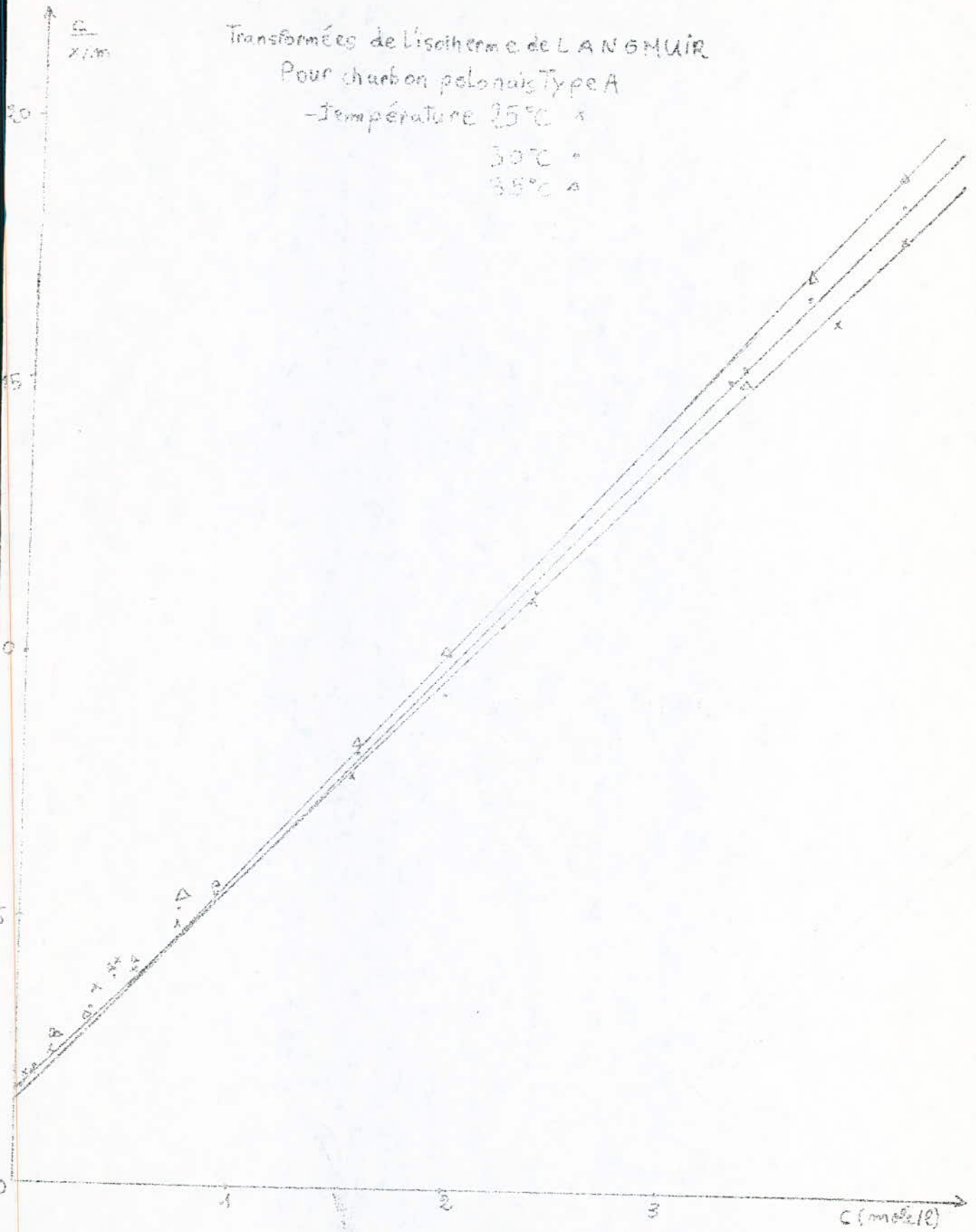
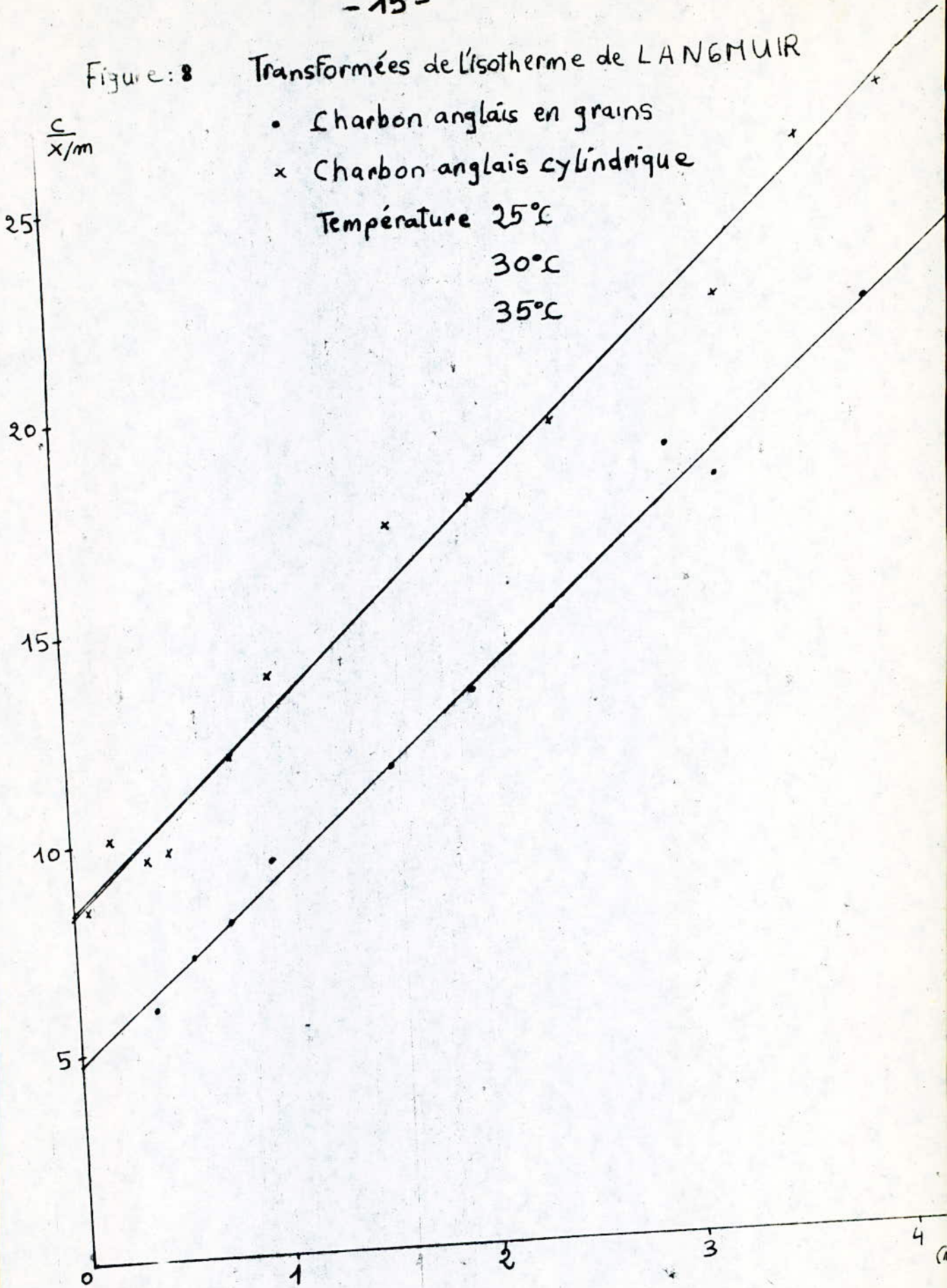


Figure 8 Transformées de l'isotherme de LANGMUIR

- Charbon anglais en grains
- x Charbon anglais cylindrique

Température 25°C
30°C
35°C



II-3- ETUDE CINÉTIQUE

II-3-1- GENERALITES

On restreint parfois l'étude cinétique d'une réaction à l'établissement des réactions existant entre la composition du système réactionnel et le temps ou entre les différentes concentrations (5). Ceci ne constitue en fait qu'un aspect partiel du problème . L'étude cinétique d'une réaction comprend la détermination de tous ses caractères cinétique que l'on peut définir :

- Le mode d'activation
- La localisation
- La nature des formes actives intermédiaires
- La cinétique formelle
- Le schéma réactionnel
- Le mécanisme .

La cinétique d'adsorption s'occupe de la dépendance entre la vitesse de processus et la structure des adsorbants , le type de solide , et les conditions opératoires (2)

II-3-2- MECANISME DE L'ADSORPTION OU DE LA CATALYSE HETEROGENE

Le mécanisme comprend cinq étapes (17)

- a) Diffusion des réactifs vers la surface du catalyseur puis ,
- b) Adsorption chimique de ceux-ci ou l'un d'entre eux sur la surface , phénomène constituant leur activation ,
- c) La réaction chimique se produit entre espèces activées à la surface même du catalyseur ou bien entre molécule adsorbée et molécule de la phase fluide
- d) Il y aurait ensuite désorption des produits formés par cette réaction et enfin ,
- e) Diffusion des produits loin de la surface .

BALANDIN a ajouté une sixième étape venant juste après la première et qui est : (12)

- L'orientation des molécules diffusant vers la surface du catalyseur
- Ces processus sont de deux sortes : D'une part , des transferts de matières au sein même de la phase homogène , les étapes (a) et (e) , et d'autre part des phénomènes de surface : (b) , (c) et (d) . Parmi ces étapes , seule l'étape la plus lente pourra imposer sa vitesse au phénomène total .

II-3-3- LOI CINETIQUE D'ADSORPTION

Le phénomène d'adsorption est classé parmi les réactions équilibrées du moment qu'il y a un équilibre entre les processus d'adsorption et de désorption (4)

L'équation cinétique s'établit à partir des hypothèses suivantes :

- La vitesse d'adsorption est proportionnelle à la concentration C et à la fraction libre (1 - θ) (θ étant la fraction des sites d'adsorption occupés)
- La vitesse de désorption est proportionnelle à θ .

Pour cela nous avons

$$v = kC(1-\theta) - k'\theta$$

En appelant C_m la concentration d'adsorbat pour couvrir totalement les sites d'adsorption .

\bar{C} : La concentration adsorbée à l'instant t , nous avons par conséquent : $v = kC(C_m - \bar{C}) - k'\bar{C}$

$$\theta = \frac{\bar{C}}{C_m}$$

Avec $k = \frac{K}{C_m}$ et $k' = \frac{K'}{C_m}$

Comme la vitesse spécifique est donnée par $v = -\frac{1}{m} \frac{dN}{dt}$

Nous pouvons alors écrire

$$-\frac{v}{m} \frac{dC}{dt} = kC(C_m - \bar{C}) - k'\bar{C}$$

En appelant C_0 la concentration initiale de la solution on a :

$$C = C_0 - C$$

$$\text{D'où } -\frac{v}{m} \frac{dC}{dt} = kC(C_m - C_0 + C) - k'(C_0 - C)$$

à l'équilibre $v = 0$ et $C = C_e$, ceci permet de calculer

$$k' = \frac{k C_e (C_m - C_0 + C_e)}{C_0 - C_e}$$

$$\text{La vitesse devient } -\frac{v}{m} \frac{dC}{dt} = k(C - C_e)(k + a)$$

$$\text{avec } a = \frac{C_0(C_m - C_0 + C_e)}{C_0 - C_e}$$

En intégrant cette équation , on obtient :

$$\log \frac{C - C_e}{C_0 + a} = - (C_e + a) \frac{k}{v} m t + \log \frac{C_0 - C_e}{C_0 + a}$$

II-3-4- DEUXIEME LOI D'ADSORPTION (17)

Cette loi a été énoncée par WEBER et s'écrit : $(C_0 - C) = Aq\sqrt{C_0}\sqrt{t}$

où C_0 : Concentration de soluté à l'instant initial

C : Concentration de soluté à l'instant t

A : Paramètre caractéristique de l'adsorbant

q : Quantité d'adsorbant mise en jeu .

II-3-5- PROCESSUS DE TRANSFERT DE MATIERE : LA DIFFUSION

II-3-5-1- APERÇU SUR LA DIFFUSION

Le processus d'adsorption se compose de trois étapes distinctes :

- Le transfert des molécules adsorbées vers la surface extérieure du grain (la diffusion extérieure)
- Le transfert d'adsorbat vers l'intérieur des granules c'est à dire la diffusion intérieure (2)
- La condensation des molécules d'adsorbat à la surface intérieure d'adsorbant , c'est à dire l'adsorption .

En analysant la vitesse totale du processus , on peut négliger la troisième phase car le temps d'adsorption n'est pas plus grand que 10^{-4} - 10^{-3} s . Donc pendant l'analyse de la cinétique du processus d'adsorption , il ne faut prendre en considération que la diffusion intérieure . On peut exprimer la vitesse de diffusion extérieure par le coefficient volumique de transfert de matière Bv (en Cm / s) et la vitesse de diffusion intérieure par le coefficient effectif de diffusion D_e (en Cm^2 / s)

Le processus d'adsorption qui est lié avec la diffusion d'adsorbat à l'intérieur des grains d'adsorbant est compliqué . Il dépend du type d'adsorbant , de la porosité de l'adsorbant , de la nature du corps adsorbé et des conditions opératoires comme la température , la pression et la concentration . La diffusion dans le solide a un caractère double on peut distinguer notamment : La diffusion dans les pores d'adsorbant en phase gazeuse et la diffusion superficielle .

II-3-5-2- DIFFUSION DANS LE SOLIDE

II-3-5-2-1- DIFFUSION DANS LES PORES D'ADSORBANT EN PHASE GAZEUSE

II-3-5-2-1-a- TYPE DE DIFFUSION

Dans ce cas il y a les deux possibilités suivantes :

- La diffusion normale qui est liée avec l'écoulement en régime laminaire .
- La diffusion du type de KNUDSEN qui est liée avec l'écoulement en régime moléculaire (8)

La différence entre ces deux type de diffusion dépend du rapport entre le rayon moyen de pores (r) et le libre parcours moyen (L.P.M.) des molécules (λ)

II-3-5-2-1-b- DIFFUSION DE KNUDSEN (8)

Quand $r \ll \lambda$ on a une diffusion type de KNUDSEN . Souvent cette

diffusion moléculaire existe en phase gazeuse sous la pression atmosphérique dans les adsorbants dont les pores ont un rayon moyen de $2 \cdot 10^{-8}$ m ou inférieur. Dans ces conditions $r_0 > 10^{-7}$ m

II-3-5-2-1-c- DIFFUSION NORMALE

Lorsque $r \gg r_0$, on a la diffusion normale, dans ce cas les deux lois de FICK sont valables pour faire les calculs de la vitesse de diffusion. La première loi de FICK se rapporte à la situation où la distribution de corps diffusant le long du capillaire ne varie pas pendant un processus :

$$U = - D_g \text{ grad } C$$

Où U vitesse du transfert de molécules par unité de section et par unité de temps (g / Cm² s)

D_g : coefficient cinétique de diffusion en phase gazeuse en Cm² / s

C : Concentration de corps qui diffuse (g / Cm³)

La deuxième loi concerne la diffusion transitoire c'est à dire quand le gradient de concentration change pendant le processus

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div} (D_g \text{ grad } C) \text{ où } t \text{ exprime le temps}$$

II-3-5-3- DIFFUSION SUPERFICIELLE (2)

Ce phénomène est lié avec le transfert de matière dans une couche adsorbée à la surface d'adsorbant. Le coefficient de diffusion se calcule par la formule suivante : $D_s = \frac{1}{2} \bar{w}_s \lambda_s e^{-E/RT}$

Où D_s : Le coefficient de diffusion superficielle

\bar{w}_s : La vitesse moyenne de diffusion superficielle

λ_s : Le (L.P.M.) en phase superficielle

E : l'énergie d'activation de diffusion superficielle

R : Constante universelle des gaz parfaits

T : Température

II-3-5-3- DIFFUSION INTERIEURE

Le transfert total de molécule dans les grain d'adsorbant est le résultat de la diffusion en phase gazeuse dans les pores (D_g) et de la diffusion superficielle (D_s) à la surface des pores. Le transfert total est défini par le coefficient effectif (D_e) qui est une fonction de (D_g) et (D_s) (16)

Pour calculer D_e , on a plusieurs équations dont on donne les suivantes :

$$D_e = D_s + \epsilon \frac{D_g}{H}$$

$$De = \frac{Dg}{\xi} \left(1 + H \frac{Ds}{Dg} \right)$$

Où De : coefficient effectif de diffusion

Dg : Coefficient de diffusion en phase gazeuse

Ds : Coefficient de diffusion superficielle

ξ : Porosité des granulés

H : Gradient de l'isotherme

Mais ces méthodes ne sont pas applicables en phase liquide et pour la détermination du coefficient effectif (De), nous utiliserons les méthodes suivantes :

II-3-6- DETERMINATION DU COEFFICIENT EFFECTIF (De)

II-3-6-1- METHODE DE TIMOFEEV

TIMOFEEV a proposé les formules suivantes dans le cas des grains cylindriques et sphériques (10)

II-3-6-1-a- CAS D'UN GRAIN SPHERIQUE

$$De = 0,308 \frac{R^2}{t_{0,5}}$$

Où R : est le rayon de la sphère

$t_{0,5}$: Temps nécessaire à la saturation de l'adsorbant jusqu'à la moitié de sa capacité .

II-3-6-1-b- CAS D'UN GRAIN CYLINDRIQUE

$$De = \frac{KR^2}{\pi t_{0,5}}$$

Le coefficient K est fonction de la longueur du cylindre, L , est son rayon, il dépend du rapport L/R de la façon suivante :

T A B L E A U (3)

L/R	1	2	4	∞
K	0,126	0,312	0,450	0,593

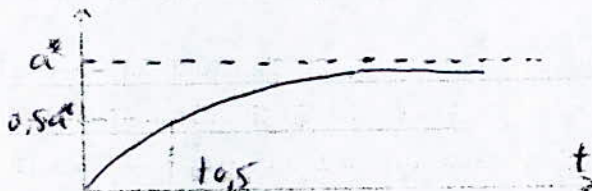


FIGURE : 5

II-3-6-2- METHODE DE CRANK (11)

Cette méthode est appliquée pour les grains cylindriques, dont ce cas la deuxième loi de FICK est sous la forme

$$\frac{\partial Cs}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{\partial}{\partial n} \left(De \frac{\partial Cs}{\partial n} \right) \right]$$

Où C_s : Concentration d'adsorbat

r : Distance radiale du centre de la sphère

t : Temps

Si on admet que le coefficient effectif (D_e) est constant et indépendant de la concentration on peut obtenir

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} = D_e \left(\frac{\partial^2 C_s}{\partial r^2} + \frac{\partial C_s}{\partial r} \frac{1}{r} \right)$$

La résolution de cette équation est donnée sous la forme de deux paramètres adimensionnels qui sont :

$$\frac{D_e t}{R^2} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{M_t}{M_\infty}$$

Où R : Rayon du grain sphérique

M_t : Masse adsorbée jusqu'au temps t .

M_∞ : Masse adsorbée à l'équilibre c'est à dire pour

La résolution se fait graphiquement

$$E = 1 - \gamma = f\left(\frac{D_e t}{R^2}\right) \quad \text{linée de TREYBAL}$$

Connaissant les valeurs de $\frac{D_e t}{R^2}$, on trace la courbe

et la pente est donnée par $\frac{D_e}{R^2}$ d'où la connaissance de D_e

$$\frac{D_e t}{R^2} = f(t)$$

II-3-6-3- METHODE DE KORTA (1)

Cette méthode concerne les grains sphériques et cylindriques. Elle est à la base de l'équation suivante : $D_e = \frac{K \gamma R^2}{n^2 t}$

Où D_e : Coefficient effectif de diffusion

R : Rayon de la sphère ou du cylindre

La valeur du coefficient $K \gamma$ dépend de γ dans le cas d'une sphère.

Elle dépend à la fois de γ et du rapport L/R dans le cas du cylindre

L : Désigne la longueur de celui-ci.

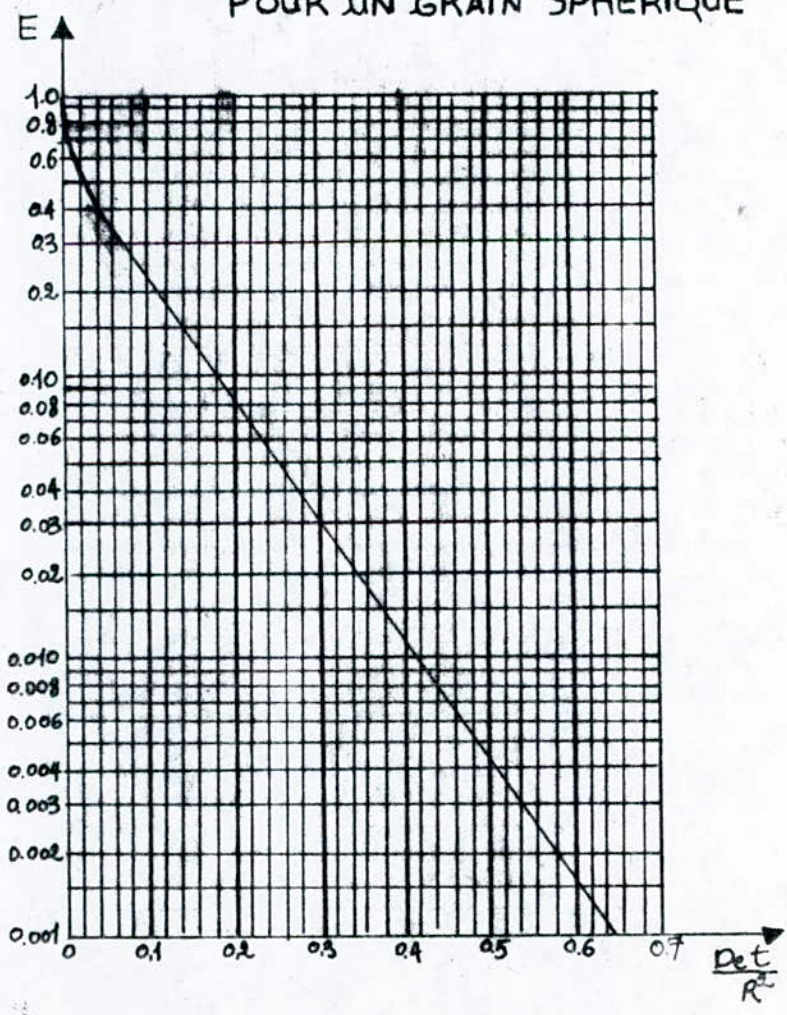
Les valeurs de $K \gamma$ sont données par le tableau 4

TABEAU:3 VALEURS DE K_{γ} DANS LE CAS D'UNE SPHERE ET D'UN CYLINDRE

δ	K_{γ}		
	SPHERE	CYLINDRE	
		L/R=2	L/R=4
0.10	0.00909	0.0091	0.0128
0.20	0.0386	0.03913	0.0569
0.30	0.0928	0.0955	0.1365
0.40	0.1775	0.1854	0.2615
0.50	0.3015	0.3195	0.4450
0.60	0.4788	0.5161	0.7038
0.70	0.7340	0.8050	1.0920
0.80	1.1205	1.2533	1.6718
0.85	1.4031	1.5870	2.0966
0.90	1.8060	2.0660	2.7040
0.95	2.4980	2.8920	3.7540
0.97	3.0089	3.5024	4.5330
0.99	4.1074	4.8167	6.2176

FIGURE:6 VARIATION DE "E" EN FONCTION DE $\frac{De}{R^2}$ POUR UN GRAIN SPHERIQUE

$\frac{De}{R^2}$



II-4- LE CHARBON ACTIF

II-4-1 DEFINITION

Par les charbons actifs , on désigne des charbons ayant subi un traitement d'activation qui leur confère une grande porosité fine , dont un pouvoir adsorbant (15)

II-4-2- PARTICULARITE DES CHARBONS ACTIFS

Les charbons actifs présentent la particularité 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 (9)

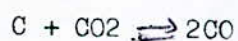
De ce fait si un charbon actif a une certaine humidité , son action ne sera guère gênée , les corps adsorbables déplaçant l'eau (15)

II-4-3- 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 , selon deux types de procédés d'activation (15)

II-4-3-1- ACTIVATION PAR LES GAZ

L'activation en phase gazeuse est celle où le produit carbonisé est partiellement gazéfié en atmosphère oxydante (CO_2 , O_2 , Cl_2 , H_2S et H_2O) . Cette étape se fait généralement à $900^\circ C$ où le charbon brûle conformément à la réaction suivante : (15)



En général , on utilise l'action de la vapeur d'eau à température élevée sur du charbon suivant la réaction : $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$. La structure obtenue est très poreuse .

II-4-3-2- ACTIVATION CHIMIQUE

L'activation chimique est parfois recommandée pour obtenir une structure homogène de l'adsorbant qui est généralement utilisé dans les études cinétiques de l'adsorption . Au cours de cette activation , la matière première est chauffée vers $800^\circ C$ sans carbonisation préalable et en présence d'un agent oxydant ou déshydratant . On utilise surtout le Chlorure de zinc , de calcium , l'acide sulfurique , l'acide phosphorique et le sulfate de potassium (20)

II-4-4- TECHNIQUE D'UTILISATION

Selon le mode d'utilisation auquel ils sont destinés , les charbons actifs sont présentés sous des formes différentes (15)

- 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 . L'adsorption par les charbons actifs peut s'effectuer soit en phase liquide sur poudre ou sur granulés , soit en phase gazeuse sur granulé .

II-4-4-1- TRAITEMENT EN PHASE LIQUIDE PAR CHARBON ACTIF EN POUDRE

Le charbon actif en poudre est incorporé au liquide et laissé en contact normalement de 15 à 30 mn sous bonne agitation. Exceptionnellement , certains cas particuliers nécessitent des temps de contact pouvant atteindre une heure . Le charbon doit être éliminé par filtration .

II-4-4-2- TRAITEMENT EN PHASE LIQUIDE SUR CHARBON ACTIF GRANULE

Alors que le traitement par charbon actif en poudre entraîne la perte de ce dernier , l'emploi de la percolation sur charbon actif granulé permet de récupérer celui-ci lorsqu'il est saturé et de le régénérer. Le passage s'effectuant normalement de haut en bas , entraîne un certain tassement du charbon actif et il peut être nécessaire de procéder périodiquement à un détassage à contre-courant pendant quelques minutes. Lorsque le charbon actif est épuisé , il peut être récupéré et régénéré , en tenant compte des impuretés qu'il contient .

II-4-4-3- TRAITEMENT EN PHASE GAZEUSE SUR CHARBON ACTIF GRANULE

Le procédé s'apparente à celui précédemment décrit en phase liquide . Du fait de la différence de nature de fluide , les conditions d'utilisation sont différentes .

- Vitesse spatial : 300 à 1500 V/V/h

- Vitesse de passage : 500 à 2500 cm :/ mn

Ce procédé trouve en particulier son application dans la récupération des solvants : L'air passant sur le charbon actif abandonne les vapeurs (benzène , acétone , ect...)

II-4-5- REGENERATION-DU CHARBON ACTIF

Lorsque l'adsorbant a fixé une quantité d'adsorbat telle que l'on atteind le point de rupture , il faut effectuer sa régénéretion en procédant a sa désorption avec apport de vapeur . D'autres méthodes de régénération , lavage sodique par exemple peuvent êtres envisagées en fonction du contaminant retenu .

II-4-6- APPLICATION DU CHARBON ACTIF

Les domaines de l'application sont variés , en peut citer les exemples suivants : épuration de l'eau , épuration des effluents industriels , récupération de solvants , décoloration de sirop ect...

II-4-6-1- PURIFICATION DE L'EAU (13')

Avant leur reget dans less cours d'eau , les eaux résiduairees qui doivent êtres suffisamment épurées subissent un traitement primaire de coagulation-floculation , un traitement secondaire d'épuration et traitement tertiaire sur charbon actif . L'action adsorbante du charbon actif porte notamment sur les contaminants organiques : phénols, détergents , pesticides et sur l'excès de chlore utilisé pour la stérilisation.

Le procédé est souvent réalisé dans les adsorbours avec des couches fixes , mais normalement dans des adsorbours contenant du charbon actif pulvérisé . On utilise 5 à 10 g de charbon pour un litre d'eau et le temps de contact est environ de 10 à 15 mn . Après le processus d'adsorption , on obtient un mélange de charbon et de l'eau purifiée qu'il faut séparer . Pour cela , il faut utiliser diverses méthodes comme la sédimentation puis la filtration , la flotation ou la centrifugation .

II-4-6-2- PURIFICATION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS

Les industries fabriquent beaucoup de produits utiles mais elles produisent aussi beaucoup d'effluents qui contiennent des contaminations de divers types , ces contaminations sont souvent dangeureuses , toxiques et incommodes à l'environnement . L'adsorption sur un charbon actif permet l'élimination de ces contaminations qui sont de deux types différents

II-4-6-2-1- CAS DE CONTAMINATION COMPOSEES DE PRODUITS CHERS

Dans ce cas , il faut récupérer et recycler ces produits . comme exemple de produits nous pouvant citer : le phénol , le nitrobenzène , l'hydroquinone .

II-4-6-2-2- CAS DE CONTAMINATIONS COMPOSEES DE PRODUITS NON IMPORTANTS

Il est inutile de récupérer ces produits et suite à l'adsorption des contaminations , il suffit de régénérer l'adsorbant .

II-5- NOTIONS GENERALES SUR L'AGITATION

II-5-1- BUT DE L'AGITATION (9)

Elle sert à créer dans un fluide un état de mouvement qui peut avoir pour but non seulement le mélange , mais aussi l'amélioration d'échange thermique ou de réaction chimique. En effet on se base sur l'agitation pour obtenir un résultat donné , le plus vite possible et avec la dépense d'énergie la plus faible possible. En particulier l'agitation désordonnée locale a pour but d'améliorer la cinétique de la réaction .

II-5-2- MODE D'AGITATION

Les mouvements d'agitation se ramènent à deux :

- Mouvements de circulation en circuit ouvert (réaction continue) ou fermé (réaction discontinue)
- Mouvements d'agitation qui peuvent même être très localisés si la circulation fait passer toute la masse dans la zone d'agitation . En fait circulation et agitation proprement dites sont toujours complémentaires et sont toujours réalisées ensemble .

II-5-3- TYPE D'AGITATION

On a une agitation douce , moyenne ou violente . C'est l'expérience qui a conduit à qualifier une agitation de douce , moyenne , violente Pour donner une idée plus précise de ce qu'il faut entendre par là , disons que pour un liquide de propriétés voisines de celles de l'eau, une vitesse périphérique de 1,8 m/s correspond à une agitation douce, et qu'une vitesse périphérique de 2,7 m/s correspond à une agitation violente . (La vitesse périphérique dépend du rapport du diamètre de l'agitateur et de la cuve)

II-5-4- TYPE D'AGITATEURS

Il existe deux classes d'agitateur

II-5-4-1- AGITATEURS CLASSIQUES

On distingue : agitateur feuille , agitateur à pales , agitateur à hélice , agitateur turbine

II-5-2- AGITATEURS MOINS CLASSIQUES

On a : agitateur à vis , agitateur à disque , agitateur par pompe centrifuge ect...

Du fait qu'on a travaillé avec des agitateurs classiques donc on les étudie plus en détail .

II-5-4-1-AGITATEURS CLASSIQUES

Les agitateurs rotatifs sont de loin les plus nombreux et les plus employés . Les principaux sont la pale plane avec toutes ses formes

diverses (ancre , doigts ect...) , la pale inclinée , l'hélice , la turbine .

II-5-4-1-1- AGITATEUR ROTATIF RAPIDE

II-5-4-1-1-a6 TYPE :

On utilise deux types principaux qui sont :

- L'hélice : qui produit une circulation parallèle à l'axe de rotation
- La turbine : qui aspire le fluide près de l'axe pour le protéger dans un plan perpendiculaire à l'axe .

II-5-4-1-1-b- EFFET D'AGITATION

Dans les deux cas , le mouvement de circulation est très divisé . L'agitation est toujours forte à cause de la grande vitesse de rotation de l'appareil . On étudie en particulier l'hélice .

II-5-4-1-1-c- L'HELICE

C'est un organe d'agitation qui fournit un courant à prédominance axiale . Elle est en principe formée à partir d'une surface hélicoïdale, c'est à dire d'une surface engendrée par une droite passant constamment par l'axe d'un cylindre et s'appuyant sur une hélice géométrique tracée sur ce cylindre . En fait l'hélice est constituée par un certain nombre de fractions de surfaces hélicoïdales au nombre de 2 . 3 ou 4 constituant les ailes et sont placées de manière symétrique autour du moyeu .

II-5-4-1-1-d- UTILISATION

On pratique , on n'utilisera l'hélice que pour des liquides de viscosité inférieure à 20 ou 30 poises . Aussi on utilise si on veut une forte turbulence et une grande homogénéité dans la masse en réaction . Dans le cas d'un réacteur cylindrique vertical , l'effet d'agitation est maximal si :

- L'axe de l'hélice est incliné de 45° environ sur l'axe du réacteur
 - Le centre de l'hélice est près du fond à 1/5 de la hauteur du liquide
 - L'hélice est environ à la moitié de la distance de l'axe à la paroi.
- Dans le cas de liquides visqueux , on est obligé de réduire la vitesse de rotation à cause du phénomène de cavitation . Dans ce cas l'hélice n'entraîne plus qu'une petite masse de liquide

II-5-4-1-2- AGITATEURS ROTATIFS LENTS

Ce sont des appareils dont la largeur est au moins égale à la moitié du diamètre de la cuve .

II-5-4-1-2-a- EFFET D'AGITATION

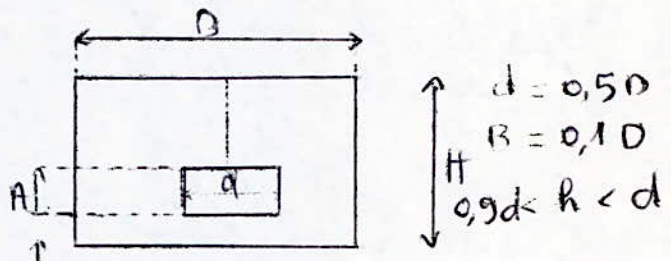
Si le produit n'est pas très visqueux , toute la masse arrive à être

entraînée par l'agitateur à une vitesse uniforme , même là où l'agitation passe près des parois , on a alors un effet de circulation pur . Comme agitateur rotatif lent , on cite l'agitateur feuille .

II-5-4-1-2-b- AGITATEUR FEUILLE

C'est un type d'agitateur peu coûteux et d'exécution facile . il travaille dans les meilleures conditions possibles si ses différentes dimensions sont voisines de celles indiquées sur la figure A (dimensions proposées par BUCHE) on ne l'utilisera pas avec une vitesse périphérique supérieure à 3,5 m/s

F I G U R E A



H : Hauteur du liquide doit être voisine de D

II-5-4-1-2-c- UTILISATION

Cet agitateur est conseillé pour les dissolutions , les échanges de chaleur en présence de serpentins et déconseillé dans le cas de produit de forte viscosité car il absorbe alors beaucoup de puissance .

II-5-5- VARIABLES INTERVENANT LORS D'UNE AGITATION

Un problème d'agitation fait intervenir un certain nombre de variables dont :

- trois caractéristiques des corps à agiter : la masse volumique , la viscosité et la tension superficielle .
- trois caractéristiques cinématiques et dynamiques : La vitesse de l'agitateur , l'accélération de la pesanteur et la puissance absorbée pour vaincre les forces de résistance .
- dix caractéristiques aussi bien de l'agitateur lui même que de l'appareil dans lequel il fonctionne . Un phénomène d'agitation sera donc représenté par un certain nombre d'invariants de similitude dont on cite .

- LE NOMBRE DE RAYNOLDS : Re

Représentant l'action des forces de viscosité ;

$$Re = \frac{\rho N d^2}{\eta}$$

où ρ : Masse volumique du fluide (kg / m³)

d : Diamètre d'agitateur (m)

N : Vitesse de rotation (tr / s)

η : Viscosité absolue (dapo)

Ce nombre de RAYNOLDS est intéressant du fait qu'il nous indique dans quel régime on est :

Pour $Re < 10$ on est en régime laminaire

$Re > 10^5$ on est en régime turbulent .

Cette limitation de domaine nous permet à son tour la détermination de la puissance nécessaire à l'entraînement de l'agitateur . Celle-ci est nécessaire à connaître Tout comme le choix du type d'agitateur. (8)

a- EN REGIME LAMINAIRE :

$P = K \eta N^2 d^3$: Puissance consommée ne dépend pas de la masse volumique du produit agité

b- EN REGIME TURBULENT :

$P = K \rho N^3 d^5$: Puissance absorbée ne dépend pas de la viscosité .

Physiquement , le régime turbulent se traduit par des mouvements dans plusieurs directions et par une bonne agitation .

PARTIE EXPÉRIMENTALE

-0- TABLE DES FIGURES (PARTIE EXPERIMENTALE) -0-

- 1) Appareillage
- 2) Transformé de LANGMUIR pour le charbon algérien
- 3) Transformé de FREUNDLICH pour le charbon algérien
- 4) Isotherme d'équilibre des différents charbons
- 5) Courbe cinétique des différents charbons
- 6) Courbe $\frac{De t}{R^4} = f(t)$ pour les différents charbons
- 7) Courbe $\log \frac{C - Ce}{C + a} = f(t)$
- 8) Courbe $C = f(\sqrt{t})$
- 9) Courbe cinétique du charbon polonais pour différentes vitesses
- 10) Courbe $\frac{De t}{R^4} = f(t)$ " " "
- 11) Courbe $\log \frac{C - Ce}{C + a} = f(t)$ " " "
- 12) Courbe $C = f(\sqrt{t})$ " " "
- 13) Courbe cinétique du charbon polonais pour différent diamètre
- 14) Courbe $\frac{De t}{R^2} = f(t)$ " " "
- 15) Courbe $\log \frac{C - Ce}{C + a} = f(t)$ " " "
- 16) Courbe cinétique du charbon polonais pour les deux agitateurs
- 17) Courbe $\frac{De t}{R^2} = f(t)$ " " "
- 18) Courbe $\log \frac{C - Ce}{C + a} = f(t)$ " " "
- 19) Courbe $C = f(\sqrt{t})$ " " "
- 20) Les deux types d'agitateurs

III-1- PRODUITS UTILISES

III-1-1- ACIDE ACETIQUE EDM

Masse molaire	:	60,05 g
Densité à 20° C	:	1,05 g / Cm ³
Pureté	:	Supérieur à 99,5%
Impureté	:	Composés non volatiles 0,01%
		Cl : 0,0005%
		So4 : 0,0005%
		As : 0,0002%
		Fe : 0,0002%
		Pb : 0,0002%

III-1-2- CHARBONS ACTIFS

III-1-2-1- CHARBON POLONAIS TYPE A

Cylindre : Diamètre	:	0,12 Cm
Longueur	:	0,18 Cm
Diamètre équivalent	:	0,16 Cm
Densité apparente	:	0,436 g / Cm ³
Densité de la granule	:	0,68 g / Cm ³
Densité réelle	:	2,394 g / Cm ³
Volume total des pores	:	1,875 Cm ³ / g
Volume de micropores	:	0,69 Cm ³ / g
Rayon moyen des pores	:	10 A°
Permabilité	:	1,68 Cm ³ / g
Usure au rattler	:	0,65%

III-1-2-2- CHARBON ANGLAIS TH (TECHNICO HOUSE)

Ce charbon est appelé par la forme des granules c'est à dire charbon Anglais cylindrique

Cylindre : Diamètre	:	0,133 Cm
Longueur	:	0,259 Cm
Diamètre équivalent	:	0,163 Cm
Densité apparente	:	0,577 g / Cm ³
Densité réelle	:	3,542 g / Cm ³
Volume total des pores	:	1,45 Cm ³ / g

III-1-2-3- CHARBON BDH (BRITICH DRUGHOUSE)

Ce charbon est appelé par la suite : Charbon anglais en grain.

Diamètre des grain	:	0,146 Cm
Densité apparente	:	0,485 g / Cm ³
Densité réelle	:	3,964 g / Cm ³
Volume total des pores	:	1,809 Cm ³ / g

III-1-2-4- CHARBON ALGERIEN

Ce charbon est dit : Charbon algérien

Diamètre des grains	:	0,04 Cm
Densité apparente	:	0,436 g / Cm ³
Densité réelle	:	3,964 g / Cm ³
Volume total des pores	:	2,179 Cm ³ / g

III-1-3- TECHNIQUE D'ANALYSE UTILISEE

Nous avons utilisé la méthode du dosage chimique par une base forte (Solution de soude) . Les concentrations ont été calculées à partir de la relation classique $N_a V_a = N_b V_b$

Avant d'entamer notre travail, Nous avons d'abord vérifié la technique d'analyse . Pour cela nous avons travaillé avec des solutions de concentration connue (d'acide acétique) qu'on dose avec une solution de soude aussi connue . Cette vérification a donnée de bons résultats avec une bonne précision ce qui nous a permet de travailler avec cette technique jusqu'à la fin . Bien sur il existe d'autres techniques d'analyse , nous citons : La réfractométrie :

Avec cette technique , il faut d'abord étalonner le réfractomètre et avoir la courbe $n = f(C)$ où

C = Concentration de solution d'acide et n : indice de réfraction de la solution . Cette courbe est utilisé pour déterminer la concentration de solution inconnue en mesurant son indice réfraction . Il y a aussi la technique de chromatographie en phase gazeuse

III-1-4- PREPARATION DES PRODUITS UTILISES

III-1-4-1- SOLUTION ETALON

Nous avons travaillé avec une solution de titrisol , solution d'acide chlorhydrique de normalité 1N . Elle permet de vérifier la normalité de la solution préparée qui à son tour permet de vérifier la normalité

de l'acide acétique utilisé .

III-1-4-2- PREPARATION DES SOLUTIONS DE SOUDE

Les solutions de soude sont préparées en se basant sur le fait qu'une solution 1N de soude est obtenue en mélangeant 40g de soude dans un (1) litre d'eau distillée . La normalité de ces solutions est vérifiée à l'aide de la solution étalon .

III-1-4-3- SOLUTION D'ACIDE ACETIQUE

La densité et la masse molaire de l'acide étant marquées sur la bouteille , nous calculons alors son volume molaire et préparer par la suite la solution que nous voulons obtenir . La solution d'acide préparée est vérifiée à l'aide de la solution de soude déjà vérifiée .

III-1-4-4- CHARBONS ACTIFS

Nous avons fait bouillir les charbons actifs dans de l'eau distillée pendant au moins une heure pour évaporer les produits volatils susceptibles d'exister . En suite nous avons séparé le charbon de l'eau par filtration. Enfin le charbon est séché dans une étuve à la température environs de 110°C et mis dans un dessiccateur pour enlever l'humidité qu'il peut renfermer . Nous avons travaillé avec quatre charbon actifs : Un charbon polonais type A , un charbon anglais cylindrique , un charbon anglais en grain et un charbon algérien que nous avons nous même préparé .

III-1-5- PREPARATION DU CHARBON ALGERIEN

Le charbon actif algérien a été préparé à partir du bois des eucalyptus .Le traitement de ce dernier pour la préparation du charbon actif se divise en trois étapes .

PREMIERE ETAPE :

Découpage du bois en petit morceaux puis séchage dans un séchoir à une température de 45°C

DEUXIEME ETAPE :

Traitement par un agent d'activation (chlorure de zinc : $ZnCl_2$)

TROISIEME ETAPE :

Carbonisation dans un four à une température de 400°C

MODE DE PREPARATION DU CHARBON ACTIF ALGERIEN

Nous préparons une solution de chlorure de zinc à 20% poids , nous

traitons ensuite 250g de bois avec 500 ml de la solution de chlorure de zinc . Nous immergeons le bois dans la solution . Pour favoriser un bon contact solution-bois , on laisse le mélange ainsi pendant trois jours . Une fois ce temps est écoulé , nous séchons le bois dans une étuve à une température de 150° C . Après séchage , le bois est carbonisé dans un four réglé à une température de 400° C pendant une heure . Nous obtenons du charbon actif en petit-morceaux que nous broyons jusqu'à obtention du charbon actif en poudre , celui-ci est lavé pendant deux jours à l'eau distillé pour éliminer les dernières traces de chlorure de zinc . Cet essai est testé par du nitrate d'argent qui en présence des ions Cl^- donne un précipité blanc de chlorure d'argent . L'échantillon ainsi obtenu est placé dans l'étuve à une température de 110° C . Nous procédons ensuite à un tamisage .

III-2- CARACTERISTIQUES DU CHARBON ACTIF

III-2-1- INTRODUCTION

Avant d'entamer l'étude cinétique proprement dite nous avons juger nécessaire de déterminer d'abord les caractéristiques physico - chimiques du charbon actif .

III-2-2- CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU CHARBON ACTIF

Les caractéristiques internes d'un adsorbant solide sont :

- La densité structurale ou densité réelle
- La densité apparente ou densité du grain
- ± Le volume poreux total
- La surface spécifique .

III-2-2-1- DETERMINATION DES DENSITES ET DU VOLUME POREUX TOTAL

III-2-2-2- DENSITE REELLE

Les charbons actifs se mouillent irrégulièrement et tendent facilement à emprisonner de l'air .

Nous avons , pour éviter cet inconvénient adopté la méthode suivante pour mesurer la densité de notre échantillon .

L'échantillon est placé dans une étuve à 100°C pour le déshydrater .

Nous mettons une petite quantité du produit à analyser dans un picnomètre taré que nous remplissons ensuite de méthanol , ce dernier a la propriété de ne pas mouiller le charbon actif . Nous ajoutons ensuite la quantité de méthanol nécessaire pour remplir le picnomètre que nous pesons alors . La connaissance de la tare et de la masse volumique du méthanol nous permet d'accéder au poids du charbon actif utilisé , et connaissant le volume du picnomètre , nous en déduisons la densité cherchée .

Soit S1 : La masse de produit à analyser en (g)

B1 : Le poids de méthanol ajouté à l'échantillon S1 pour remplir le picnomètre en (g)

B2 : Le poids de méthanol remplissant le picnomètre .

d : Densité de méthanol $d = 1,98 \text{ g / cm}^3$

La densité réelle de notre échantillons est donnée par :

$$d_1 = \frac{S1 \cdot d}{B2 - B1}$$

Les résultats son regroupés dans le tableau B

III-2-2-3- DENSITE APPARENTE

La méthode utilisée est la suivante : Dans une éprouvette préalablement lavée et séchée , nous mettons une quantité de charbon actif corrspondant à un volume quelconque .Pour éviter l'adhésion des grains sur les parois de l'éprouvette par suite du remplissage avec du charbon actif , il est nécessaire de secouer l'ensemble afin d'avoir un bon tassement des grains . La connaissance de la tare et du poids total (éprouvette + charbon actif) nous permet de déduire le poids de l'échantillon . La densité apparente est donc le rapport entre le poids de cet échantillon et le volume qu'il occupe .

III-2-2-4- VOLUME POREUX TOTAL

Le volume poreux total (V.P.T) s'exprime par :

$$V.P.T = \frac{1}{dApp} - \frac{1}{dRe} \quad (\text{cm}^3 / \text{g})$$

où dApp : Densité apparente en g / cm³

dRe : Densité réelle en g / cm³

Nous donnons les résultats dans le tableau B

III-2-3- RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats sont regroupés dans les tableau suivant :

T A B L E A U B

Type de charbon actif	charbon polonais type A	charbon anglais cylindrique	charbon anglais en grain	charbon algérien
densité apparente (g/cm ³)	0,436	0,577	0,485	0,365
densité réelle (g/cm ³)	2,394	3,542	3,964	4,784
volume poreux Total.	1,875	1,450	1,809	2,179

III-3- EQUILIBRE D'ADSORPTION DU CHARBON ALGERIEN

III-3-1- DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE

Le montage expérimentale est représenté par la figure 1 . Nous l'avons utilisé aussi bien pour l'équilibre d'adsorption que pour la cinétique d'adsorption . L'appareillage comprend un bac (9) contenant l'eau de chauffage introduite par l'alimentation 6 et dans lequel on trouve deux résistances chauffantes 4 , Le réacteur trois 3 , le thermomètre 7 et le thermostat 8 qui arrête le chauffage quand la température voulue est atteinte . Cette température est réglée en manipulation par le potentiomètre 13 . Nous avons aussi la prise de courant 14 , l'interrupteur 12 et une lampe témoin 11 et un bouton de réglage de vitesse 15 . Cette vitesse est mesurée à l'aide d'un taquinètre ou bien à l'aide de la courbe d'étalonnage .

III-3-2- EQUILIBRE D'ADSORPTION

Le bac étant étalonné , on fixe la température de travail ($T=30^{\circ}\text{C}$) qui est de temps en temps contrôlée . On a suivi les étapes suivantes

- Dans des eurlens de 100 ml ,préalablement lavés et séchés dans l'étuve , après refroidissement verser la quantité d'acide utilisé 50 ml
- Boucher bien les eurlens avec un bouchon
- les laisser dans un bain thermostatique pendant environ 20 mn pour que la solution prenne la température de ce bain
- Y verser ensuite la masse de charbon nécessaire (2g) boucher et agiter .
- Attendre l'équilibre d'adsorption
- Prendre ensuite une quantité de solution pour faire le dosage , le temps de contact est de 30 mn

III-3-3- RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats sont donnés dans le tableau (1)

Le mode de calcul est le suivant :

$$\frac{X}{M} = (C_0 - C) VM \text{ en g / g ou}$$

C_0 : Concentration initiale de la solution

C : Concentration de la solution d'équilibre

M : Masse molaire de l'acide acétique .

L'isotherme d'adsorption est obtenue en représentant la quantité $\frac{X}{M}$

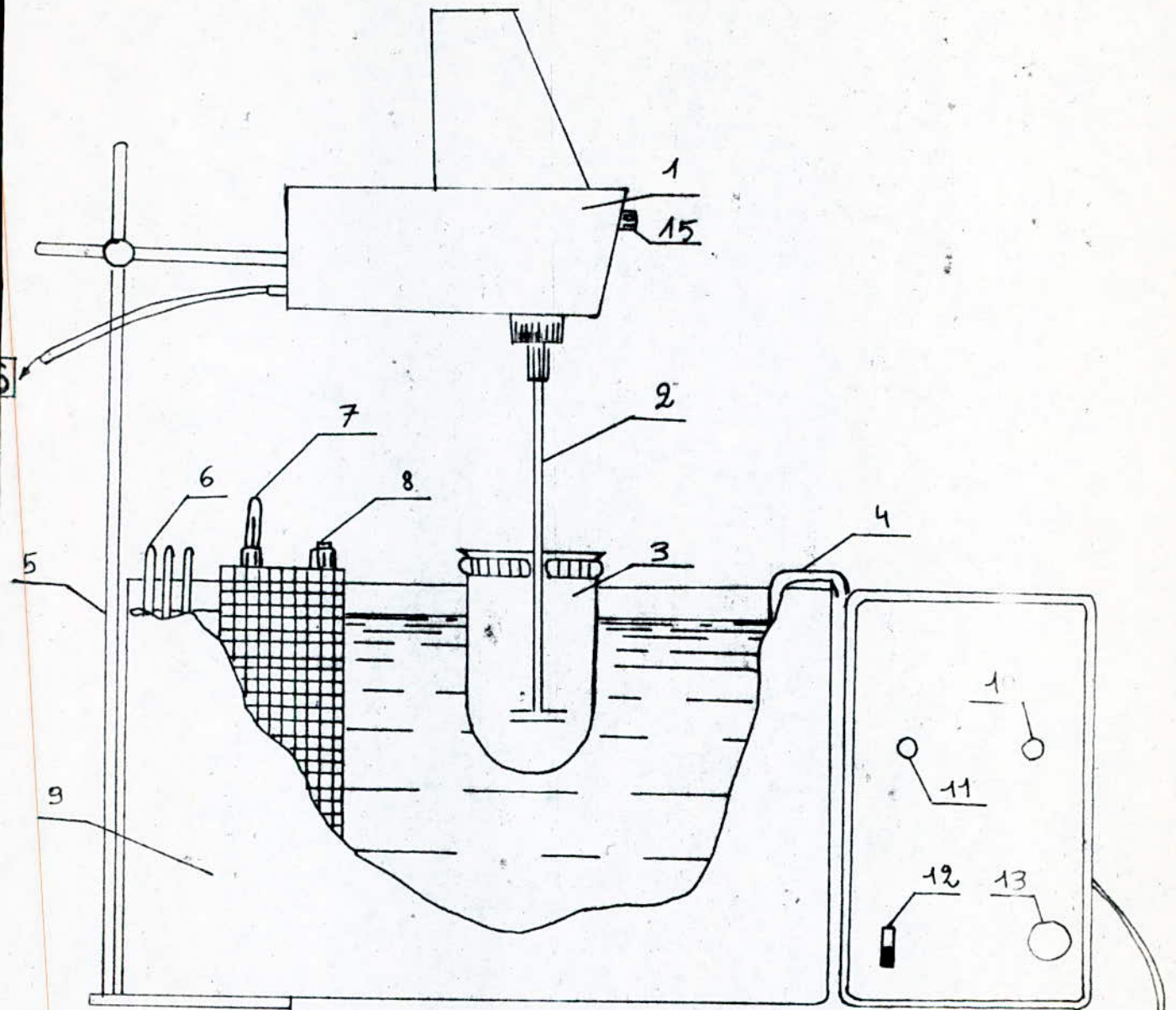


Figure N° 4

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1 - Moteur | 8 - Thermostat |
| 2 - Agitateur | 9 - Bac |
| 3 - Réacteur | 10 - Fusible |
| 4 - Résistance chauffante | 11 - Lampe témoin |
| 5 - Statifs | 12 - Interrupteur |
| 6 - Alimentation d'eau | 13 - Potentiomètre |
| 7 - Thermomètre | 14 - Source |

EQUILIBRE D'ADSORPTION
POUR CHARBON TYPE

ALGERIEN

T=30°C

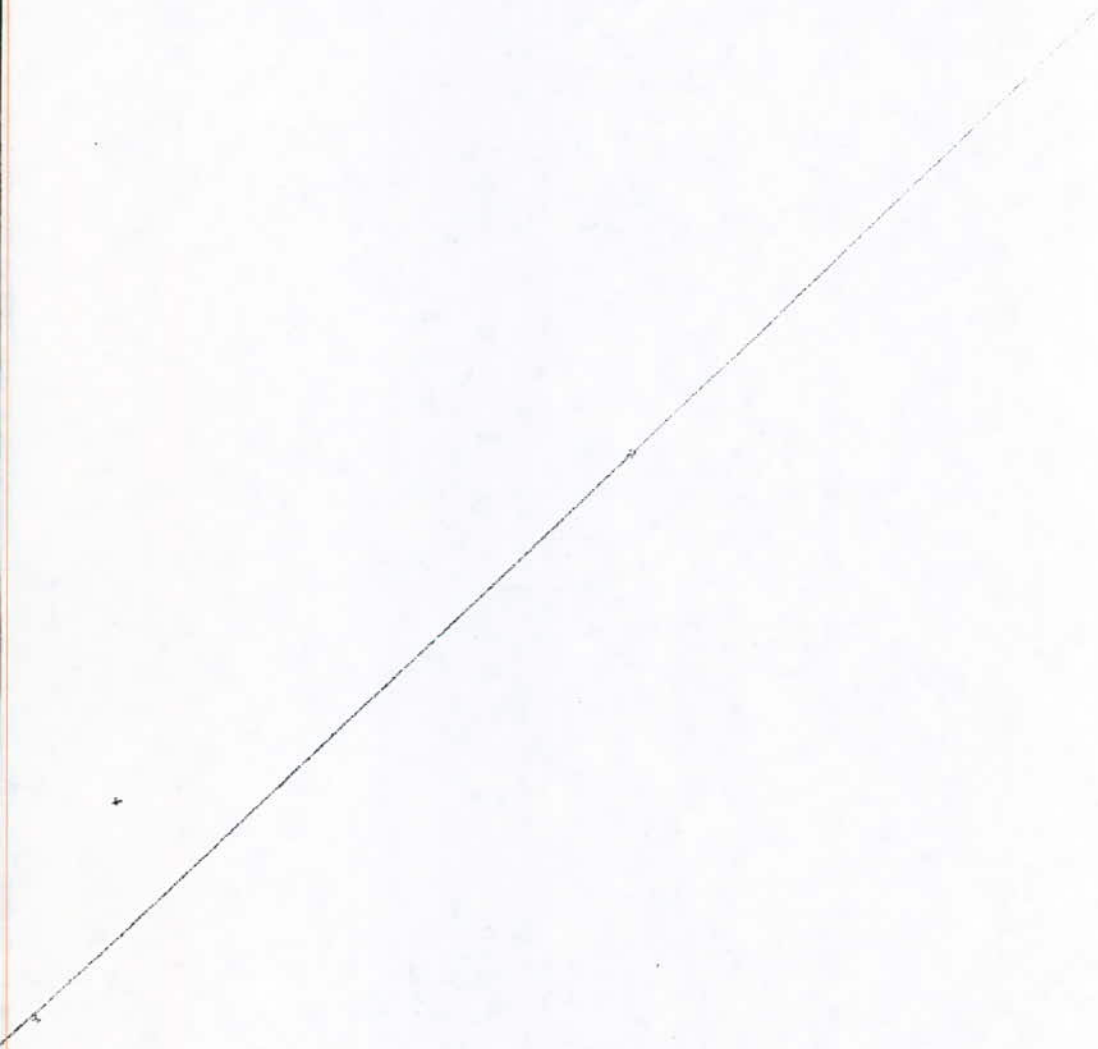
TABLEAU: 1

CONCENTRATION C_0 (mole/l)	CONCENTRATION d'EQUILIBRE C (mole/l)	X (mole/l)	$\frac{X}{m}$ [g/g]
0,019	0,014	0,005	0,007
0,028	0,02	0,008	0,012
0,048	0,038	0,01	0,015
0,095	0,067	0,028	0,042
0,163	0,096	0,067	0,100
0,268	0,173	0,095	0,142
0,441	0,345	0,096	0,144
0,728	0,575	0,153	0,229
0,949	0,795	0,154	0,231

C
X/m

FIGURE: 2

TRANSFORMÉE DE L'ISOTHERME DE LANGMUIR
POUR CHARBON ALGÉRIEN
température : $T = 30^{\circ}C$



$-\log \frac{x}{m}$

FIGURE: 3
TRANSFORMÉE DE L'ISOTHERME DE FREUNDLICH
POUR CHARBON ALGÉRIEN
température: 30°C

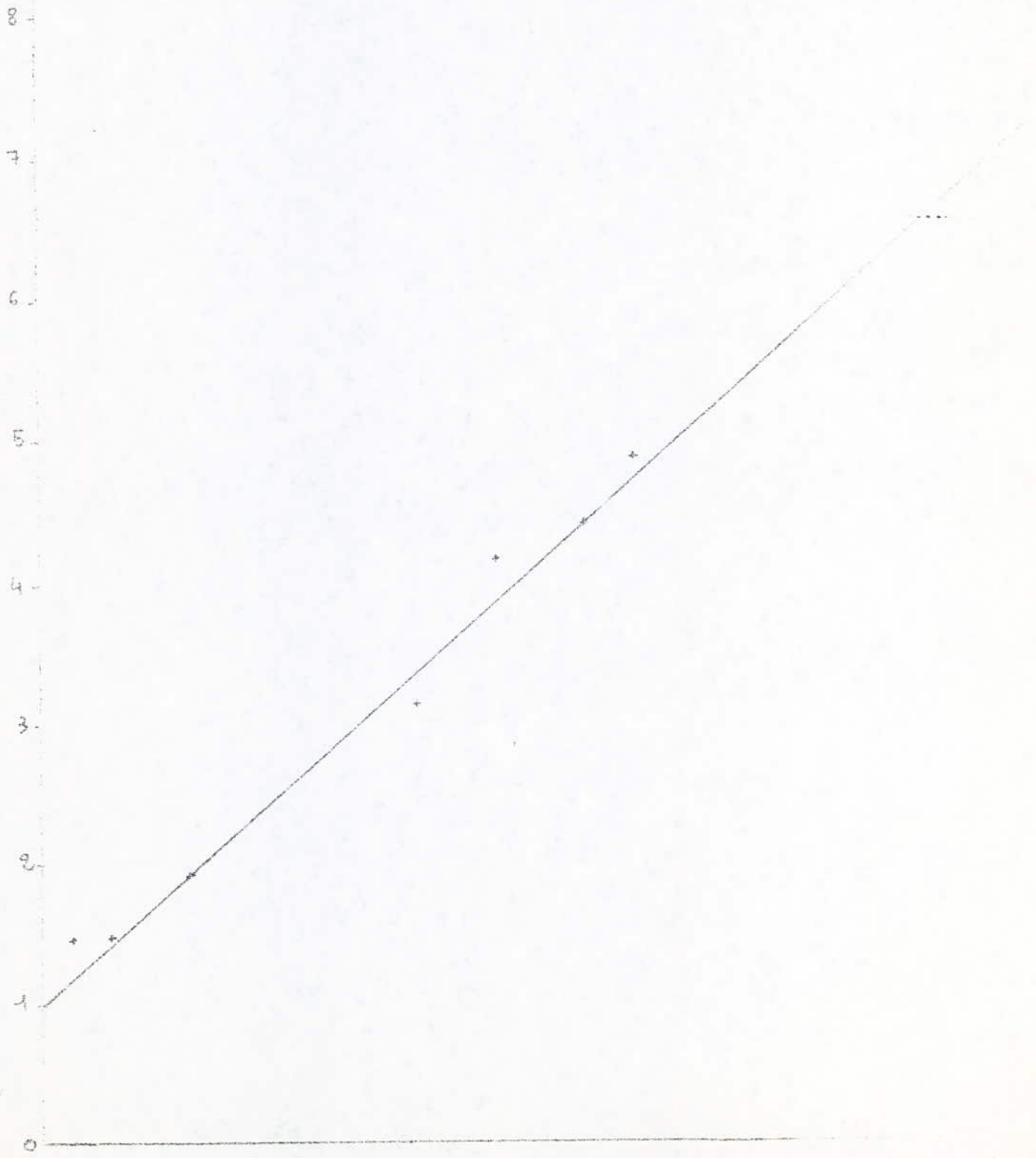


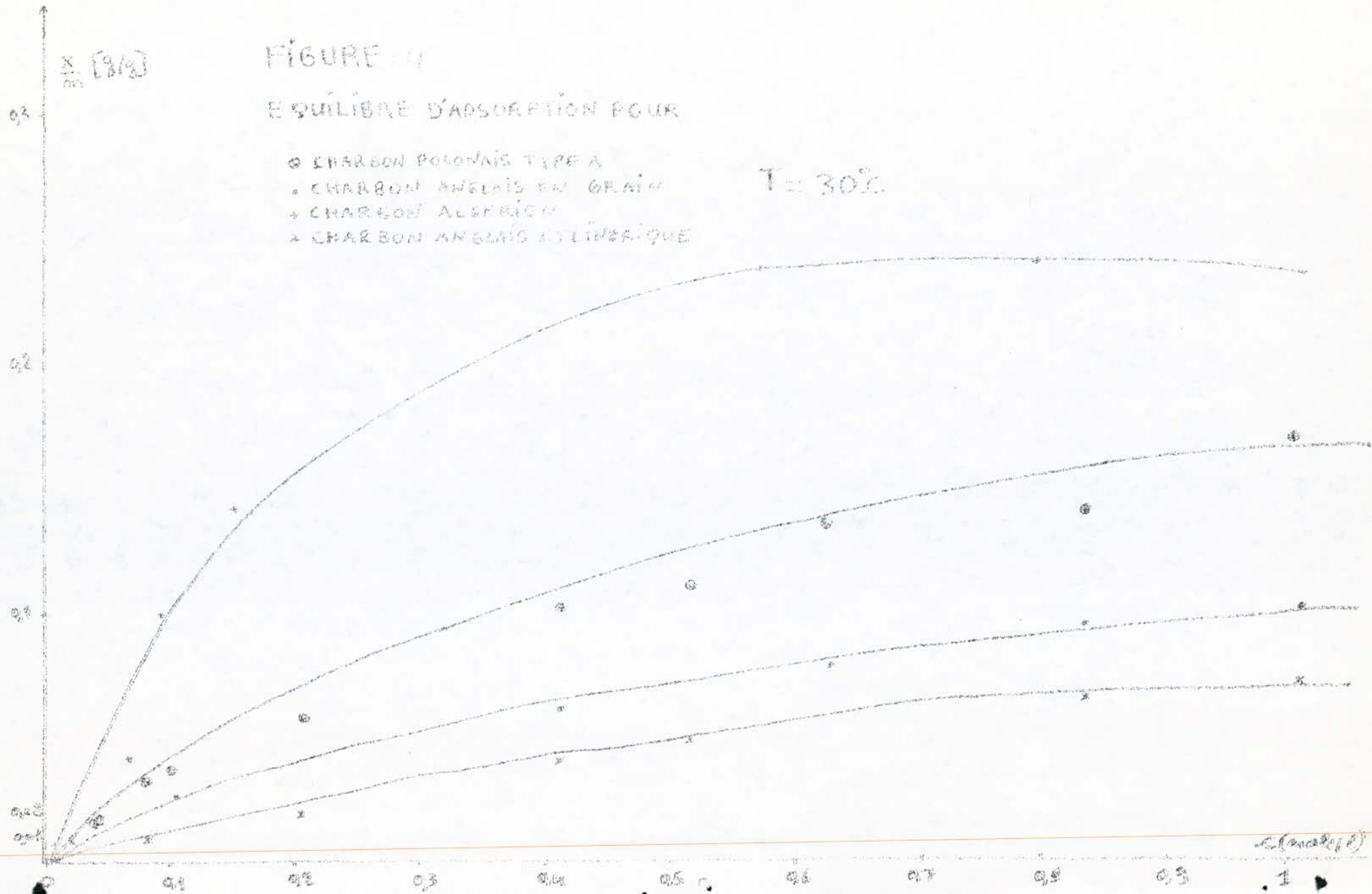
FIGURE 11

EQUILIBRE D'ADSORPTION POUR

- CHARBON POLONAIS TYPE A
- CHARBON ANGLAIS EN GRAIN
- + CHARBON ALGERIEN
- * CHARBON ANGLAIS SUBLIMÉ

T = 30°C

- 44 -



(malet)

en fonction de la concentration d'équilibre . Voir figure (4)

III-3-4-INTERPRETATION DES RESULTATS

III-3-4-1- ANALYSE DE L'ISOTHERME OBTENUE

L'isotherme obtenue est représentée par la figure (4)

Son allure montre qu'on a une courbe de type LANGMUIR . L'adsorption devient difficile lorsque le degrés de recouvrement croit . Au début l'augmentation de la masse de soluté adsorbé est rapide puisque la courbe devient presque horizontale . Le fait qu'on a une isotherme de LANGMUIR suggère que la courbe obtenue est monomoléculaire . On détermine la quantité maximale d'adsorbat m_0 pour avoir une monocouche qu'on utilise par la suite dans l'établissement de l'équation cinétique

III-3-4-2- DETERMINATION DE m_0 PAR L'ISOTHERME DE LANGMUIR

L'équation de LANGMUIR est de la forme :

$$\frac{x}{m} = \frac{m_0 b C}{1 + b C}$$

Cette équation s'écrit sous la forme :

$$\frac{C}{x/m} = \frac{C}{m_0} + \frac{1}{m_0 b}$$

En traçant la courbe de $\frac{C}{x/m} = f(C)$, nous obtiendrons une droite si sa pente = $\frac{1}{m_0}$ et l'ordonnée à l'origine = $\frac{1}{m_0 b}$

L'équation obtenue est :

$$\frac{x}{m} = \frac{0,617 C}{1 + 1,371 C} \quad \text{avec} \quad m_0 = 0,45 \text{ g/g} \\ \bar{C}_m = 0,299 \text{ mol/l}$$

III-3-4-3- ISOTHERME DE FREUNDLICH

L'équation est $\frac{x}{m} = K C^n$, en passant aux logarithmes nous obtenons

$$\text{Log } \frac{x}{m} = \text{Log } K + n \text{Log } C$$

En représentant la courbe $\text{Log } \frac{x}{m} = f(\text{Log } C)$ nous devons obtenir une droite si l'isotherme de FREUNDLICH est applicable et dont la pente est donnée par n et l'ordonnée à l'origine par log K . Pour notre domaine de concentration , l'isotherme de FREUNDLICH est vérifiée.

L'équation obtenue est :

$$\frac{x}{m} = 0,339 C^{0,843}$$

III-4- CINETIQUE D'ADSORPTION

III-4-1- MODE OPERATOIRE

Les proportions de la solution et de charbon utilisées dans l'étude de l'équilibre sont maintenues mais vu le volume de notre réacteur (1l) nous avons augmenté les quantités des produits utilisés , nous avons utilisé un volume de 250 ml , une masse de charbon de 10 g et une température de 30°C . La manipulation comprend les étapes suivantes :

- Fixer la température de travail
 - Nettoyer le réacteur et mettre à sa position (figure 1)
 - Dans un eurlen bien bouché mettre la solution à utiliser dans le bain pendant environ 20 mn .
 - Prendre le volume nécessaire et verser dans le réacteur
 - Démarrer l'agitateur et aussitôt verser le charbon tout en déclan-
chant le chronomètre
 - Pour récupérer la solution à analyser , nous avons utilisé une
seringue de 100ml .
 - Faire successivement le prélèvement jusqu'à l'équilibre .
- Les paramètres utilisés durant cette étude sont les suivants
- Température 30°C
 - Masse de charbon 10g
 - Volume de la solution 250 ml

III-4-2- LOI CINETIQUE D'ADSORPTION

Nous avons déjà donné l'équation suivante :

$$v = - \frac{V}{m} \frac{dc}{dt} = Kc (\bar{c}_m - c_0 + c) - K'(c_0 - c)$$

où v : Vitesse d'adsorption

V : Volume de la solution

m : Masse du charbon actif

C : Concentration de la solution

C₀ : Concentration initiale de la solution

\bar{c}_m : Concentration d'adsorbant pour avoir une monocouche

t : Temps

K et K' : Constantes de vitesse

Cette équation aboutit à la relation suivante

$$\text{Log} \frac{c - c_e}{c + a} = - (c_e + a) \frac{K m t}{V} + \text{Log} \frac{c_0 - c_e}{c_0 + a} \quad \text{avec } a = \frac{c_0 (\bar{c}_m - c_0 + c_e)}{c_0 - c_e}$$

Où C_e : concentration à l'équilibre

En traçant la courbe $f(t) = \log \frac{C-C_e}{C+a}$, nous devons obtenir une droite

de pente $-(C_e+a) \frac{K_m}{V}$, d'où la connaissance de la constante de vitesse

K . Les droites sont représentées par les figures : 7 - 11 - 15 - 18

III-3-4-3- RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats expérimentaux sont regroupés dans des tableaux. Nous donnons aussi toutes les courbes trouvées expérimentalement ou par calcul.

III-4-3- CALCULS ET INTERPRETATIONS

III-4-3-1- CALCUL DU COEFFICIENT EFFECTIF DE DIFFUSION

Les coefficients effectifs de diffusion sont calculés par trois méthodes différentes :

- Méthode de TIMOFEEV, Méthode de CRANK, Méthode de KORTA.

III-4-3-1-1- INFLUENCE DU TYPE D'ADSORBANT

a) CHARBON POLONAIS TYPE A

Dimensions : $d = 0,12\text{cm}$

$L = 0,18\text{cm}$

$d_e = 0,16\text{cm}$

METHODE DE TIMOFEEV

Les grains sont cylindriques et l'on applique la formule suivante :

$$De = \frac{KR^2}{\pi \tau_{0,5}}$$

K est fonction de L/R , dans notre cas $L/R = 3$, nous prenons donc la valeur moyenne correspondant à celle de $L/R = 2$ et $L/R = 4$ c'est à dire $K = 0,384$, $\tau_{0,5} = 60\text{s}$ (figure 5)

METHODE DE CRANK

On a deux paramètres adimensionnels qui sont : $\frac{De}{R^2}$ et $\gamma = \frac{Mt}{\pi \tau_{0,5}}$
de TREYBAL, on a tiré la figure : 6 qui donne $E = 1 - \gamma = f\left(\frac{De \tau}{R^2}\right)$
Ayant $\frac{De \tau}{R^2}$ on trace $\frac{De \tau}{R^2} = f(\gamma)$ figure: 6, et on aura la pente $\frac{De}{R^2}$
donc $\frac{De}{R^2}$, la valeur trouvée est $\frac{De}{R^2} = 2,727 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

METHODE DE KORTA

Cette méthode concerne les grains sphériques et cylindriques. Elle est à la base de l'équation $De = K \gamma \frac{R^2}{\pi^2 t}$

TABLEAU 2

KINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 500 tr/min
température : 30°C

TEMPS [min]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	Y	$E = 1 - Y$	$\frac{d \ln E}{dt}$
0	1,468	0	0	0	1	0
0,3	1,427	0,044	0,061	0,348	0,652	0,01
0,4	1,421	0,047	0,070	0,4	0,6	0,015
1	1,41	0,058	0,087	0,497	0,503	0,02
2	1,393	0,07	0,105	0,6	0,4	0,04
3	1,382	0,086	0,119	0,651	0,349	0,05
4	1,382	0,082	0,123	0,703	0,297	0,075
5	1,380	0,088	0,122	0,752	0,248	0,095
7	1,369	0,099	0,147	0,846	0,154	0,10
12	1,361	0,1	0,157	0,935	0,065	0,175
17	1,359	0,103	0,162	0,997	0,003	0,23
22	1,357	0,111	0,161	0,998	0,002	0,250
30	1,354	0,113	0,175	1	0	—

TABLEAU 3

KINETIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON ANGLAIS CYLINDRIQUE

vitesse d'agitation : 500 tr/min
température : 30°C

TEMPS [min]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	Y	$E = 1 - Y$	$\frac{d \ln E}{dt}$
0	1,468	0	0	0	1	0
0,33	1,438	0,03	0,045	0,281	0,719	0
0,5	1,428	0,044	0,060	0,315	0,685	0,015
1	1,424	0,044	0,066	0,458	0,542	0,016
2	1,419	0,073	0,074	0,463	0,537	0,020
3	1,409	0,083	0,081	0,55	0,45	0,036
4	1,400	0,085	0,102	0,637	0,363	0,050
5	1,394	0,076	0,111	0,493	0,507	0,070
7	1,374	0,094	0,144	0,381	0,619	0,155
12	1,366	0,102	0,153	0,956	0,044	0,260
15	1,366	0,102	0,153	0,956	0,044	0,260
18	1,361	0,107	0,160	1	0	—

CINÉTIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON ANGLAIS EN GRAIN

vitesse d'agitation : 500 tr/mn

température : 30°C

TABLEAU:4

TEMPS	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	$E=1-\gamma$	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,468	0	0	0	1	0
0,3	1,41	0,058	0,087	0,414	0,586	0,015
0,5	1,394	0,074	0,111	0,528	0,476	0,03
1	1,378	0,09	0,135	0,642	0,358	0,06
2	1,363	0,105	0,157	0,747	0,253	0,086
3	1,347	0,121	0,181	0,861	0,139	0,150
4	1,339	0,129	0,194	0,923	0,077	0,206
5	1,338	0,130	0,195	0,928	0,072	0,21
8	1,333	0,135	0,203	0,966	0,034	0,293
12	1,329	0,139	0,208	0,990	0,01	0,413
18	1,328	0,140	0,210	1	0	-

TABLEAU:5 CINÉTIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON ALGERIEN

vitesse d'agitation : 500 tr/mn

température : 30°C

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	$E=1-\gamma$	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,468	0	0	0	1	0
0,3	1,418	0,05	0,075	0,403	0,597	0,015
0,5	1,404	0,064	0,096	0,516	0,484	0,025
1	1,391	0,077	0,115	0,618	0,382	0,045
2	1,375	0,093	0,139	0,747	0,253	0,086
3	1,364	0,104	0,156	0,838	0,162	0,135
4	1,357	0,111	0,166	0,892	0,108	0,173
5	1,354	0,114	0,171	0,919	0,081	0,20
8	1,348	0,12	0,180	0,967	0,033	0,290
12	1,346	0,122	0,183	0,983	0,017	0,370
15	1,344	0,124	0,186	1	0	-

TABLEAU: 6

-47-

CINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 0 tr/min
température : 30 °C
diamètre : 630 μm < d < 800 μm

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{x}{m}$ [g/g]	γ	E=1- γ	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,713	0	0	0	1	0
0,36	1,699	0,014	0,021	0,074	0,926	0
0,63	1,669	0,044	0,066	0,232	0,768	0
1	1,656	0,057	0,0853	0,299	0,701	0,005
2	1,642	0,071	0,106	0,373	0,627	0,01
3	1,629	0,084	0,126	0,444	0,556	0,02
4	1,61	0,103	0,155	0,545	0,455	0,03
5	1,603	0,11	0,165	0,581	0,419	0,04
8	1,58	0,133	0,199	0,700	0,3	0,07
12	1,558	0,155	0,232	0,817	0,183	0,12
17	1,544	0,169	0,253	0,890	0,11	0,175
22	1,524	0,189	0,284	1	0	—

TABLEAU: 7

CINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 270 tr/min
température : 30 °C
diamètre : 630 μm < d < 800 μm

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{x}{m}$ [g/g]	γ	E=1- γ	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,713	0	0	0	1	0
0,5	1,646	0,067	0,100	0,352	0,648	0,01
1	1,616	0,097	0,145	0,510	0,49	0,025
2	1,61	0,103	0,154	0,542	0,458	0,03
3	1,580	0,133	0,199	0,700	0,300	0,07
4	1,564	0,149	0,223	0,785	0,215	0,105
5	1,550	0,163	0,244	0,859	0,141	0,145
8	1,537	0,176	0,264	0,929	0,071	0,215
12	1,524	0,189	0,284	1	0	—
17	1,511	0,202	0,303	1,066	—	—
22	1,524	0,189	0,284	1	0	—

TABLEAU: 8

CINETIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 350 $\mu\mu$

température : 30°C

diamètre : 630 $\mu\mu$ ϕ d ϕ 800 $\mu\mu$

TEMPS [min]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	E = 1 - γ	$\frac{D_0 t}{R^2}$
0	1,713	0	0	0	1	0
0,36	1,710	0,003	0,004	0,0140	0,986	0
0,6	1,668	0,045	0,067	0,236	0,764	0
1,4	1,635	0,078	0,117	0,412	0,588	0,02
2	1,598	0,115	0,173	0,609	0,391	0,04
3	1,579	0,134	0,201	0,708	0,292	0,07
4	1,551	0,162	0,243	0,856	0,144	0,145
5	1,541	0,172	0,258	0,908	0,092	0,18
8	1,530	0,183	0,275	0,968	0,032	0,3
12	1,527	0,186	0,279	0,982	0,018	0,345
17	1,527	0,186	0,279	0,982	0,018	0,345
22	1,524	0,189	0,284	1	0	-

TABLEAU: 9

CINETIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 430 tr/min

température : 30°C

diamètre : 600 $\mu\mu$ ϕ d ϕ 800 $\mu\mu$

TEMPS [min]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	E = 1 - γ	$\frac{D_0 t}{R^2}$
0	1,713	0	0	0	1	0
0,36	1,692	0,021	0,031	0,109	0,891	0
0,8	1,629	0,084	0,126	0,444	0,556	0,02
1,4	1,625	0,088	0,132	0,465	0,535	0,02
2	1,598	0,115	0,173	0,609	0,391	0,04
3	1,579	0,134	0,201	0,708	0,292	0,07
4,16	1,541	0,172	0,258	0,908	0,092	0,18
5	1,541	0,172	0,258	0,908	0,092	0,18
8	1,541	0,172	0,258	0,908	0,092	0,18
12	1,527	0,186	0,279	0,982	0,018	0,345
17	1,527	0,186	0,279	0,982	0,018	0,345
22	1,524	0,189	0,284	1	0	-

TABLEAU: 10

CINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 430 tr/mn
température : 30°C

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	$E=1-\gamma$	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,433	0	0	0	1	0
0,33	1,426	0,007	0,010	0,057	0,943	0
0,66	1,425	0,008	0,012	0,068	0,932	0
1	1,41	0,023	0,034	0,194	0,806	0
2	1,394	0,039	0,058	0,331	0,669	0,01
3	1,378	0,055	0,082	0,468	0,532	0,025
4	1,363	0,07	0,105	0,6	0,4	0,05
5	1,347	0,086	0,129	0,737	0,263	0,095
8	1,340	0,093	0,139	0,794	0,206	0,115
12	1,331	0,102	0,153	0,874	0,126	0,175
17	1,323	0,11	0,165	0,942	0,058	0,236
22	1,321	0,112	0,168	0,960	0,04	0,275
30	1,316	0,117	0,175	1	0	-

TABLEAU: 11

CINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 430 tr/mn
température : 30°C
diamètre : 630 < d < 800 μ m

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	$E=1-\gamma$	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,433	0	0	0	1	0
0,33	1,428	0,005	0,007	0,034	0,966	0
0,66	1,420	0,013	0,019	0,093	0,907	0
1	1,414	0,019	0,028	0,137	0,863	0
2	1,370	0,063	0,094	0,460	0,54	0,02
3	1,368	0,07	0,105	0,514	0,486	0,03
4	1,353	0,08	0,120	0,588	0,412	0,045
5	1,347	0,086	0,129	0,632	0,368	0,06
8	1,310	0,123	0,184	0,901	0,099	0,18
12	1,306	0,127	0,190	0,931	0,069	0,22
17	1,297	0,136	0,204	1	0	-
22	1,297	0,136	0,204	1	0	-

TABEAU: 12

CINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

vitesse d'agitation : 430 tr/min
température : 30°C
diamètre : 450 μm < d < 630 μm

TEMPS [min]	CONCENTRATION [mole/l]	x [mole/l]	$\frac{x}{m}$ [g/g]	γ	E = 1 - γ	$\frac{0e t}{R^2}$
0	1,133	0	0	0	1	0
0,3	1,194	0,039	0,0585	0,274	0,726	0
0,5	1,386	0,047	0,0705	0,331	0,669	0,005
1	1,378	0,055	0,082	0,388	0,612	0,015
1,5	1,363	0,07	0,105	0,497	0,503	0,02
2,5	1,331	0,102	0,153	0,725	0,275	0,08
4	1,316	0,117	0,175	0,829	0,171	0,135
5	1,301	0,132	0,198	0,938	0,062	0,215
8	1,300	0,133	0,199	0,943	0,057	0,24
12	1,300	0,133	0,199	0,943	0,057	0,24
17	1,296	0,137	0,205	0,971	0,029	0,305
22	1,292	0,141	0,211	1	0	-

TABLERAU: 13

-51-

CINETIQUE D'ADSORPTION
 POUR CHARBON POLONNAIS TYPE A
 vitesse d'agitation : 500 tr/mn
 température : 30°C
 agitateur à hélice

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	$E=1-\gamma$	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,386	0	0	0	1	0
0,33	1,237	0,149	0,224	0,545	0,455	0,03
0,66	1,247	0,169	0,254	0,618	0,382	0,045
1	1,205	0,181	0,272	0,662	0,338	0,06
2	1,138	0,188	0,282	0,686	0,314	0,065
3	1,133	0,193	0,289	0,703	0,297	0,07
4	1,179	0,207	0,310	0,754	0,246	0,09
5	1,174	0,212	0,318	0,774	0,226	0,1
8	1,160	0,225	0,338	0,822	0,178	0,12
12	1,122	0,264	0,396	0,963	0,037	0,275
17	1,122	0,264	0,396	0,963	0,037	0,275
22	1,112	0,274	0,411	1	0	—
30	1,112	0,274	0,411	1	0	—

TABLERAU: 14

CINETIQUE D'ADSORPTION
 POUR CHARBON POLONNAIS TYPE A
 vitesse d'agitation : 500 tr/mn
 température : 30 °C
 agitateur feuille

TEMPS [mn]	CONCENTRATION [mole/l]	X [mole/l]	$\frac{X}{m}$ [g/g]	γ	$E=1-\gamma$	$\frac{De t}{R^2}$
0	1,386	0	0	0	1	0
0,33	1,237	0,149	0,224	0,545	0,455	0,03
1	1,211	0,175	0,263	0,639	0,361	0,06
2	1,172	0,214	0,321	0,781	0,219	0,105
3	1,150	0,236	0,354	0,861	0,139	0,15
4	1,141	0,245	0,368	0,895	0,105	0,175
5	1,131	0,255	0,383	0,932	0,068	0,22
8	1,122	0,264	0,396	0,963	0,037	0,28
12	1,117	0,269	0,403	0,980	0,02	0,34
17	1,112	0,274	0,411	1	0	—
22	1,114	0,272	0,408	0,993	0,007	0,45
30	1,112	0,274	0,411	1	0	—
35	1,112	0,274	0,411	1	0	—

FIGURE: 5

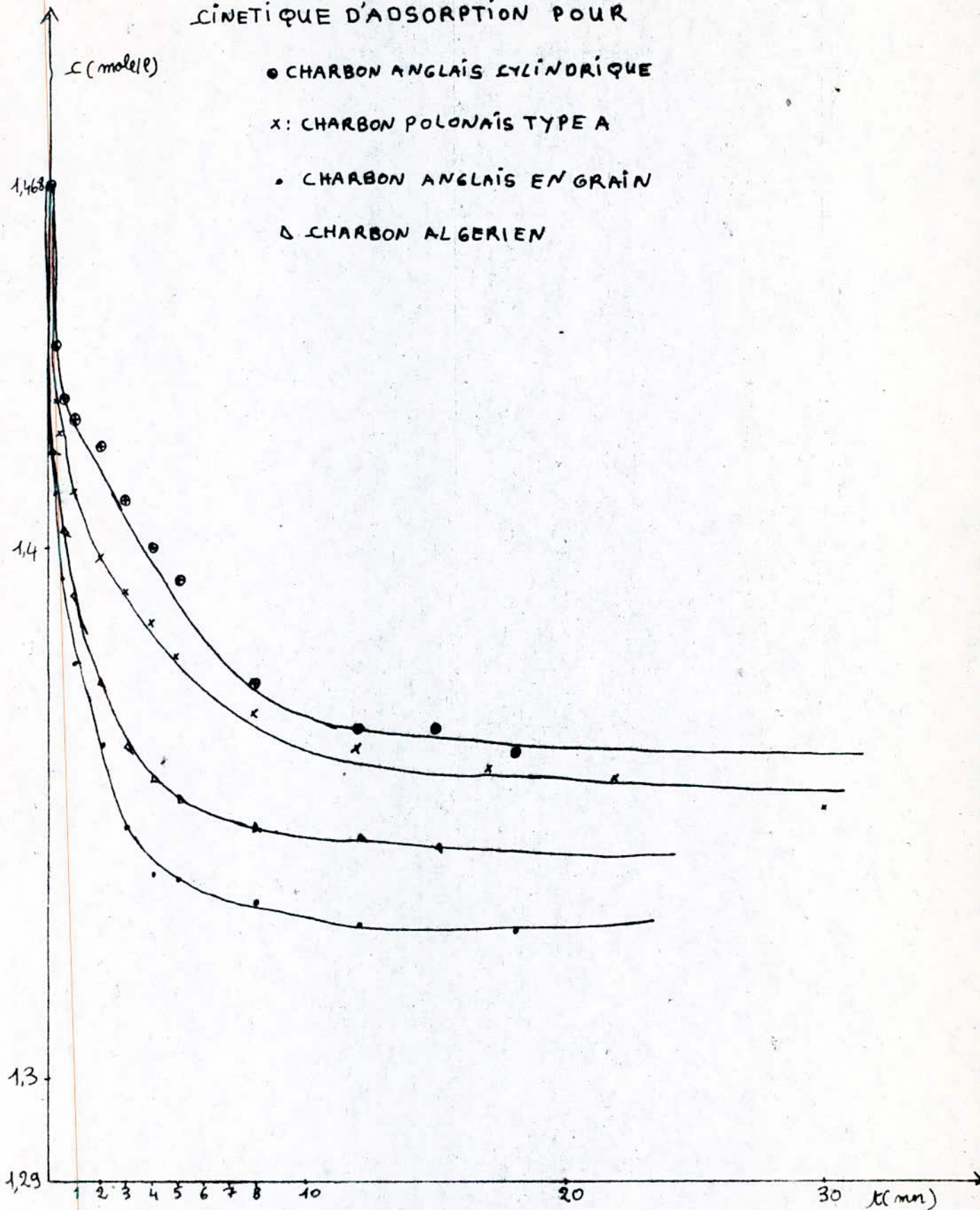
CINETIQUE D'ADSORPTION POUR

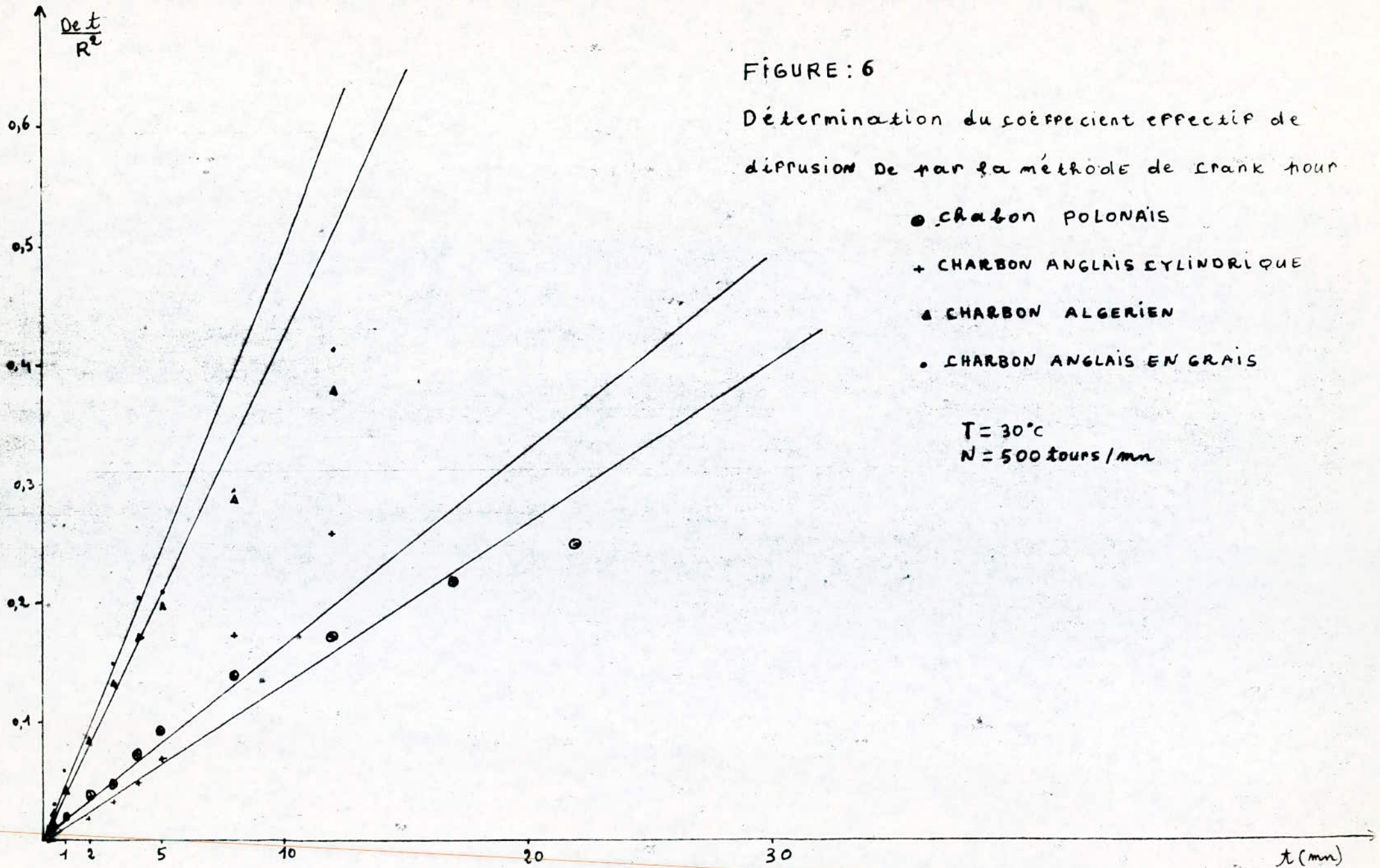
● CHARBON ANGLAIS CYLINDRIQUE

x: CHARBON POLONAIS TYPE A

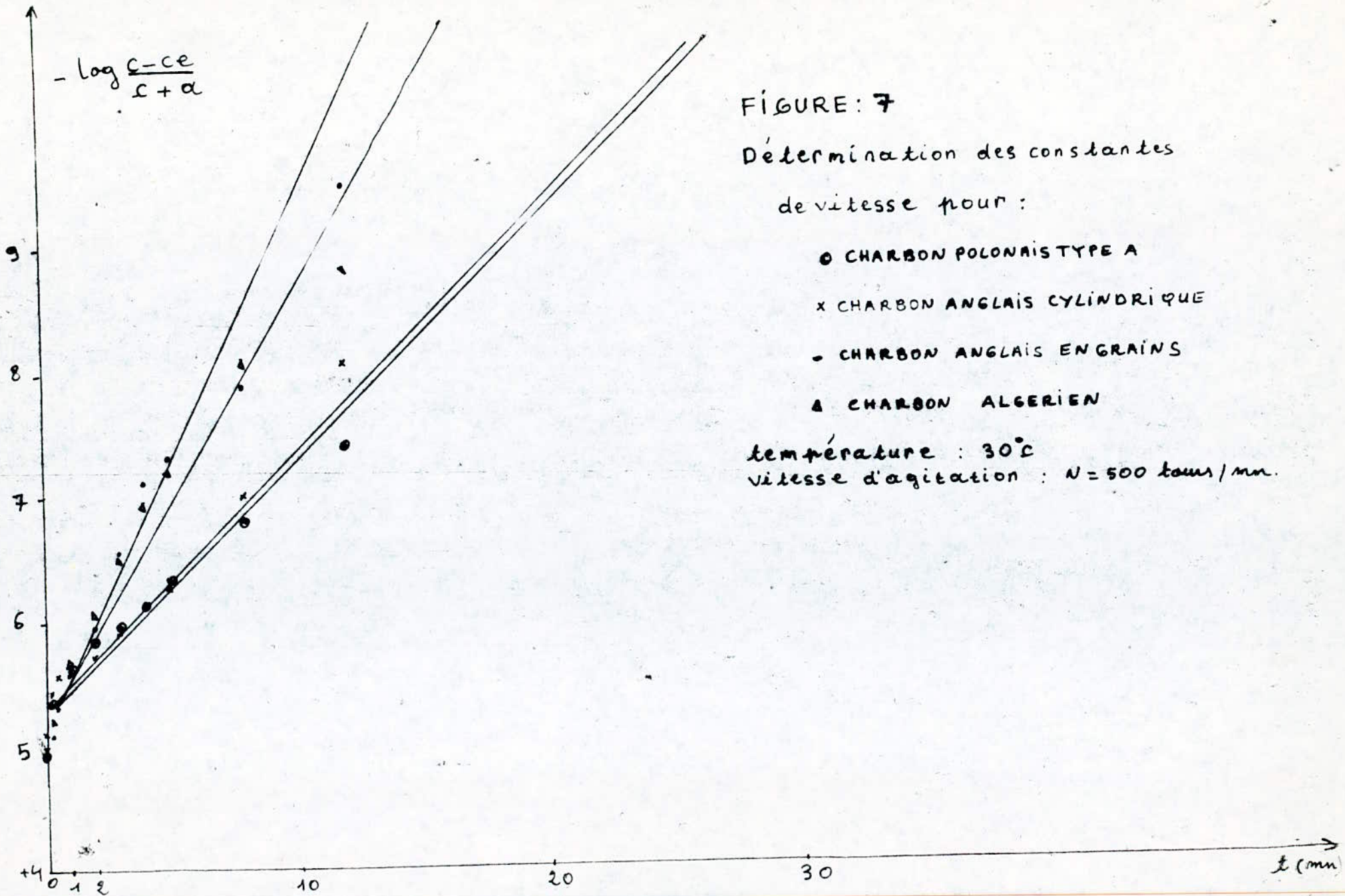
• CHARBON ANGLAIS EN GRAIN

△ CHARBON ALGERIEN





-54-



-55-

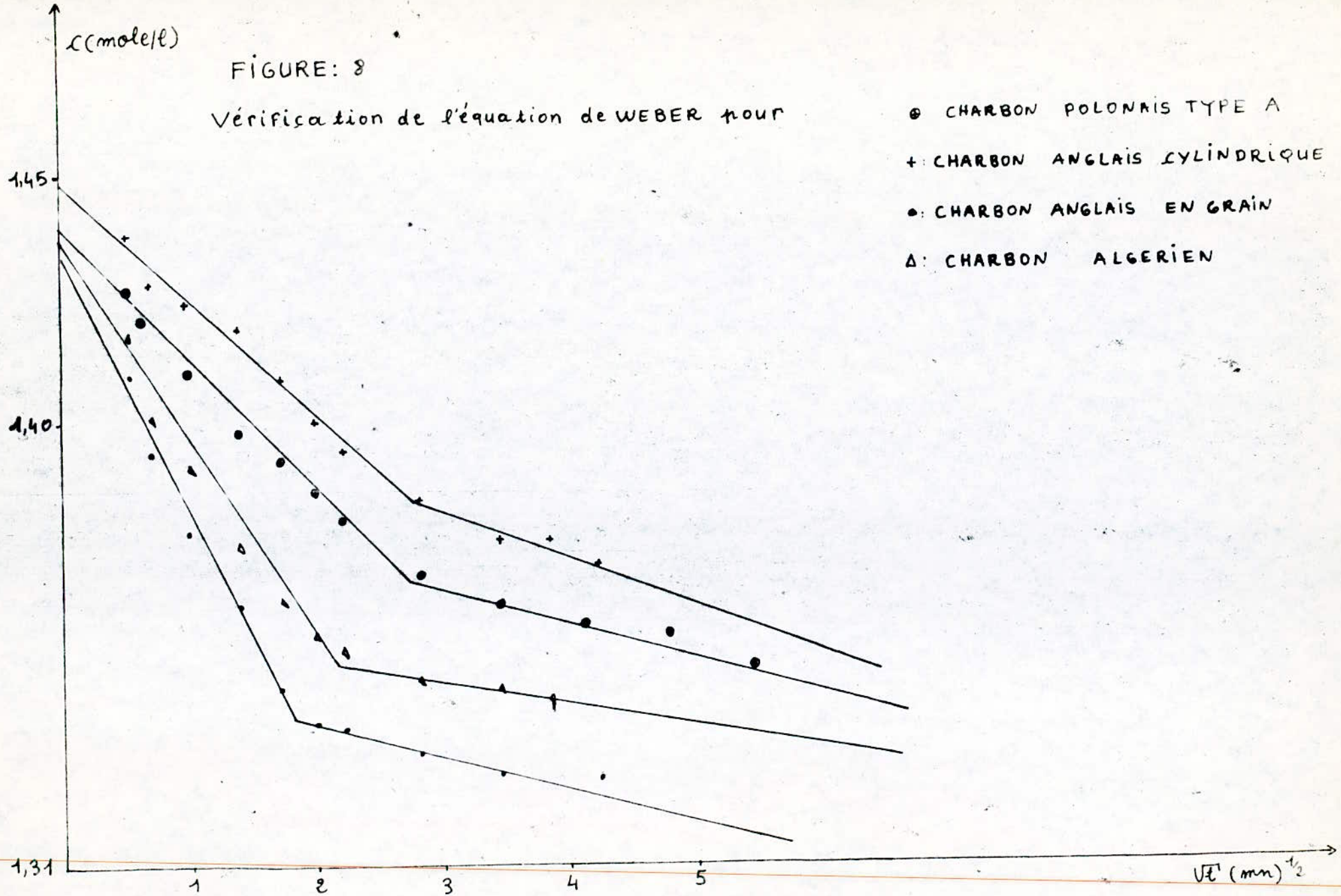


FIGURE: 9

- 56 -

CINETIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

température : 30°C

630 μ m < d < 800 μ m

- ⊙ N = 0 tours/mn
- + N = 270 tours/mn
- N = 350 tours/mn
- Δ N = 430 tours/mn

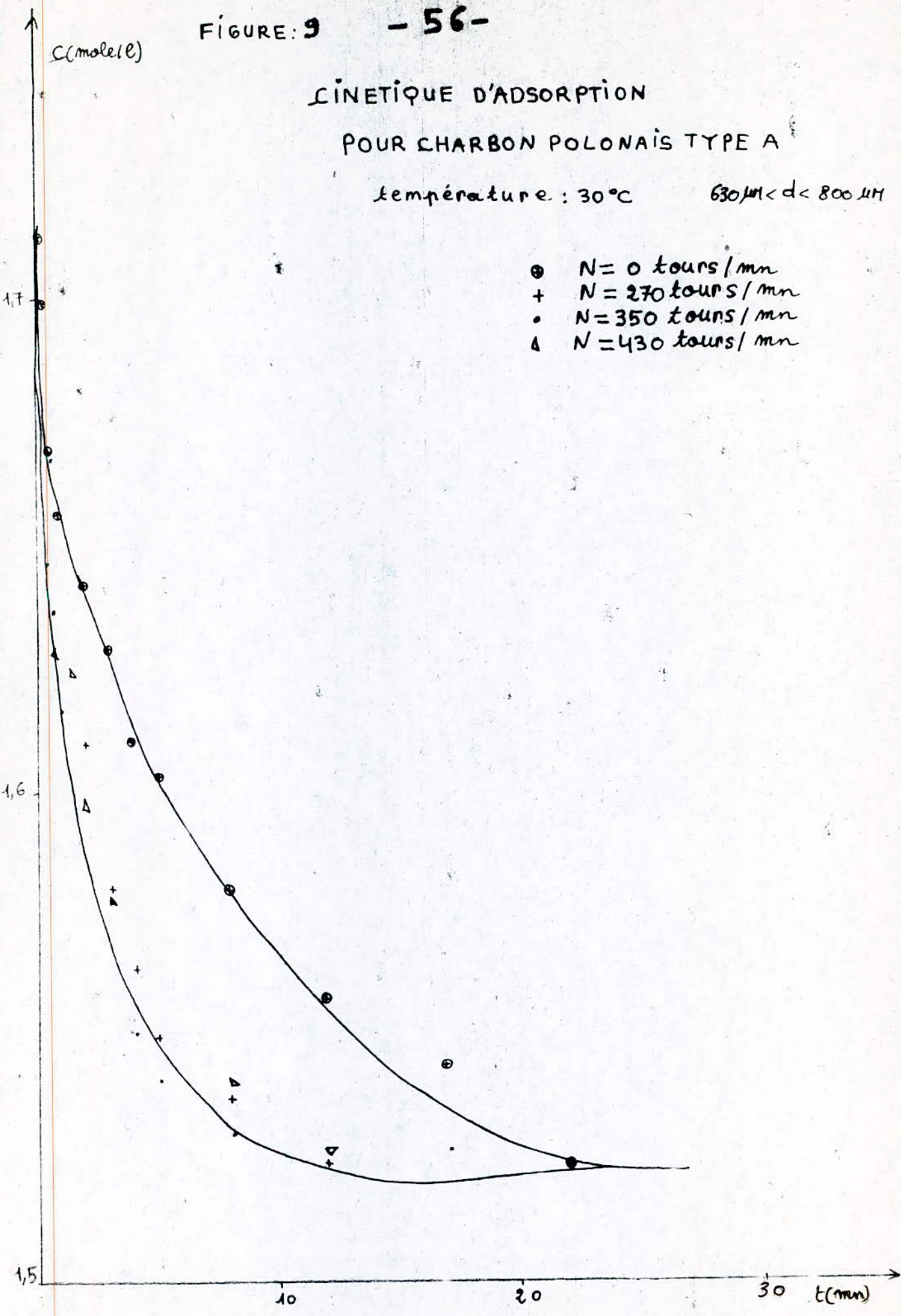


FIGURE: 10

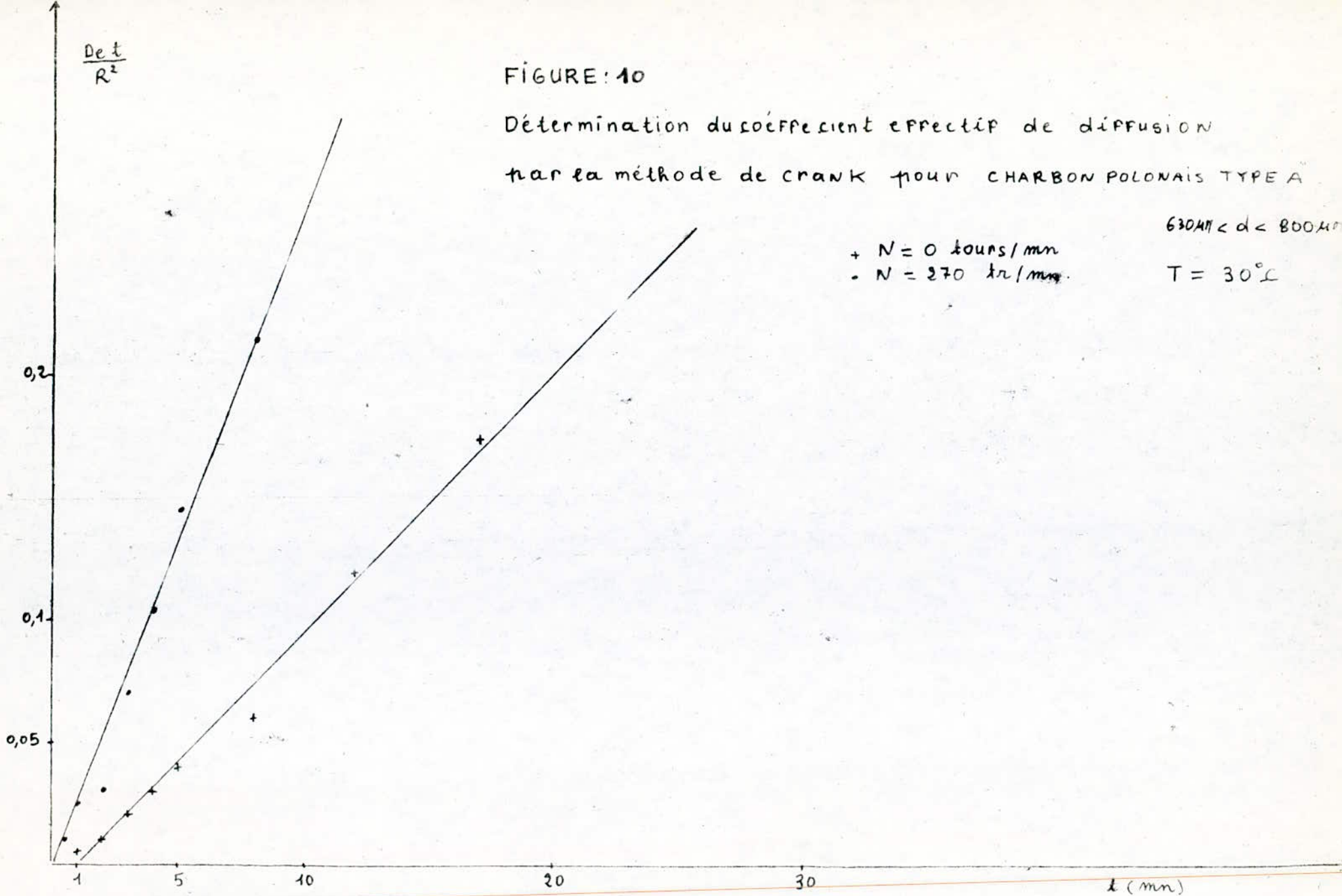
Détermination du coefficient effectif de diffusion
par la méthode de CRANK pour CHARBON POLONAIS TYPE A

$630 \mu\text{m} < d < 800 \mu\text{m}$

+ $N = 0$ tours/min

- $N = 270$ tr/min

$T = 30^\circ\text{C}$



-58-

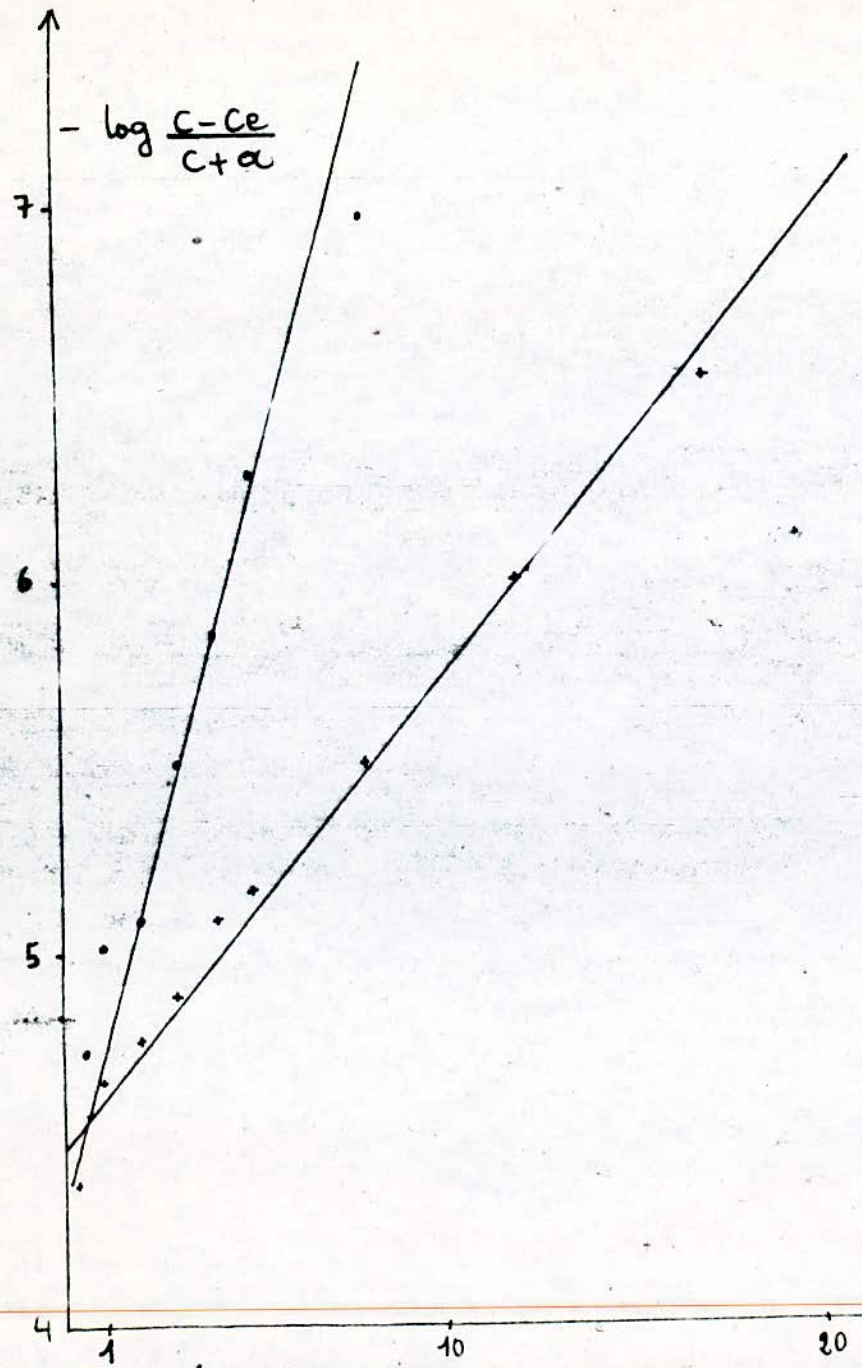


FIGURE: 11

Détermination des constantes de vitesse

pour CHARBON POLONAIS TYPE A

$630\mu < d < 800\mu$

+ N = 0 tours/min.

T = 30°C

• N = 270 tours/min

t (min)

- 59 -

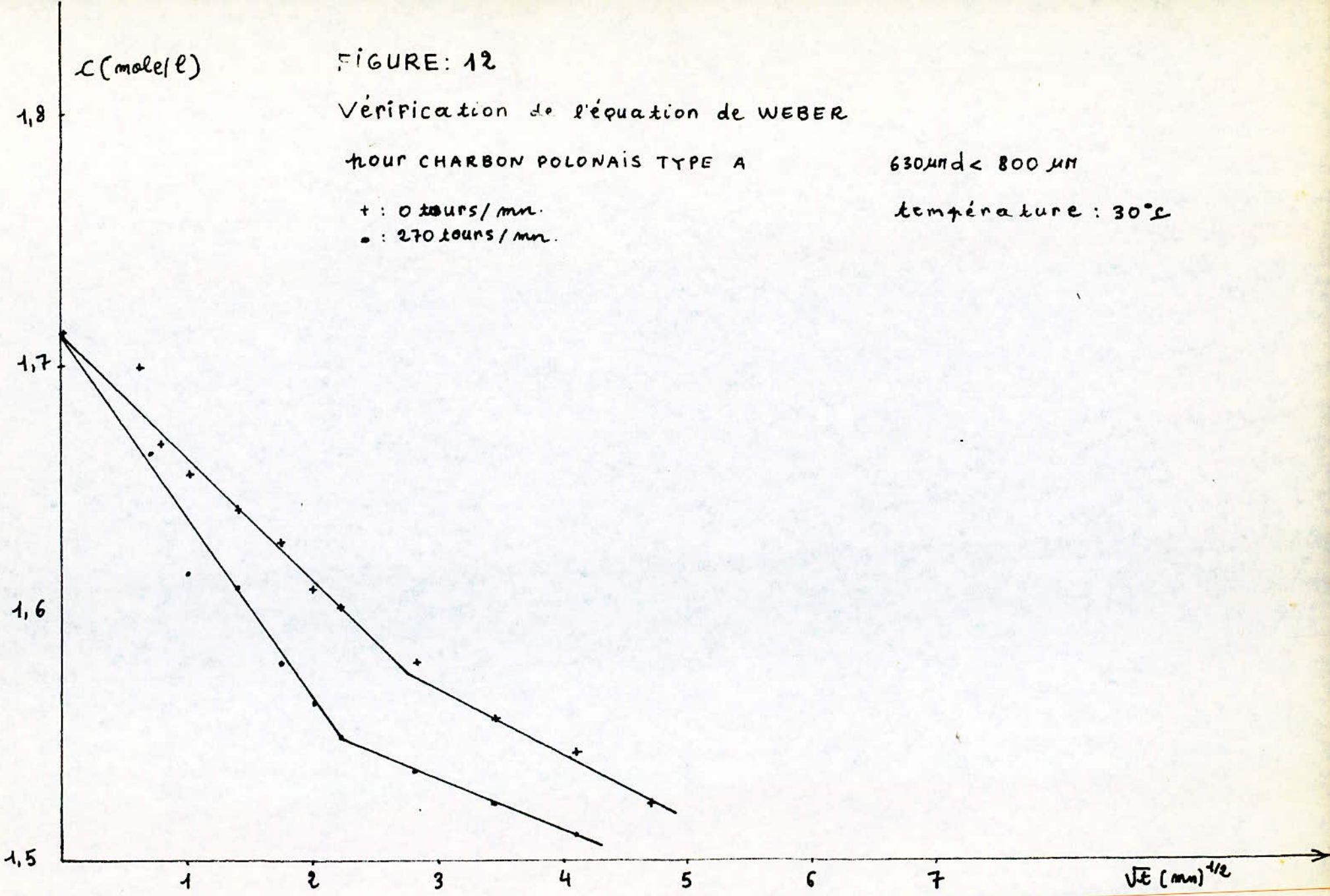


FIGURE: 12

Vérification de l'équation de WEBER

TOUR CHARBON POLONAIS TYPE A

630 μ m < 800 μ m

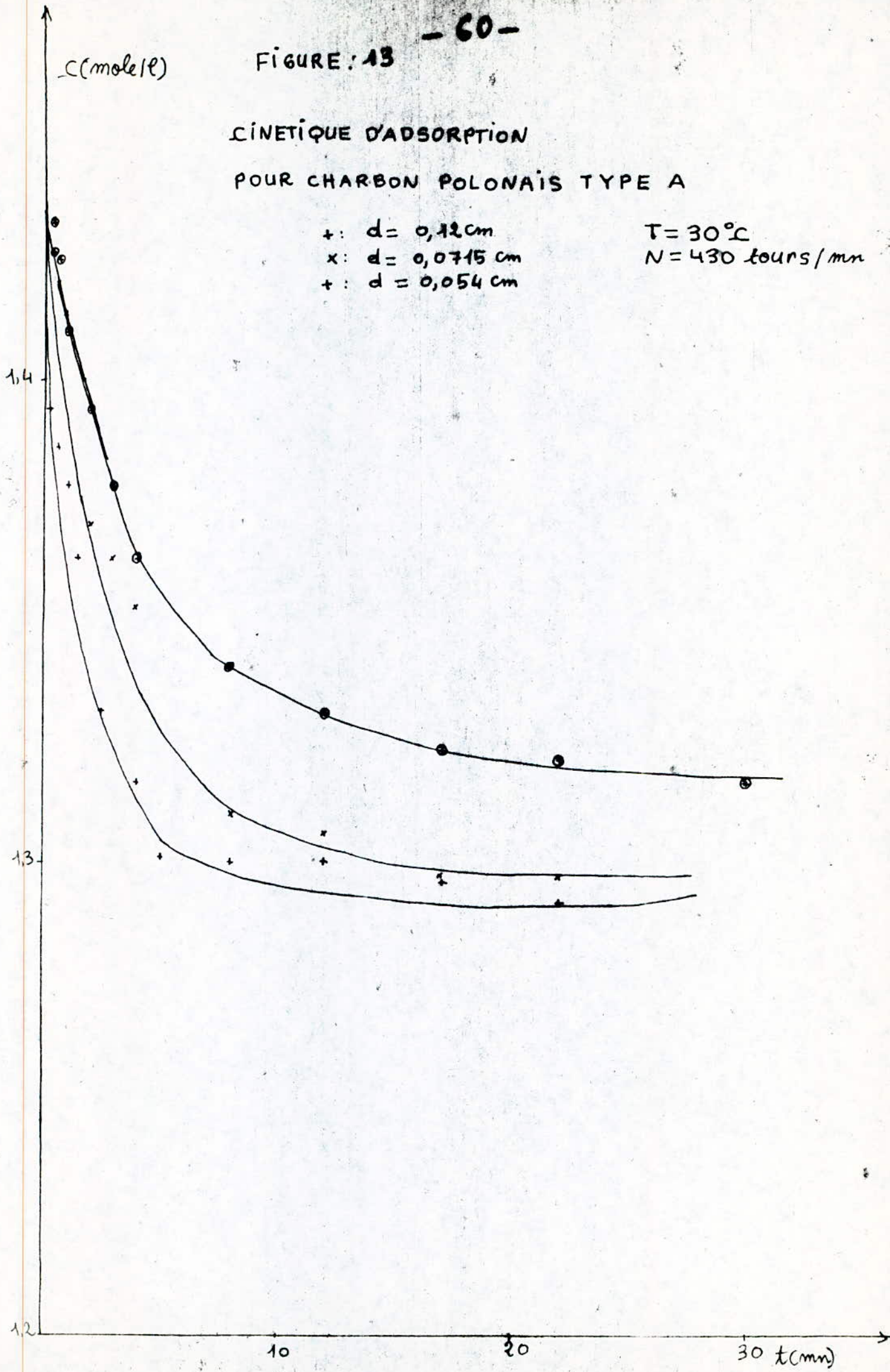
température : 30°C

FIGURE: 13

CINETIQUE D'ADSORPTION
POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

- + : $d = 0,12 \text{ cm}$
- x : $d = 0,0715 \text{ cm}$
- + : $d = 0,054 \text{ cm}$

$T = 30^\circ \text{C}$
 $N = 430 \text{ tours/mn}$



$\frac{Det}{R^2}$

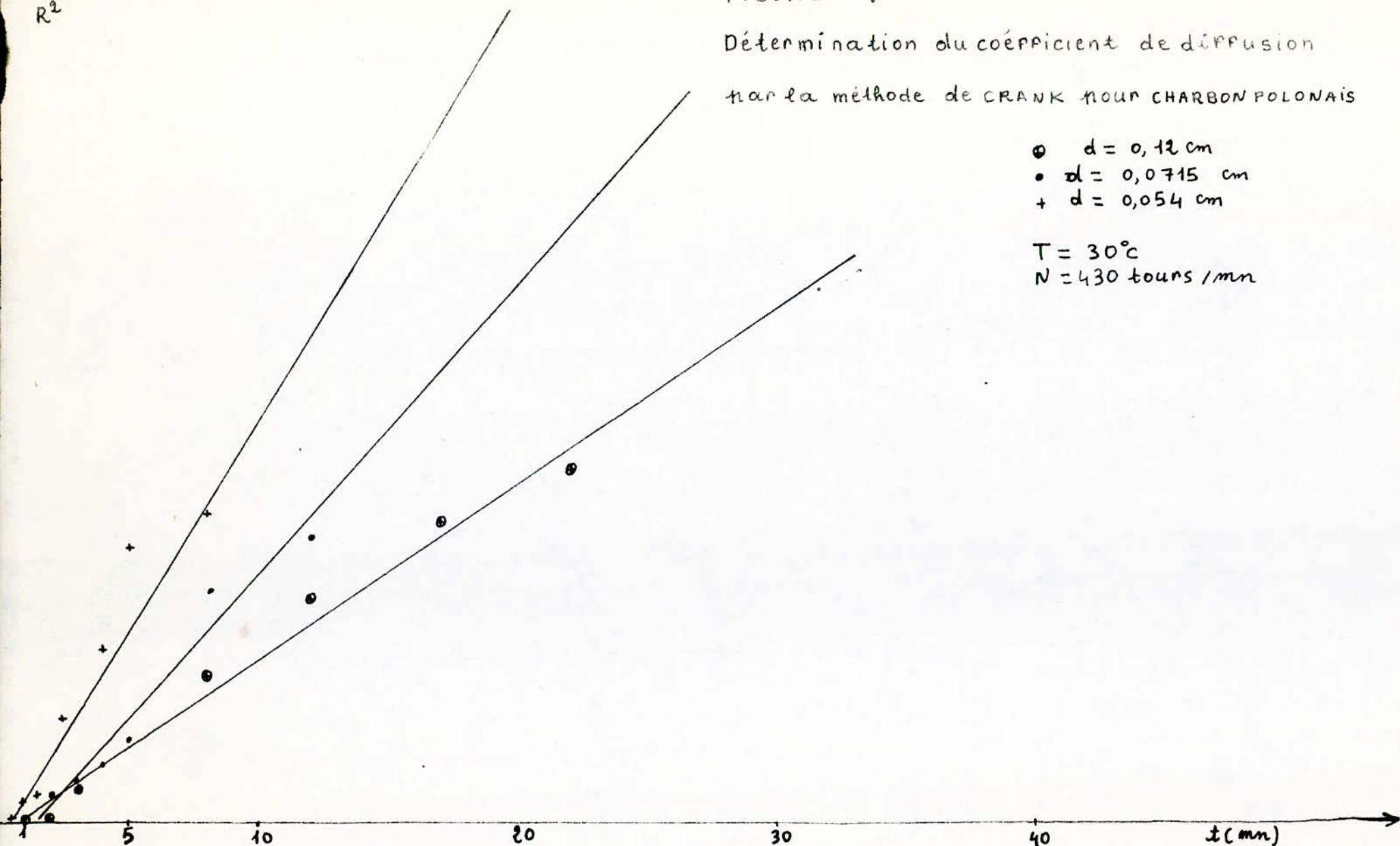
FIGURE: 14

Détermination du coefficient de diffusion

par la méthode de CRANK pour CHARBON POLONAIS

- $d = 0,12$ cm
- $d = 0,0715$ cm
- + $d = 0,054$ cm

$T = 30^\circ\text{C}$
 $N = 430$ tours / mn



- 62 -

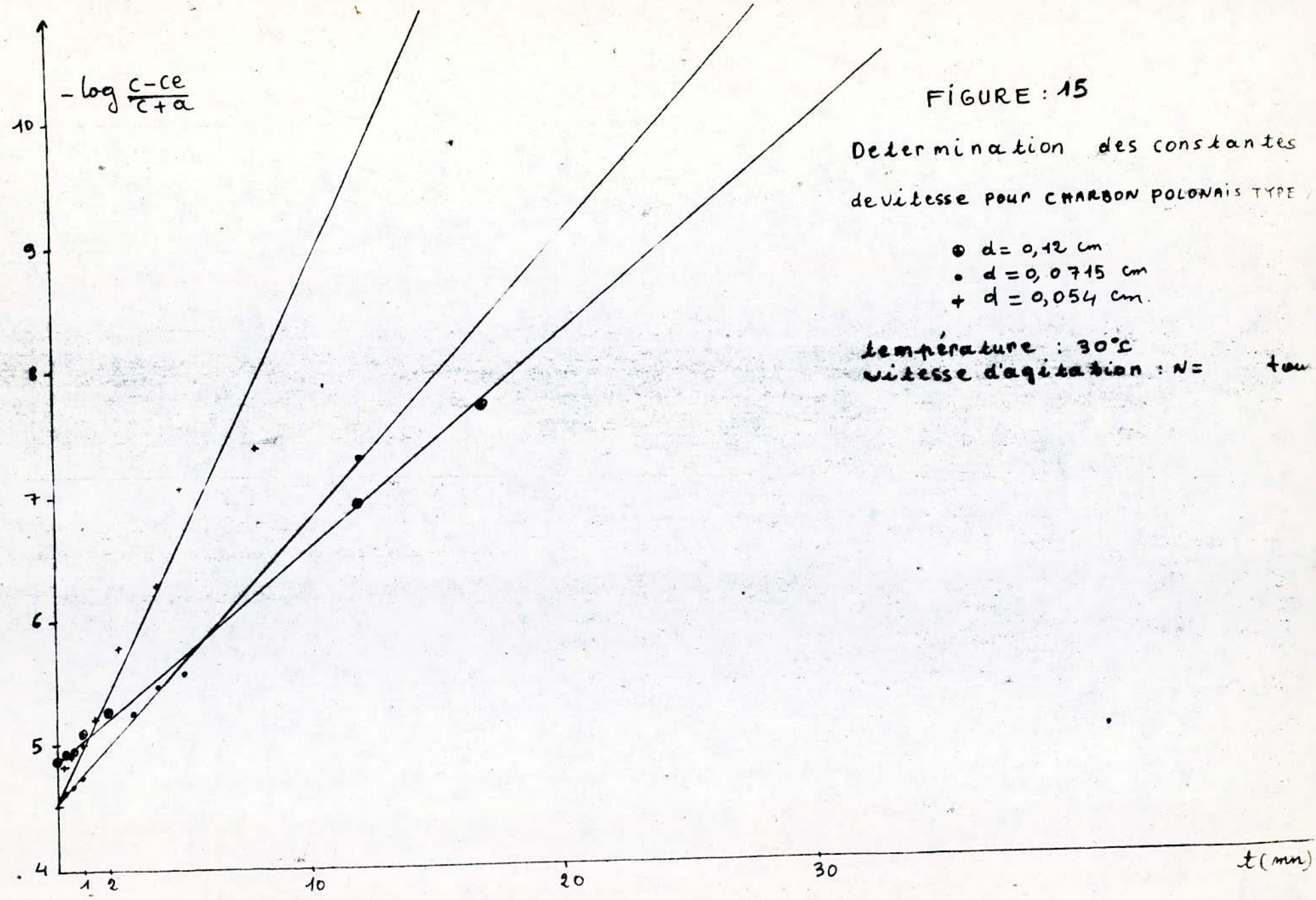


FIGURE: 16

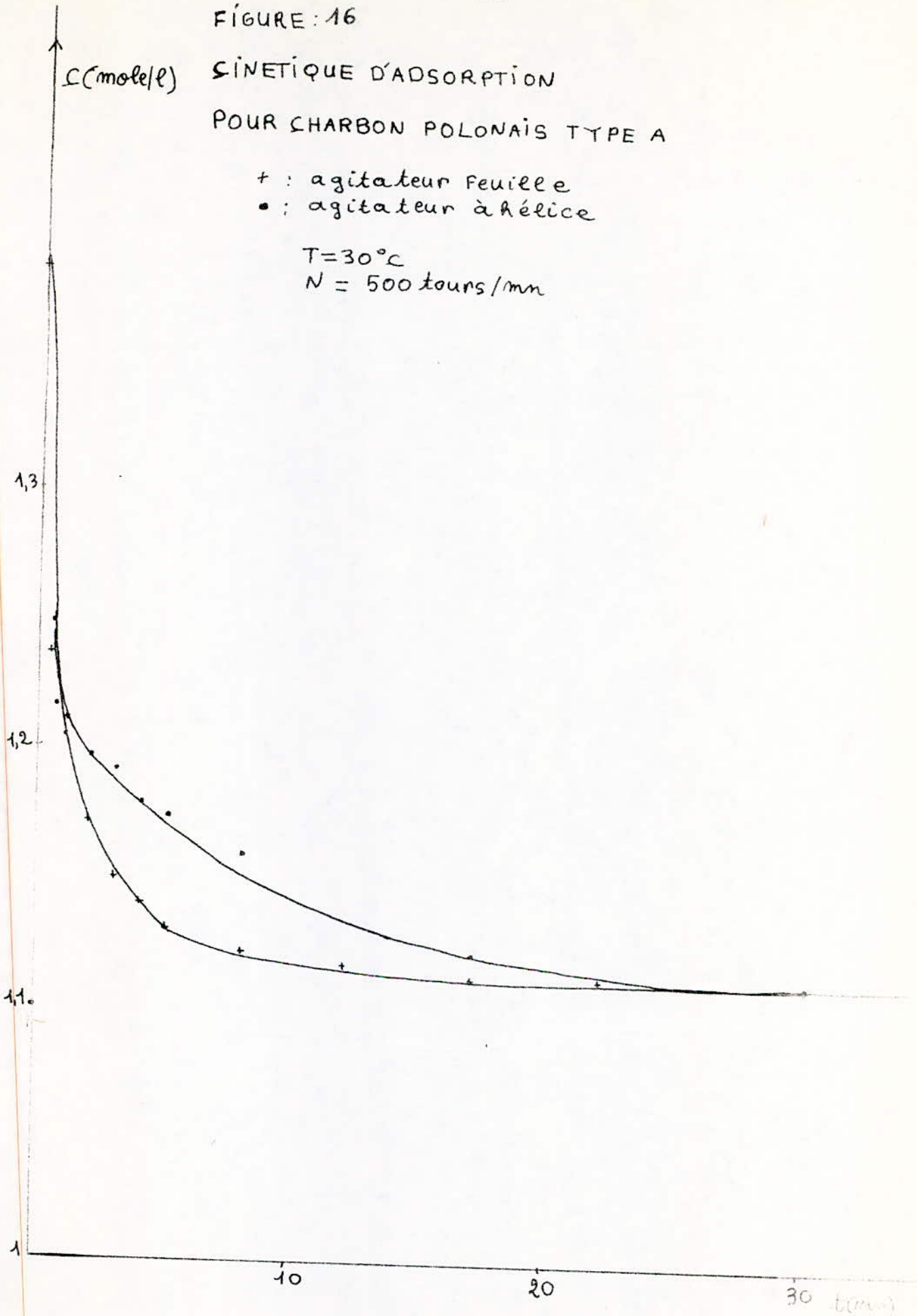
CINETIQUE D'ADSORPTION

POUR CHARBON POLONAIS TYPE A

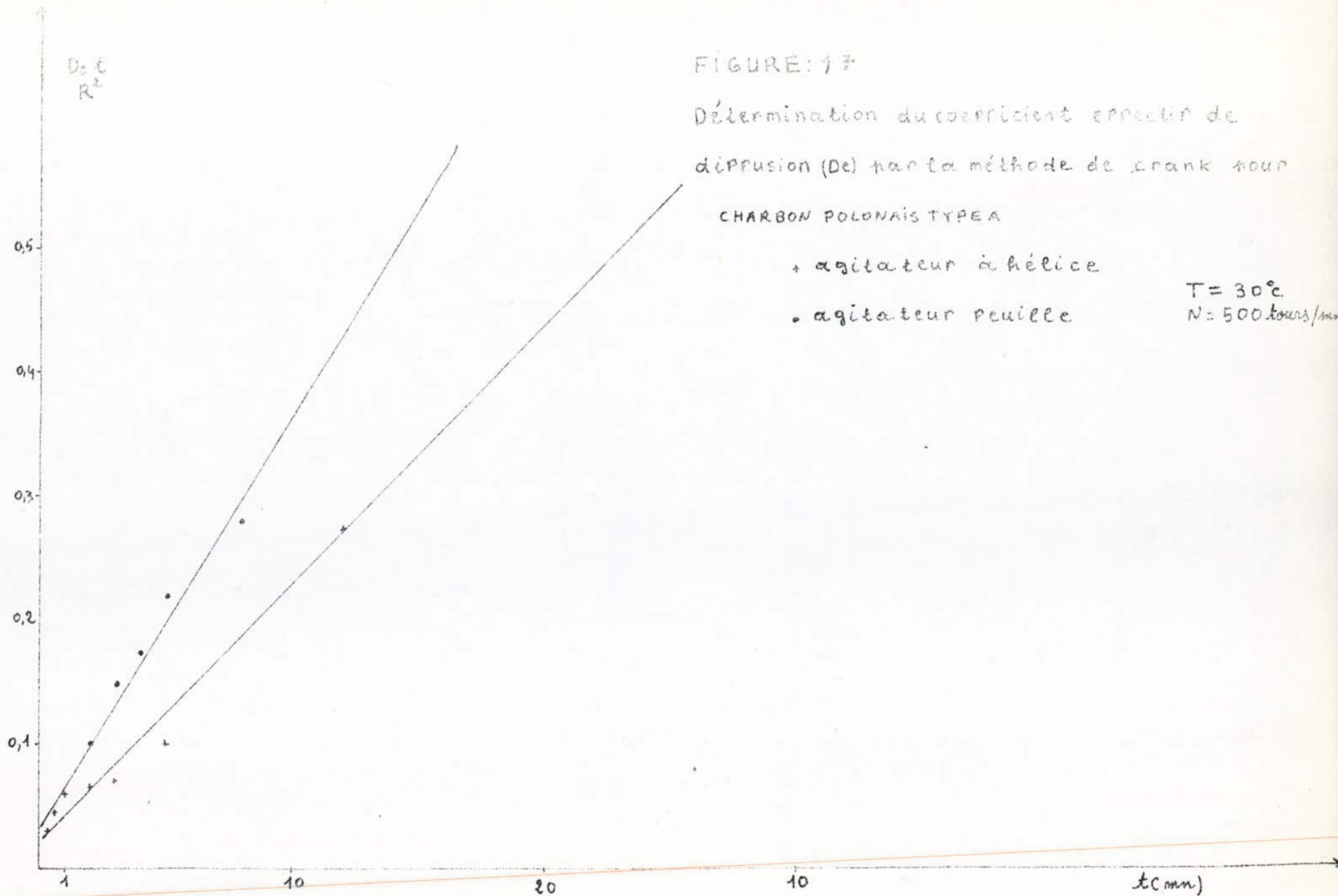
- + : agitateur feuille
- : agitateur à hélice

$T = 30^{\circ}\text{C}$

$N = 500 \text{ tours/min}$



-64-



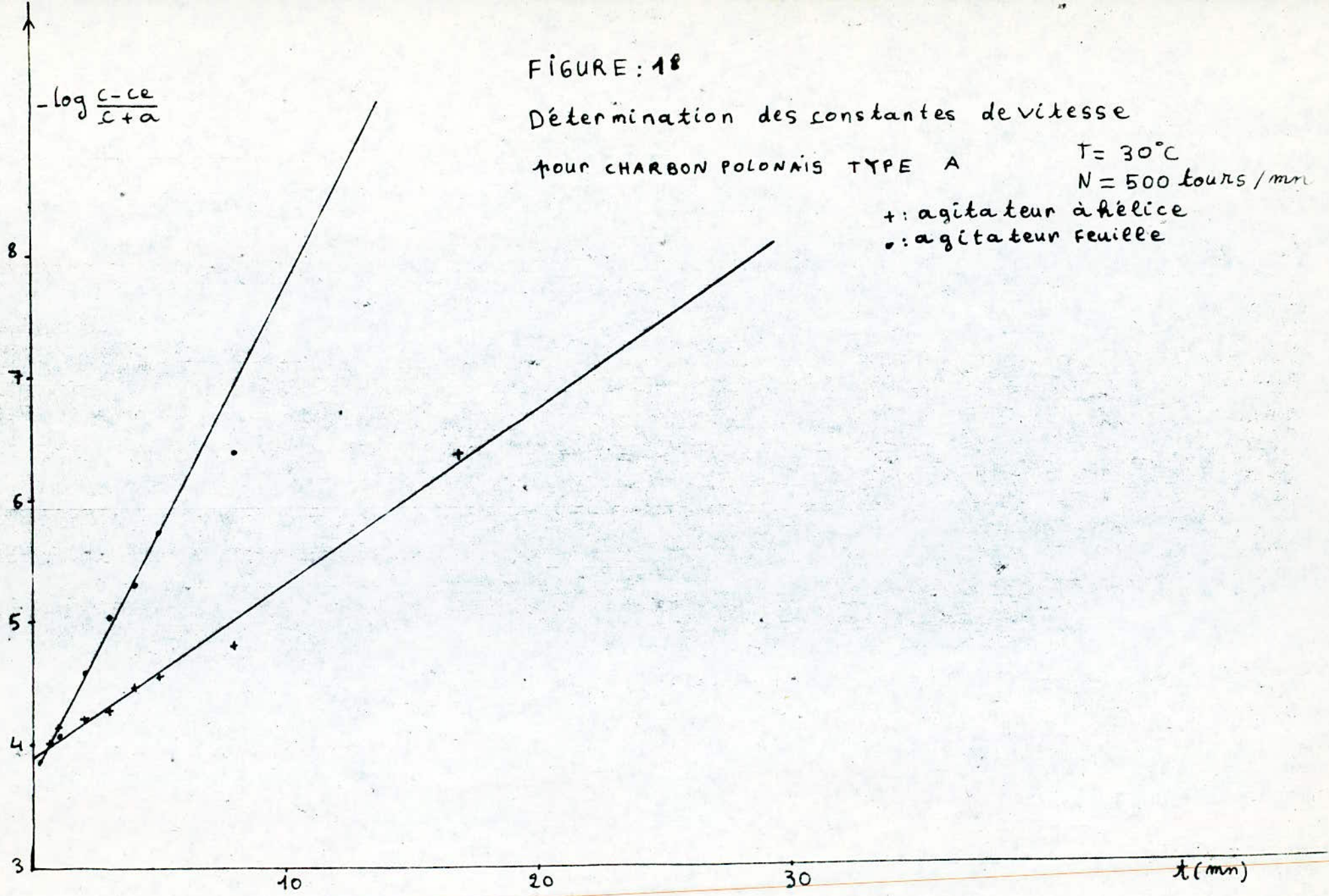


FIGURE: 18

Détermination des constantes de vitesse

pour CHARBON POLONAIS TYPE A

T = 30°C

N = 500 tours/min

FIGURE: 19

Vérification de l'équation de WEBER

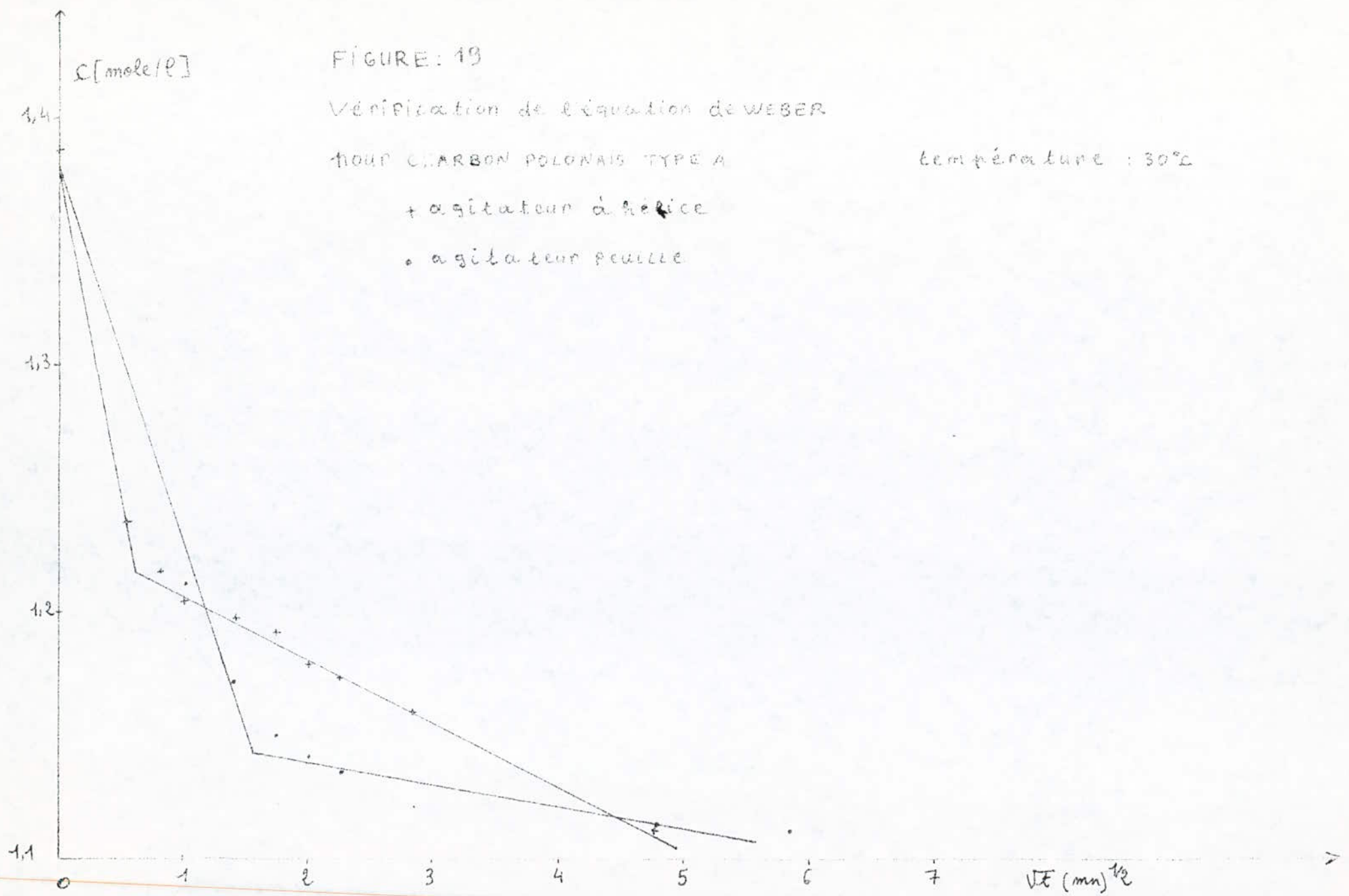
POUR LE CARBON POLONAIS TYPE A

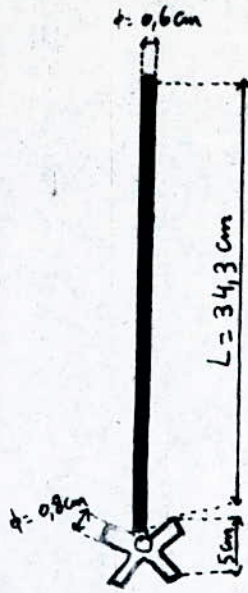
Température : 30°C

+ agitateur à hélice

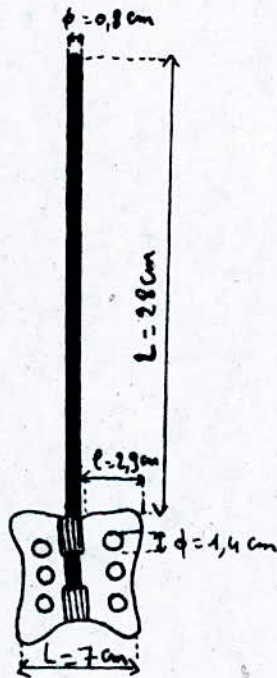
• agitateur feuille

- 66 -





AGITATEUR A HELICE



AGITATEUR FEUILLE

On considère quelques valeurs de t donc de K , et pour faire le calcul de D_e , on fera la moyenne des valeurs trouvées. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

T A B L E A U (15)

Méthode de	TIMOFEEV	CRANK	KORTA
$D_e (cm^2/s) 10^6$	6,11	0,982	1,663

$$D_e = 1,322 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

b) CHARBON ANGLAIS CYLINDRIQUE

Dimensions : $d = 0,133 \text{ cm}$

$L = 0,259 \text{ cm}$

$d_e = 0,163 \text{ cm}$

- Le rapport $L/R = 4$, donc dans la méthode de TIMOFEEV nous prenons $K = 0,45$, $t_{0,5} = 120 \text{ s}$ figure : 5

- Dans la méthode de KORTA, on tire les valeur de K_A du tableau 4 on admettant que $L/R = 4$

- Pour la méthode de CRANK, nous avons comme diamètre équivalent $d_e = 0,163$ et nous tirons de la figure 6 $\frac{D_e}{R^2} = 2,17 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ les calculs donnent

T A B L E A U : 16

Méthode de	TIMOFEEV	CRANK	KORTA
$D_e (cm^2/s) 10^6$	5,28	0,9596	1,497

$$D_e = 1,228 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

c) CHARBON ANGLAIS EN GRAIN

Nous assimilons les grains à une sphère de diamètre $d = 0,146 \text{ cm}$

- pour la méthode de TIMOFEEV, Nous utiliserons la formule suivante :

$$D_e = 0,368 \frac{R^2}{t_{0,5}}, \quad t_{0,5} = 24 \text{ s figure : 5}$$

- Pour la méthode de CRANK, la figure 6 donne $\frac{D_e}{R^2} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

- Pour la méthode de KORTA le tableau 4 donne les valeurs de K_B

T A B L E A U : 17

Méthode de	TIMOFEEV	CRANK	KORTA
$D_e (cm^2/s) 10^6$	6,936	4,439	4,711

$$D_e = 4,575 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

d) CHARBON ALGERIEN

Les grains ont les dimensions suivantes : $d = 908 \text{ cm}$

$$l = 0,0848 \text{ cm}$$

- Pour les méthodes de TIMOFEEV $t_{0,5} = 30 \text{ s}$ (figure 5)

- Pour la méthode de CRANK, la figure 6 donne $\frac{De}{R^2} = 7,204 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

- Pour la méthode de KORTA le tableau 4 donne les valeurs de K_s , $l/R = 2,12$ d'où $K_s = 0,384$

T A B L E A U : 18

Méthode de	TIMOFEEV	CRANK	KORTA
$De (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$	6,522	1,153	2,057

$De = 1,605 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$

TABLEAU COMPARATIF 19

Charbons	Polonai type A	Anglais Cylindrique	Anglais en grain	Algérien
$De (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$	1,322	1,228	4,575	1,605

III-4-3-1-2- INFLUENCE DE LA VITESSE D'AGITATION

L'étude de l'influence de la vitesse d'agitation a été faite sur la fraction (Crank) de 20,0 soit $d = 0,0715 \text{ cm}$ la méthode de TIMOFEEV a donné

Pour $N = 0 \text{ trs/mn}$ $t_{0,5} = 216 \text{ s}$

$N = 270 \text{ trs / mn}$ $t_{0,5} = 48 \text{ s}$ Voir figure : 9

Méthode de CRANK

$$N = 0 \text{ trs / mn} \quad \frac{De}{R^2} = 1,909 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$N = 270 \text{ trs / mn} \quad \frac{De}{R^2} = 4,4023 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \quad \text{Voir figure 10}$$

Méthode de KORTA

Rayon équivalent $R = 0,4 \text{ mn}$

Diamètre $d = 0,715 \text{ mn}$

Largeur $l = 0,75 \text{ mn}$

Longueur $L = 0,96 \text{ mn}$ $l/R = 2,685$

D'où $K_s = 0,384$

Les calculs ont donnés

T A B L E A U : 20

Vitesse tr/mn	$De (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$ par TIMOFEEV	$De (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$ par CRANK	$De (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$ par KORTA
0 trs/mn	0,723	0,244	0,245
270 trs/mn	3,256	0,565	0,702

En faisant la moyenne

T A B L E A U : 21

Vitesse en trs / mn	0	270
$D_e (cm^2/s) 10^6$	0,2445	0,6335

Pour $N = 350$ trs / mn et $N = 430$ trs / mn , en trouve les mêmes résultats que pour $N = 270$ trs / mn

III-4-3-1-3- INFLUENCE DU DIAMETRE

a) charbon polonais : d = 0,12

Méthode de TIMOFEEV : la figure 13 donne $t_{0,5} = 204$ s , $K = 0,384$

Méthode de CRANK : la figure 14 donne $\frac{D_e}{R^2} = 2,222 \cdot 10^{-4} s^{-1}$

T A B L E A U : 22

Méthodes de	TIMOFEEV	CRANK	CORTA
$D_e (cm^2/s) 10^6$	2,157	0,799	0,828

$$D_e = 0,8013 \cdot 10^{-6} cm^2 / s$$

b) Charbon polonais 630 μm < d < 800 μm

d = 0,0715 cm

Largeur = 0,075 cm

Longueur = 0,096 cm L/R = 2,68 , K = 0,384

- Pour la méthode de TIMOFEEV , la figure 13 donne $t_{0,5} = 120$ s

- Pour la méthode de CRANK , la figure 14 donne $\frac{D_e}{R^2} = 3,788 \cdot 10^{-4} s^{-1}$

T A B L E A U : 23

Méthodes de	TIMOFEEV	CRANK	CORTA
$D_e (cm^2/s) 10^6$	1,302	0,424	0,381

$$D_e = 0,432 \cdot 10^{-6} cm^2 / s$$

c) Charbon polonais 450 μm < d < 630 μm

d = 0,054 cm

Largeur = 0,066 cm

Longueur = 0,096 cm R = 0,02 cm , L/R = 3,55 , K = 0,45

- Pour la méthode de TIMOFEEV la figure 13 donne $t_{0,5} = 20$ s

- Pour la méthode de CRANK la figure 14 donne $\frac{D_e}{R^2} = 5,652 \cdot 10^{-4} s^{-1}$

Les résultats sont donnés par le tableau suivant .

T A B L E A U : 24

T A B L E A U : 24

Méthode de	TIMOFEEV	CRANK	KORTA
$De (cm^2/s) 10^6$	1,741	0,412	0,495

$$De = 0,453 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

T A B L E A U C O M P A R A T I F : 25

DIAMÈTRE en (cm)	La valeur de $De (cm^2/s) 10^6$ par			
	TIMOFEEV	CRANK	KORTA	DE moyen
0,12	2,158	0,799	0,822	0,813
0,075	1,302	0,424	0,381	0,432
0,054	1,741	0,412	0,495	0,453

INTERPRETATION

On remarque que le fractionnement du charbon actif n'a pas beaucoup d'influence sur le coefficient de diffusion par celui-ci est resté presque constant . Ceci s'explique par le fait que la détermination du coefficient de diffusion est très difficile à calculer car il correspond au transfert total des molécules .

III-4-3-1-4- INFLUENCE DU TYPE D'AGITATEUR

Pour faire cette étude , nous avons travaillé avec deux types d'agitateur : Un agitateur à hélice et un agitateur feuille troué représentés par la figure 20 . Toutes les conditions opératoires sont les mêmes à savoir $T = 30^\circ C$, $N = 500 \text{ trs} / \text{mn}$
 Nous avons travaillé avec le charbon polonais type A : $d = 0,12 \text{ cm}$
 $V = 250 \text{ ml}$ et $m = 2 \text{ g}$.

- METHODE DE TIMOFEEV

$$L/R = 3 , K = 0,384 , De = \frac{KR^2}{\pi t_{0,5}}$$

AGITATEUR A HELICE

La figure 16 donne $t_{0,5} = 24 \text{ s}$

AGITATEUR FEUILLE

La figure 16 donne $t_{0,5} = 24 \text{ s}$

T A B L E A U : 26

Agitateur	à hélice	feuille
$De (cm^2/s) 10^6$	18,34	18,34

INTERPRETATION

On remarque que le coefficient effectif de diffusion est le même pour les deux types d'agitateur . Ceci s'explique par le fait que dans la méthode de TIMOFEEV , On a utilisé $t_{0,5}$ qui est très court . En effet au début de l'expérience le processus d'adsorption est très rapide , ceci est confirmé par la figure 16 .

METHODE DE CRANK

Agitateur à hélice

La figure 17 donne $\frac{D_e}{R^2} = 3,452 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

Agitateur feuille

La figure 17 donne $\frac{D_e}{R^2} = 5,50 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

T A B L E A U : 27

Agitateur	à hélice	Feuille
$D_e (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$	1,243	1,980

METHODE DE CORTA

Pour cette méthode , on a utilisé le tableau 4

T A B L E A U : 28

Agitateur	à hélice	Feuille
$D_e (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$	1,243	3,170

TABEAU COMPARATIF : 29

AGITATEUR	$D_e (\text{cm}^2/\text{s}) \cdot 10^6$ calculé par			
	TIMOFEEV	CRANK	KORTA	DE SIOGEM
à hélice	18,34	1,243	1,611	1,442
feuille	18,34	1,98	3,170	2,572

D'après le calcul du coefficient effectif de diffusion , le meilleur agitateur est l'agitateur feuille .

III-4-3-2- CALCUL DES CONSTANTES DE VITESSE

III-4-3-2-1- INFLUENCE DU TYPE D'ADSORBANT

a) Charbon polonais type A :

l'isotherme de LANGMUIR a donnée : $m_0 = 0,238 \text{ g/g}$, $C_0 = 1,468 \text{ mole/l}$,
 $C_e = 1,351 \text{ mole /l}$, $a = 14,956 \text{ mole /l}$, $\bar{C}_m = 1,309 \text{ mole /l}$.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

T A B L E A U : 30

$K (P^2/g \text{ mole } mm) 10^5$	2,751
$K' (P/g \text{ mm}) 10^5$	37,864

b) Charbon anglais cylindrique :

L'isotherme de LANGMUIR a donné : $m_0 = 0,209 \text{ g/g}$, $C_m = 1,319 \text{ mole /l}$,
 $C_0 = 1,468 \text{ mole /l}$, $C_e = 1,361 \text{ mole /l}$ et $a = 16,628 \text{ mole /l}$.

T A B L E A U : 31

$K (P^2/g \text{ mole } mm) 10^5$	2,398
$K' (P/g \text{ mm}) 10^5$	36,968

c) Charbon anglais en grain :

L'isotherme de LANGMUIR a donné : $m_0 = 0,235 \text{ g/g}$, $C_m = 1,312 \text{ mole /l}$,
 $C_0 = 1,468 \text{ mole /l}$, $C_e = 1,328 \text{ mole /l}$, $a = 12,289 \text{ mole /l}$

T A B L E A U : 32

$K (P^2/g \text{ mole } mm) 10^3$	6,646
$K' (P/g \text{ mm}) 10^5$	73,885

d) Charbon algérien :

L'isotherme de LANGMUIR a donné : $m_0 = 0,45 \text{ g/g}$, $C_m = 1,168 \text{ mole /l}$,
 $C_0 = 1,468 \text{ mole /l}$, $C_e = 1,344 \text{ mole /l}$, $a = 12,359 \text{ mole /l}$

T A B L E A U : 33

$K (P^2/g \text{ mole } mm) 10^5$	5,905
$K' (P/g \text{ mm}) 10^5$	60,945

TABLEAU COMPARATIF : 34

charbons	polonais type A	anglais cylindrique	anglais en grain	Algérien
$K (P^2/g \text{ mole } mm) 10^5$	2,751	2,398	6,646	5,905
$K' (P/g \text{ mm}) 10^5$	37,864	36,968	73,885	60,945

III-4-3-2-2- INFLUENCE DE LA VITESSE D'AGITATION

a) Vitesse d'agitation $N = 0 \text{ trs /mm}$

L'isotherme de LANGMUIR a donné : $m_0 = 0,238 \text{ g/g}$, $C_m = 1,554 \text{ mole /l}$,
 $C_0 = 1,713 \text{ mole /l}$, $C_e = 1,52 \text{ mole /l}$ et $a = 12,372 \text{ mole /l}$.

La figure 11 donne $K \frac{(C_e + a)}{V} m = 0,1266$

b) Vitesse d'agitation $N = 270 \text{ trs /mm}$:

$M_0 = 0,238 \text{ g/g}$, $C_m = 1,554 \text{ mole /l}$, $C_e = 1,524 \text{ mole /l}$, $C_0 = 1,713 \text{ mole /l}$,
 $a = 12,372 \text{ mole /l}$.

La figure 11 donne la pente $K \frac{(C_e + a)}{m} = 0,3736$

T A B L E A U : 35

N (trs/mm)	0	270
K ($l^2/g \text{ mole mm}$) 10^3	2,277	6,721
K' ($l/g \text{ mm}$) 10^2	2,506	7,557

Pour $N = 350$ trs/mm et $N = 430$ trs/mm, on trouve les mêmes résultats que pour $N = 270$ trs/mm.

III-4-3-2-3- INFLUENCE DU DIAMETRE

a) Charbon polonais : $d = 0,12$ cm :

$M_0 = 0,238$ g/g, $C_{N_0} = 1,274$ mole / l, $C_0 = 1,433$ mole/l, $C_e = 1,316$ mole/l
 $a = 14,176$ mole / l

La figure 15 donne la pente $K(C_e + a) / v = 0,17$

v

T A B L E A U : 36

K ($l^2/g \text{ mole mm}$) 10^3	1,377
K' ($l/g \text{ mm}$) 10^2	1,785

b) Charbon polonais $d = 0,0715$ cm :

$C_{N_0} = 1,274$ mole / l, $C_0 = 1,433$ mole / l, $C_e = 1,297$ mole / l
 $a = 11,995$ mole / l

La figure 15 donne la pente $K(C_e + a) / v = 0,225$

v

T A B L E A U : 37

K ($l^2/g \text{ mole mm}$) 10^3	2,115
K' ($l/g \text{ mm}$) 10^2	2,295

c) Charbon polonais $d = 0,054$ cm :

$C_{N_0} = 1,274$ mole / l, $C_0 = 1,433$ mole / l, $C_e = 1,292$ mole / l
 $a = 11,519$ mole / l

La figure 15 donne la pente $K(C_e + a) / v = 0,414$

v

T A B L E A U : 38

K ($l^2/g \text{ mole mm}$) 10^3	4,041
K ($l/g \text{ mm}$) 10^2	4,196

T A B L E A U C O M P A R A T I F : 39

Diámetro en cm	0,12	0,0715	0,054
K ($l^2/g \text{ mole mm}$) 10^3	1,377	2,115	4,041
K ($l/g \text{ mm}$) 10^2	1,785	2,295	4,196

INTERPRETATION

Les constantes de vitesse et les diamètres varient dans des sens opposés donc on peut améliorer la cinétique en faisant un fractionnement

car dans ce cas, le transport des molécules d'adsorbant vers la surface externe du solide se fait beaucoup mieux.

III-4-3-2-4- INFLUENCE DU TYPE D'AGITATEUR

a) Agitateur feuille :

$C_0 = 1,386$ mole / l , $C_e = 1,112$ mole / l , $\bar{C}_m = 1,227$ mole / l
 $a = 4,824$ mole / l

La figure 18 donne la pente $K \frac{(C_e + a)}{v} M = 0,3176$

b) Agitateur à hélice :

$C_0 = 1,386$ mole / l , $C_e = 1,112$ mole / l , $\bar{C}_m = 1,227$ mole / l
 $a = 4,824$ mole / l

La figure 18 donne la pente $K \frac{(C_e + a)}{v} m = 0,14$

T A B L E A U : 40

Type d'agitateur	$K' \left(\frac{l^2}{mole \cdot g \cdot mn} \right) 10^5$	$K'' \left(\frac{l^2}{g \cdot mn} \right) 10^2$
agitateur feuille	2,948	6,68
agitateur à hélice	1,141	2,521

Les constantes de vitesse confirment le résultat obtenu avec le coefficient de diffusion. Le meilleur agitateur est l'agitateur feuille

III-4-3-3- VERIFICATION DE L'EQUATION DE WEBER

Cette équation s'écrit : $C_0 - C = Aq\sqrt{C_0} \sqrt{V}$

où A : Constante caractéristique du charbon

q : Quantité d'adsorbant mis en jeu

III-4-3-3-1- VERIFICATION DE L'EQUATION DE WEBER POUR LES DIFFERENTS CHARBONS

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

T A B L E A U : 41

Charbons	potenciais	cinquantes cycles / mn	centaines en grains	ml/génère
$\frac{3}{10A} \left[\frac{mole \cdot l^2}{g \cdot mn^2} \right] A_1$	10,3	9,5	20,6	16,7
A_2	2,2	4	2,7	1,3

III-4-3-3-2- VERIFICATION DE WEBER POUR DIFFERENTES VITESSES

La figure 12 donne :

Pour $N = 0$ trs/mn $\begin{cases} d_1 = 0,0426 \\ d_2 = 0,0244 \end{cases}$
 Pour $N = 270$ trs/mn $\begin{cases} d_1 = 0,0727 \\ d_2 = 0,0209 \end{cases}$

T A B L E A U : 42

Charbons	Vitesse d'agitation en tours / mn	ml/génère	
		0	270
$\frac{3}{10A} \left[\frac{mole \cdot l^2}{g \cdot mn^2} \right] A_1$		18,580	27,77
A_2		9,218	7,9

III-4-3-3- VERIFICATION DE L'EQUATION DE WEBER POUR LES DEUX AGITATEURS

a) Agitateur à hélice :

La figure 19 donne les pentes K_q $C_0 =$

b) Agitateur feuille

La figure 19 donne les pentes

T A B L E A U : 43

Agitateur		à hélice	feuille
A16	$\frac{(\text{mole/l})^{1/2}}{g \text{ min}^{1/2}}$	A ₁	110,42
		A ₂	3,12

INTERPRETATION

a) Influence du type d'adsorbant :

Pour chaque type de charbon actif , en traçant la courbe $C = f(\sqrt{F})$, on obtient des droites figure 8 , cela signifie que la loi de WEBER est vérifiée . Aussi les valeurs A varient selon l'adsorbant ce qui prouve que cette constante caractérise bien l'adsorbant . La constante A diminue car la droite $C = f(\sqrt{F})$ change de pente . Ceci s'explique par le fait qu'on arrive presque à la saturation de l'adsorbant d'où on a changement de transport donc c'est normal que les caractéristiques de l'adsorbant change .

b) Influence de la vitesse d'agitation et du type d'agitateur

L'équation de WEBER est bien vérifiée car la courbe représentative

$C = f(\sqrt{F})$ est bien une droite qui change de pente

Voir figure : 12 , 19

III-4-3-4- CALCUL DU NOMBRE DE REYNOLDS

$$Re = \frac{\rho N d^2}{\mu}$$

Où ρ : masse volumique du fluide (kg/m^3)

d : diamètre d'agitateur (m)

N : Vitesse de rotation (trs / s)

μ : Viscosité absolue (dapo)

a) Agitateur à hélice :

Comme on travaille avec une solution très diluée , on prend la viscosité et la masse volumique de l'eau .

$$d = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m} , \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3 , \mu = 10^{-1} \text{ dapo} , N = 8,333 \text{ trs / s}$$

$$Re = \frac{10^3 \times 8,333 \times 5^2 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 208 \quad Re = 208$$

b) Agitateur feuille

$$d = 7 \cdot 10^{-2} \text{ m}, \rho = 10^3 \text{ kg / m}^3, \mu = 0,1 \text{ dapo}, N = 8,333 \text{ trs / s}$$
$$Re = \frac{10^3 \times 8,333 \times 7^2 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 408 \quad Re = 408$$

INTERPRETATION

Dans les deux cas, on est en régime transitoire qui tend vers le régime turbulent. Le REYNOLDS est plus grand dans le cas d'agitateur feuille grâce au diamètre de ce dernier qui est plus grand et aussi grâce aux six trous qui le constituent. Ceci permet d'avoir une bonne circulation donc une amélioration de l'agitation donc de la cinétique.

III-4-3-4- CONCLUSION SUR LA CINETIQUE

III-4-3-4-1- INFLUENCE DU TYPE DE CHARBON SUR De ET K

On remarque que le coefficient de diffusion De est la constante de vitesse K varient suivant le type de charbon actif, donc du type de matière première de base et aussi du mode d'activation.

III-4-3-4-2- INFLUENCE DE LA VITESSE D'AGITATION SUR De ET K

Au fur et à mesure que la vitesse d'agitation augmente, les courbes $C = f(t)$ figure 9 varient très rapidement. Ce qui est confirmé par le calcul des constantes de vitesse et des coefficients effectifs de diffusion. De là, on déduit que la vitesse d'adsorption est proportionnelle à la vitesse d'agitation. Nous avons augmenté progressivement la vitesse d'agitation jusqu'à ce que la courbe cinétique reste inchangée. La vitesse minimale correspondant à cette situation est $N = 270 \text{ trs / mn}$. A partir de cette vitesse on admet que la diffusion extérieure des molécules disparaît. Alors le coefficient calculé De correspond au transfert total des molécules dans les granules. $N = 270 \text{ trs / mn}$ correspond au charbon polonais type A fractionné ($\bar{d} = 0,0715 \text{ cm}$) et pour le charbon polonais type A ($d = 0,12 \text{ cm}$), cette vitesse minimale est de $N = 425 \text{ trs / mn}$ (17).

On voit que le fractionnement a beaucoup amélioré la cinétique d'adsorption car on atteint beaucoup plus vite la diffusion totale.

III-4-3-4-3- INFLUENCE DU DIAMETRE SUR De ET K

Le calcul des coefficients de diffusion n'est pas suffisant pour conclure mais celui des constantes de vitesse nous montre que la cinétique s'améliore en fractionnant l'échantillon. Donc pour le processus d'adsorption, il faut choisir l'adsorbant ayant le plus faible diamètre.

III-4-3-4-4- INFLUENCE DU TYPE D'AGITATEUR SUR De ET K

Cette étude d'influence du type d'agitateur sur la cinétique d'adsorption a été très intéressante car elle nous a permis non seulement d'améliorer la cinétique mais aussi d'apporter une conclusion très importante à savoir l'amélioration de l'agitateur lui-même. C'est l'amélioration de l'agitateur fait en le trouant.

↑
Fait en

IV- CONCLUSION GENERALE :

1°) EQUILIBRE D'ADSORPTION

On a reçu le charbon dit : " charbon algérien à la base du bois des eucalyptus , on a eu son isotherme d'équilibre figure 4 ainsi que l'équation de LANGMUIR et FRENDLICH figure 2,3 . La capacité maximale d'adsorption calculée est de $W_0 = 0,45 \text{ g/g}$.

2°) CINETIQUE D'ADSORPTION

Cette étude a été faite sur quatre charbons différents qui sont : Le charbon polonais type A , Le charbon anglais en grain , le charbon anglais cylindrique et le charbon algérien . Pour tous ces charbons actifs , on a calculé les coefficients effectifs de diffusion qui sont d'ordre $1,322 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$, la plus grande valeur $D_e = 4,575 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{s}$ est pour le charbon anglais en grain . Le même résultat est pour la constante de vitesse , elle est d'ordre $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ l}^2 / \text{g mole mn}$, la plus grande valeur $K = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ l} / \text{g mole mn}$ est pour le charbon anglais en grain . A la base de comparaison de ces quatre charbons actifs , on a trouvé que le charbon anglais en grain est le plus effectif , le moins effectif est le charbon anglais cylindrique . Ceci pourrait s'expliquer par une étude plus approfondie des propriétés physicochimiques des charbons actifs . Aussi , les résultats ont montré que la vitesse d'adsorption est proportionnelle à la vitesse d'agitation . La vitesse minimale correspondant au transfert total de molécule pour un charbon fractionné est de $N = 270 \text{ trs} / \text{mn}$. Comme on a trouvé à la base d'expérience que la constante de vitesse et le coefficient effectif de diffusion augmentent quand le diamètre diminue . La comparaison de deux agitateurs Un agitateur à hélice et un agitateur feuille montre que dans le cas d'agitateur feuille , la vitesse calculée est de $2,948 \cdot 10^{-3} \text{ l}^2 / \text{g mole mn}$, elle est plus grande que celle calculée avec l'agitateur à hélice qui

est $K = 1,140 \cdot 10^{-3} \text{ l}^2 / \text{g mole mn}$. Ceci s'explique par la valeur du nombre de REYNOLDS , elle est de $Re = 408$ pour l'agitateur feuille et $Re = 208$ pour l'agitateur à hélice .

3°) PROPOSITIONS POUR L'AVENIR

Ces résultats nous permettent de tirer une bonne conclusion à savoir l'amélioration de l'agitateur feuille grace aux trous qui le constituent et aussi l'amélioration de la cinétique grace à celui-ci . Dans l'industrie , l'agitateur feuille est moins classique , nous proposons à ce que d'autres études soient faites sur cet agitateur troué et qu'on lui donne beaucoup plus d'importance .

Dans l'industrie , on trouve divers types d'adsorbats , nous proposons à ce qu'on fasse le même projet de fin d'étude en prenant par exemple du phénol à la place de l'acide acétique et contrôler la cinétique d'adsorption .

-0- B I B L I O G R A P H I E -0-

- 1) A. KORTA : chimia stosovana 5,445 (1968)
- 2) A. TYCZKOWSKI : inzyniera chemiczna
II , 3 505 (1972)
- 3) S.E. CHITOUR : chimie des surfaces , introduction à la catalyse
2eme édition avec complément E.N.P.A. (1981)
- 4) G. PANNETIER et P. SOUCHAY : chimie générale , cinétique . chimique
MASSON et CIE , éditeur, (1964)
- 5) P. WUITHEER : Raffinage et génie chimique , tome I
édition technip , 2eme édition (1972)
- 6) J.B. DONNET : " bulletin de la société chimique de france "
adhésion physicochimique des surfaces solides oct. (1969)
- 7) R.E. TREYBAL : mass transfer opération ,
Chapitre I , édition Mc GRAWHILL , 2eme édition .
- 8) JHORAK et JPASEK : conception des réacteurs chimiques industrielles .
- 9) R. PAPIN : Technique de l'ingénieur
J. 2730 - 2732 - 2734
- 10) TIMOFEEV : KINETIKA ADSORPCII
I.Z.D. A SSR (1962)
- 11) J. CRANK : The mathematics of diffusion
oxford university press (1956)
- 12) MASSON - PIERRE - BRUN : Catalyse et catalyseurs en
chimie organique 541 - 128 - BRU .
- 13) M.R. PAPIN INGEPCI : information chimie n° 128 mars 1973 - 1983
- 13') J.R. VAILLANT : perfectionnement et nouveauté pour l'épuration des
eaux résiduaires éditeur PARIS .
- 14) CHIMIE ANALYTIQUE : Vol.46 Sep.64 , exclusivité paris labo S.A
7 rue du cardinal lemoine paris Ve MED 25-30
- 15) CHIMIE ET INDUSTRIE : Génie chimique , Vol 105 N° 23 novembre 1972
- 16) JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA , Vol 26 n°4 October 1981
(page 351 - 432)

-O- PROJETS DE FIN D'ETUDE -O-

- 17) THEODORET : Cinétique d'adsorption par un charbon actif juin 1982
- 18) NACEF S : Etude de l'adsorption de l'acide acétique et de l'acétone
en solution aqueuse sur le charbon actif
- 19) OMAR BARKAT : Recherche sur les courbes de réponse .
- 20) BOUCENNA M : Préparation de charbon actif juin 1982
- 21) B.ABDI : Adsorption dans un lit fixe .



