

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université : M'hamed Bougera –Boumerdes  
Faculté des Sciences de l'Ingénieur



# **MEMOIRE DE MAGISTER**

## **Filière : Génie –Alimentaire**

Présenté par : Mr MESSAOUD-BOUREGDHA Med-Zine

### **Thème**

**Valorisation d'un déchet alimentaire: le marc de café, transformé en charbon actif- Etude de son comportement dynamique lors de l'adsorption des colorants-textiles**

Soutenu à Boumerdes, le.....2001

Devant la commission d'examen :

Président	: Mr HAMADA.B:	Professeur -Université de Boumerdes
Examineur	: Mr BENAMARA.S:	Maître de conférence Université de Boumerdes
Examineur	:Mme BELHANECHÉ.N:	Maître de conférence -ENP
Examineur	: Mr. LOUHAB.K :	Maître de conférence Université de Boumerdes
Rapporteur	: Mr BENRACHEDI.K :	Chargé de cours Université de Boumerdes

## ملخص

ان الصناعة الغذائية و المنازل تتسبب في إفراز مواد ثنائية ملوثة ، و بإمكاننا إعادة الاعتبار لهذه المواد وتسخيرها لاسعملات أخرى.  
 من خلال هذه الأطروحة حاولنا إعادة الاعتبار لمادة " تلوة القهوة " بتحويلها إلى فحم فعال يمكن استعماله لتصفية المياه الملوثة الناتجة عن الصناعات النسيجية ، و تم استعمال هذا الفحم كمتنص داخل عمود امتصاصي على أساس حاجز مثبت ، و تمت من خلاله دراسة كل العوامل الهيدرودنامكية عند امتصاصه لمونين للنسيج ( و ردي مباشر و احمر انفعالي)  
 كما توصلنا لوضع ناحية أو مساحة عملية يمكن من خلالها استعمال الفحم الفعال، المعيد الاعتبار، أن يعمل في ظروف حسنة

### Résumé :

L'industrie alimentaire et les ménages sont générateurs de sous produits qu'il faudrait valoriser et réinjecter dans le circuit économique en tant que matière première ,pour de nouvelles utilisations.

A travers cette étude, nous avons essayé de valoriser le déchet de café « marc de café » et le transformer en charbon actif et de le tester pour la décoloration des eaux de rejets de l'industrie textile, par le procédé de l'adsorption dans une colonne, en lit fixe, En système dynamique.

Le comportement dynamique de notre charbon actif valorisé en présence de deux colorants Textiles [le rose direct et le rouge réactif] a été étudié. et ceci par l'établissement de tous les paramètres hydrodynamiques. et une zone opératoire optimisée pour le fonctionnement de notre colonne d'adsorption a été estimée.

### Abstract

The food industry and households are generating of coins products that it would be necessary to valorize and to reinject in the economic circuit in so much that ,pour raw material of new utilizations.

To shortcoming this survey, we tried to valorize the loss of coffee [marc de café] and to transform it in actived carbon and to test it for the removal from the wastewater of the textile industry, by the process of the adsorption in a column, in fixed bed, In dynamic system. The the dynamic behavior of our actived carbon valorized in presence of two textiles dyes [the pink direct and the reactive red] has been studied. and this by the establishment of all Hydrodynamic parameters. and an operative zone optimized for the working of our adsorption column has been appraised.

Mots clés: Adsorption-Dynamique

Lit-fixe

Charbon Actif

Décoiorisation

<b>Sommaire</b>	<b>Pages</b>
<b>1- Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2-Données succinctes sur le matériau :le café</b>	<b>3</b>
2-1-Le café dans le monde.	3
2-2-Chimie du café	3
2-3-Transformations subies par le café durant la torréfaction	4
<b>3 - Méthodes utilisées pour la décoloration des eaux de rejets textiles</b>	<b>5</b>
3-2- Procèdes chimiques	5
3-3- Procèdes membranaires	6
3-1- Procèdes biologiques	6
3-4- Procèdes physico-chimiques - L'adsorption des colorants	6
4- l'adsorption	9
4-1- Généralités	9
4-2-Facteurs influençant l'adsorption	9
4-3-Transfert de matière :approche théorique	10
4-4-Dimensionnement des colonnes d'adsorption	12
4-4-1Généralités	12
4-4-2- Méthode mathématique.	13
4-4-3- Méthodes expérimentales	13
4-5-Approche mathématique de l'adsorption dans un colonne garnie	13
4-6-Méthodes expérimentale	18
<b>5- Partie expérimentale.</b>	<b>24</b>
5-1Préparation du charbon actif du marc de café	24
5-2-Caractérisation du charbon actif	24
5-3-Etude dynamique	29
5-3-1-Préparation des solutions colorées	29
5-3-2-Préparation de la colonne	29
5-3-3-Etablissement des différents paramètres expérimentaux	31
5-3-4-Etablissement des courbes de percées	32
5-3-4-1Courbes de percées du colorant rose direct	32
5-3-4-2Courbes de percées du colorant rouge réactif	35
5-3-5-Expression des données expérimentales	40
5-3-5-1-Evolution du temps de percée	40
5-3-5-2-Evolution du temps de saturation	43
5-3-5-3-Evolution du volume de percée	46
5-3-5-4-Evolution du volume de saturation	49
5-3-5-5-Evolution de la hauteur de la zone de transfert de matière	52
5-3-5-6-Evolution de la vitesse de déplacement de la ZTM	55
5-3-5-7-Evolution du rapport hauteur du lit sur la hauteur de ZTM	58.
5-3-5-8-Evolution des quantités de colorants adsorbées au point de percée	61
5-3-5-9-Evolution des quantités de colorants adsorbées au point de saturation	64
5-3-5-10-Détermination de la zone opératoire	67
5-3-6-Discussion et interprétation des résultats	70
5-3-6-1-Analyses des différents paramètres expérimentaux	70
5-3-6-2-Analyse du comportement des colorants	73
<b>6- Conclusion</b>	<b>75</b>
<b>7- Bibliographie</b>	<b>76</b>
- Annexes	

## 1- INTRODUCTION

A l'aube de ce troisième millénaire, notre société doit prendre de plus en plus conscience du problème majeur des rejets et des sous produits de l'industrie et des ménages, cela devient un phénomène incontournable de société et de tous les facteurs économiques. L'ère du dépôt et de l'enfouissement est révolu, l'avenir doit nous contraindre à la recherche d'une valorisation matière ou à une valorisation énergétique de ceux-ci; et permettant de réinjecter cette matière dans des circuits de production et pourquoi pas, pour la création de nouvelles technologies.

Le développement de la société passe par le développement de l'industrie de consommation en général et celle de l'agroalimentaire en particulier, entraînant une croissance urbaine conséquente, ce qui génère la production de sous produits alimentaires et organiques qui doivent être récupérés et valorisés car ces sous produits ont une réelle valeur marchande aux débouchés multiples

La plupart des circuits de valorisation des sous produits alimentaires, en Algérie, sont orientés vers l'utilisation de cette matière, telle quelle, en tant qu'aliment de bétail. dans notre cas nous allons tenter de valoriser un sous -produit ménager et organique en l'occurrence le marc de café et à chercher à le transformer en un autre produit par un procédé technologique de transformation, à savoir un charbon actif et l'utiliser pour le traitement des eaux résiduaires issues de l'industrie qui nous permettra de cibler deux objectifs indissociables et très importants, qui sont intimement liés à la protection de l'environnement; il s'agit en premier lieu, de la préservation de nos ressources en eaux, déjà limitées et conditionnées par les eaux de pluie et dont il faudrait limiter la pollution par des agents externes issues de l'industrie chimique en général, et de l'industrie textile en particulier, car ces agents qui ont des effets néfastes sur la qualité de l'eau, ainsi que sur la faune et la flore aquatique et en deuxième lieu, de la mise en place d'une intelligente politique de récupération et recyclage ou réutilisation,

sous une autre forme, des déchets ménagers et industriels, le système est très répandu déjà dans tous les pays développés.

C'est dans ce cadre que se situe notre présente étude et ceci en pensant éliminer les colorants textiles rejetés dans les rivières, par l'utilisation d'un charbon actif obtenu par la valorisation d'un sous produit alimentaire en l'occurrence le marc de café et l'utiliser comme adsorbant pour l'élimination de deux types de colorants, l'un direct et l'autre réactif .et voir le comportement de notre charbon actif valorisé en système dynamique et enfin optimiser notre installation d'adsorption. D'autant plus, que ce sous produit est disponible en quantité industrielle en Algérie et il suffirait de la mise en place d'un plan de récupération ou de collecte.

## 2-DONNEES SUCCINTES SUR LE CAFE.

### 2-1-Le café dans le monde.

Il occupe dans le monde la deuxième place, derrière le pétrole en matière de production, cette dernière a été de 6.050.000 tonnes en 1995. et il représente le premier marché mondial dans le domaine de l'alimentaire.[1]

En Algérie et d'après l'ONS (office national des statistiques), la consommation du café a atteint 84.370,02 tonnes. ce qui représente environ :2.75 Kg par habitant et par année.

Le café est une plante stimulante de la famille des rubiacées, les deux principales espèces cultivées sont le cofféa arabica et le cofféa comphara, dont la variété la plus répandue est le Robusta. Il est cultivé essentiellement dans les zones tropicales est principalement au Brésil, en Colombie, en Angola et en Côte-d'ivoire. enfin le café ne peut être consommé que torréfié.

### 2-2-Chimie du café

La composition chimique du café varie d'une espèce à une autre, et pour une même espèce, elle varie en fonction de paramètres agronomiques et climatiques[2], sa composition moyenne est représentée dans le tableau n°1

Tableau n°1 : composition moyenne du café en % massique  
(Winnaker et Kuchler-1979)

Composition	%
Eau	9-12
Extrait à l'éther	10-14
Protides	10-15
Dextrines	0.8
Fibres brutes	20-30
Saccharose	6-12
Pentosanes	4-6
Alcaloïdes (Caféine+trigonelline)	1-2
Acide chlorogénique	5-7
Cendres	2-5

Il a été signalé la présence d'oligo-éléments à l'état de traces, et principalement le Fer, le Cuivre et l'Aluminium. alors que les cendres contiennent particulièrement des oxydes et dans un ordre décroissant des oxydes de Potassium, de sodium, de calcium, phosphore ainsi que des silicates[3].

### **2-3-Principales modifications subies par le Café lors de la torréfaction.**

La torréfaction est un procédé par lequel le café vert est traité thermiquement afin d'être consommé et les principales substances qui vont subir des modifications sont :

- L'eau : il ne restera dans le café torréfié que 5% d'eau liée, le reste va s'évaporer partiellement et réagir avec les sucres pour donner naissance à des caramels, ces derniers vont influencer énormément les critères organoleptiques du café ( le goût, l'arôme et la couleur).[4]
- Les sucres et les acides : développent les principes actifs aromatiques du café par des réactions de Maillard. et décident de la qualité finale du produit.
- Les protéines sont sensiblement réduites au cours du traitement thermique [5]

### **3- METHODES UTILISEES POUR LA DECOLORATION DES EAUX DE REJETS TEXTILES**

L'importance du secteur industriel et les effets négatifs résultants des rejets des résidus de la coloration, a fait que la recherche accorde un intérêt certain aux voies et moyens à mettre en œuvre pour l'élimination des colorants dans les eaux de rejets. Toute étude doit être orientée vers l'exploitation d'un procédé qui permet l'élimination de la couleur par la dégradation complète de la molécule du colorant et non la destruction du principe colorant, en l'occurrence les groupements chromophores, car une destruction partielle peut donner naissance à d'autres substances plus ou moins toxique [6]. Dans cet ordre d'idées, plusieurs méthodes ont été utilisées.

#### **3-1 Procédés chimiques**

##### **3-1-1 La coagulation-floculation**

Le procédé est très efficace pour les produits colorants ayant une faible solubilité ; il produit en conséquence de très grandes quantités de boues induites par la dose élevées de l'électrolyte (600 mg/l) [7], comme il y a risque d'apparition de substances toxiques ( alinines, chloroamines) [8].

##### **3-1-2 L'oxydation**

Généralement très gênée par le pH, s'agissant des colorants azoïques [8] [9], très souvent associée à un traitement par rayonnement (UV) pour l'élimination des colorants acides, basiques et réactifs [10]. Le coût de l'exploitation reste relativement élevé et la difficulté de l'exploitation reste dans la maîtrise du transfert de masse de l'ozone dans la solution à traiter [6]. Elle peut d'ailleurs donner naissance, lors de oxydation des colorants réactifs, à des substances toxiques [9].

##### **3-1-3 La chloration**



Elle présente un succès certain pour la biodégradation des colorants, toutefois inefficace contre les colorants dispersés [11] et peut produire des substances toxiques telles que les chloroamines et chlorophénols [12].

### **3-2 -Procédés membranaires**

Bien que les principaux handicaps du procédé restent le coût élevé de l'exploitation qui augmente très rapidement avec l'augmentation du débit des déchets à traiter et la production de grandes quantités du perméat [6], la microfiltration donne de très bons résultats quant à l'élimination des colorants.

### **3-3-Procédés biologiques**

D'une manière générale, le taux d'élimination des colorants est conditionné par le degré de sulfonation des colorants et leur déplacement à travers les membranes cellulaires [13],[14].

Le choix de la souche bactérienne est recherchée [14], certaines d'entre elles ont pu donner naissance à d'autres groupements chromophores ; donc, la production d'autres types de déchets [15].

### **3-4-Procédés électrochimiques**

La méthode donne de bons résultats, bien que la réduction de la DCO est très limitée. L'optimisation du procédé reste difficile à obtenir au vu de plusieurs paramètres fonctionnels intervenants dans le procédé, tels que la géométrie de l'ouvrage, le nombre et le type d'électrodes, propriétés du colorant, température [16] [17].

### **3-5-Procédé physico-chimique : l'adsorption**

Le procédé d'adsorption est largement utilisé dans les techniques de séparation et c'est le seul pratique dans l'industrie des boissons gazeuses. Son principal atout pour l'élimination des colorants réside dans le fait qu'il élimine toute la particule du colorant.

L'adsorption comme procédé de séparation des colorants et les avantages qu'il présente fait que les recherches actuelles sont orientées vers l'utilisation des sous produits de l'industrie. Dans ce cadre, les essais ont portés sur la tourbe [18], la terre diatomée [19], le résidu de la betterave sucrière [20], les résidus solides des olives [21], et les performances sont atteintes par une meilleure porosité et une distribution homogène de la porosité. Toutefois, un point commun ressort et réside dans le fait que l'absorbant chargé négativement présente de meilleures capacités d'adsorption et les capacités d'adsorption sont fonction des spécificités de chaque colorant.

Par ailleurs l'utilisation de la bentonite donnent des résultats moins appréciables si elle n'est pas associée à des électrolytes [22] tout comme l'adsorption des colorants acides, sur lit fixe de champignons morts, est complète. [23].les mêmes résultats ont été atteints avec l'utilisation des déchets solides de l'industrie de fabrication de l'huile d'olive .de même que le méthyle orange [24]. les colorants diazoïques sont influencés lors de leur adsorption sur charbon actif ,par la concentration initiale [25] alors que les colorants réactifs sont très bien éliminés sur colonne de charbon actif végétal [26].alors que sous conditions alcalines il a tendance a s'hydrolyser ,affectant ainsi son pouvoir d'adsorption .[27].[28] ,conséquence qui fait qu' on le retrouve en très grande quantité dans les eaux de rejets et peut rester actif pendant plusieurs années [29] ;son adsorption est souvent guidée par pouvoir mouillant [30] le colorant direct s'adsorbe, fortement, par un mécanisme modulé de chemisorption [15], alors que l'élimination du bleu de méthylène sur couche de coton se fait par la prépondérance des liaisons chimiques s'établissant entre la fibre et le colorant, ainsi que leur nature , conduisant souvent a une adsorption uniforme sur toute la surface de l'adsorbant [30] . le bleu de méthylène a révélé l'importance de la tension superficielle du liquide porteur sur la qualité de l'adsorption.[31] ,en outre le facteur majeur qui affecte l'adsorption des colorants est le pH qui peut faire varier le degré d'ionisation du colorant ainsi que la charge superficielle du charbon actif [32], enfin la recherche actuelle relative a l'adsorption des colorants

sur charbon actif semble orientée vers l'utilisation du microscope à attraction atomique qui semble confirmer et affiner la connaissance de la nature des différentes liaisons qui s'opèrent entre les groupements fonctionnels des colorants et les différents groupements chimiques se trouvant à la surface de la substance adsorbante [33].

## 4- L'ADSORPTION

### 4-1-Généralités

L'adsorption est la propriété de certains matériaux à fixer à leurs surfaces des molécules [34]. On a augmenté la concentration [35]. Toutefois, le phénomène est général à toutes les surfaces mais on tente de l'amplifier, en modifiant les structures des matières adsorbantes [36].

Par ailleurs, on peut parler de chemisorption ou physisorption ; la première communément appelée adsorption active met en jeu les liaisons chimiques donnant naissance à un nouveau produit, la seconde est due aux forces de Van der Waals et elle est réversible [37].

### 4-2-Facteurs influençant l'adsorption

Les principaux paramètres régissant le phénomène d'adsorption sont :

- Surface spécifique de l'adsorbant : elle est définie comme étant sa surface par unité de masse et l'adsorption en est directement proportionnelle [38].
- Le pH : l'adsorption est maximum au point isoélectrique et il est influencé par le temps de séjour et la charge hydraulique dans la colonne d'adsorbant et surtout important après la régénération de l'adsorbant [39].[40].
- La température : l'adsorption étant exothermique les résultats sont meilleurs à froid.
- La nature de l'adsorbant : tout solide peut être considéré comme adsorbant potentiel [39], mais la capacité d'un adsorbant varie d'un adsorbant à un autre.

La qualité d'une adsorption, ou le rendement d'une telle opération, ne peut être affichée que pour un adsorbant donné [41] et son comportement vis à vis d'un fluide donné et une fois, les caractéristiques physico-chimiques des deux éléments connues, on peut apprécier la qualité de l'opération en étudiant la cinétique et la dynamique du phénomène.

Il reste clair que la cinétique d'adsorption est dans la plupart des cas restreinte à l'établissement, entre les deux phases en présence, aux relations existant entre la composition du système réactionnel et le temps [42].

Comme on peut l'étendre à l'étude de la dépendance entre la vitesse, la structure des adsorbants et les conditions opératoires [42], et la caractérisation cinétique du procédé se fait par l'établissement de modèles d'adsorption mathématiques, en l'occurrence des isothermes d'adsorption, telles que les :

- isotherme de Langmuir ;
- isotherme de Freundlich ;
- isotherme de Brunauer-Enmet-Teller (B.E.T.).

Cette dernière la plus récente, car elle rend compte aussi du phénomène de saturation et fait intervenir la solubilité du soluté dans son solvant et admet la formation de nouvelles molécules.

La dynamique d'adsorption s'occupe quant à elle à l'étude du transfert de matière d'une phase à une autre, et son influence sur l'agencement du dimensionnement et des conditions opératoires des appareils. Dans le but d'atteindre des performances requises, un très grand nombre de configurations permettent de réaliser des performances et le choix est guidé par le moindre coût [43].

S'agissant des colonnes d'adsorption à base de charbon actif granulé, le coût est surtout influencé par la régénération du matériau, et la recherche de l'augmentation de sa capacité régénérée pour la rapprocher de la capacité du charbon actif vierge.

#### **4-3-Transfert de matière :approche théorique.**

Les phénomènes relevant de ce que l'on appelle le transfert de matière se manifestent chaque fois que dans un mélange fluide, les différents constituants sont en déplacement relatif, les uns par rapport aux autres, ceci se produit lorsque les concentrations ne sont pas uniformes au sein du mélange. Si par conséquent, un constituant prend naissance ou disparaît localement dans le mélange, il se produit un transfert de ce constituant à partir de la région où elle est plus faible [44].

Ceci se traduit par un mouvement désordonné des molécules ou particules fluides, et on sera amené à caractériser le transfert de matière par des critères qui dépendent de :

- la nature des substances en place .
- les conditions hydrodynamiques régissant le transfert.

### a. Représentation schématique du transfert

Dans les opérations physiques de séparation, le transfert de matière s'effectue entre deux phases. Citons l'adsorption pour le couple solide - liquide, on peut schématiser le transfert en lui assignant trois étapes :

1. Transfert du constituant considéré au sein d'une phase vers l'interface.
2. Franchissement de l'interface.
3. Transfert du constituant au sein de la 2<sup>ème</sup> phase.

### b. Mécanisme d'adsorption dans un matériau poreux

L'ensemble des concepts d'adsorption d'un composé dans un matériau poreux peut être représentée simplement par le modèle représenté par la figure [1] et comprend les phases suivantes :[45]

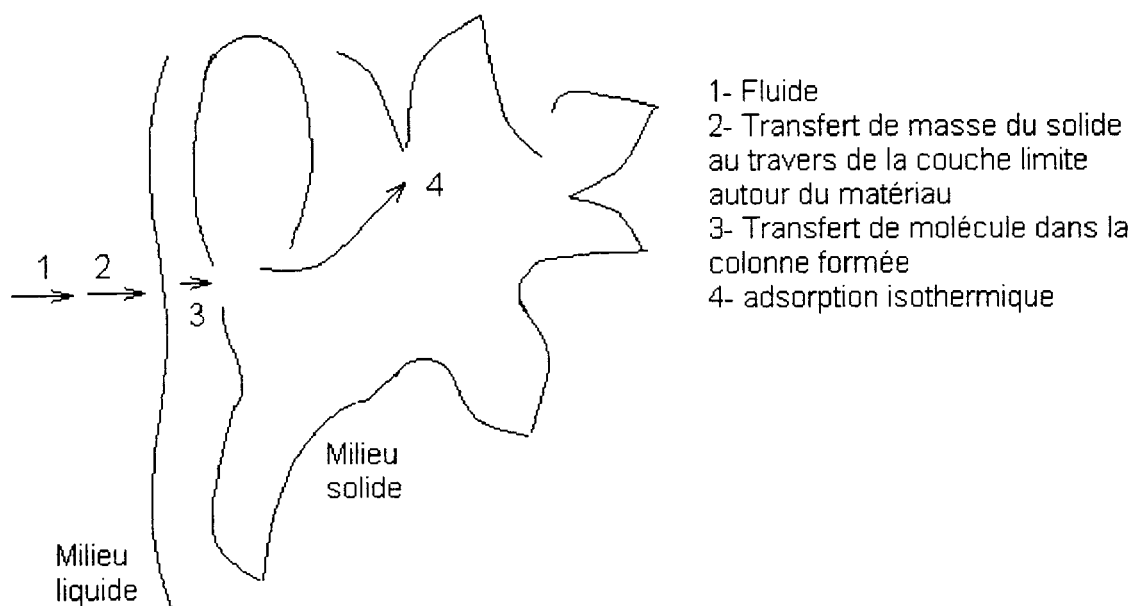


Fig. N° 1 :Cinétique de transfert dans système liquide -solide

La couche limite correspond à une zone où la concentration en molécules adsorbantes est importante. Le transfert dans le matériau (phase 3) correspond à une diffusion à la fois dans le volume formé et à la surface interne du matériau. Le concept est une notion assez nouvelle qui a fait l'objet de nombreuses études. [46]

L'adsorption étant par excellence un procédé de séparation impliquant un transfert de matière et se manifeste lorsqu'on met en contact un fluide et un solide. Par une différence de composition entre la phase absorbée au voisinage immédiat du solide et sa phase liquide et l'étude des équilibres d'adsorption permet de cibler et connaître le degré maximal de séparation susceptible d'être obtenu dans des conditions hydrodynamiques connues. La vitesses avec laquelle on s'approche de l'état d'équilibre relève de la cinétique de l'adsorption et dépend de la vitesse avec laquelle les constituants du mélange à séparer diffèrent dans l'adsorbant et dans le fluide et par la suite, des conditions hydrodynamiques dans lesquelles s'effectuent le contact et aboutit à la détermination de l'efficacité d'un adsorbant et par voie de conséquence de son dimensionnement [44].

#### **4-4-Dimensionnement des colonnes d'adsorption**

##### **4-4-1-Généralités.**

Le traitement des données expérimentales ne se trouve pas être une chose très abordable. Les relations mathématiques usitées permettent des descriptions qualitatives et quantitatives qui se compliquent par la variation des différents facteurs intervenants dans la résolution des équations et ceci dans le temps et l'espace.

De ce fait, tout dimensionnement d'unité d'adsorption ne peut se faire qu'avec l'établissement de ces relations. De plus leurs résolution nécessitent toujours une étude de laboratoire par des essais pilotes.

Les différentes méthodes généralement proposée peuvent être groupées en deux catégories [47][48].

#### 4-4-2-La méthode mathématique

Elle tient compte de tous les facteurs intervenants dans le procédé. Toutefois, tenir compte de tous ces paramètres est un travail difficile et fastidieux et la résolution des considérations simplificatrices, ce qui fait que les solutions trouvées sont des cas limites.

#### 4-4-3-Les méthodes expérimentales

Les méthodes expérimentales, quant à elles étudient les phénomènes de transfert et tiennent compte de tous les paramètres de variables et rendent compte d'une manière très fidèle de l'évolution du procédé au cours de l'espace et du temps.

Pour cela, plusieurs méthodes ont été testées :

- La méthode LUB (length unused bed), basée sur la détermination de l'évolution de la zone non saturée [49].
- La méthode « Temps de service en profondeur du lit » (BDST) beaucoup plus récente qui fait intervenir les débits faibles et la variation de la granulométrie et l'optimisation se fait sur la base du taux d'épuisement et du temps de séjour à vide dans le lit fixe, toutefois fait appel à des corrélations simplificatrices [50].
- La méthode dite approximation de distribution quasi-log-normale. Ses auteurs ont utilisé cette méthode pour déterminer les courbes de percées dans des adsorbants en lit fixe par un système linéaire d'adsorption prenant en compte la dispersion axiale, la résistance à la diffusion du film externe et la résistance à la diffusion intraparticulaire.
- La méthode de détermination de la zone de transfert de matière, mise au point par MICHALS [51] ; c'est celle qui se rapproche de la réalité. Elle ne tient compte que de l'étape prépondérante comme elle tient compte des considérations hydrauliques lors du déroulement du phénomène et elle est très pratique et ses résultats sont fiables et reproductibles. [47] [48], c'est ce qui nous a incité à l'utiliser pour notre étude afin de déterminer le comportement dynamique de notre CAMC.

#### 4-5- Approche mathématique de L'adsorption dans une colonne garnie :



Le phénomène d'adsorption dans une colonne garnie est très complexe et toute étude dynamique d'un tel phénomène a fait et fait encore l'objet de recherche et simulations mathématiques

Toutefois, il est admis qu'au cours du processus, la concentration de l'adsorbant varie simultanément dans la phase mobile et dans la phase solide et la cinétique d'adsorption s'occupe de la dépendance entre la vitesse de transfert et la structure des adsorbants et la conditions opératoires [52]. Dans l'adsorbant en phase liquide, trois phases de vitesses contrôlant le mécanisme ont été observées [52] et la vitesse globale régissant le phénomène est la vitesse où la résistance au transfert est la plus importante.

Nous allons dans ce qui suit poser les différentes équations fondamentales décrivant les différentes étapes lors du processus d'adsorption.

#### 4-5-1-Equation de diffusion à l'intérieur de la particule

Considérons une courbe sphérique de rayon R et d'épaisseur  $\Delta r$  entourant la particule. Quand la différence de concentration entre le flux entrant et le flux sortant est égale à la concentration de la couche limite.

Nous avons alors pour les deux phases en présence, la possibilité d'appliquer la loi de FICK :

$$\left(4\pi r^2 - DY - \frac{\bar{ac}}{ar}\right)_{z \pm \Delta z} \left(4\pi r^2 \cdot DY \cdot \frac{\bar{ac}}{ar}\right)_z = \left(4\pi^2 x^2 \frac{\bar{ac}}{ar}\right) \Delta r + \left(4\pi^2 \frac{an}{at}\right) \Delta r \quad (1)$$

et quand  $\Delta r \rightarrow 0$ , nous aurons :

$$D \cdot \left(\frac{a^2 c}{ax^2} + \frac{2 a \bar{e}}{x ar}\right) = \frac{\bar{a} \bar{e}}{at} + \frac{1 an}{V at} \quad (2)$$

#### 4-5-2-Equation de diffusion à la surface de la particule

La concentration à la surface de la particule n'est pas la même que celle entourant la particule. De ce fait, se forme à la surface un flux à travers lequel le soluté doit diffuser, et mathématiquement s'exprime par la formule suivante :

$$D \cdot \left( \frac{ac}{ax} \right)_{r \rightarrow R} = K(c_2 c) \quad (3)$$

#### 4-5-3- Bilan matière

Le flux qui permet dans une section  $\Delta x$  droite de la colonne, par écoulement hydrodynamique est :

$$\varphi = \left( \frac{G}{P} * c \right)^x \quad 4)$$

On peut donc déduire que la quantité de matière transférée par la diffusion longitudinale est :

$$\varphi_g = \left( -D_g * \alpha * \frac{ac}{ax} * c \right)_x \quad (5)$$

et à la sortie de la section droite  $\Delta x$ , le flux des matière a une expression expression similaire pour l'axe  $x + \Delta x$ .

$$\varphi_g = \left( -D_g * \alpha * \frac{ac}{ax} * c \right)_{x+\Delta x} \quad (6)$$

et la différence des deux flux nous donne la vitesse d'accumulation de l'adsorbant dans la section droite  $\Delta x$ , et elle est due à la différence de concentration de la phase mobile et égale à :

$$\alpha \left( \frac{ac}{ax} \right) \Delta x \quad (7)$$

La quantité d'adsorbant qui diffère dans la particule :

$$4\pi R^2 * y * DN * \left(\frac{ac}{az}\right)_{r-R} * \Delta x \quad (8)$$

et le bilan matière s'exprimera dans la section  $\Delta x$  par l'équation suivante :

$$\left[ \left(\frac{G}{P} * C\right)_z - \left(\frac{G}{P} * c\right)_{x+\Delta x} \right] - \left[ \left(D_g \alpha * \frac{ac}{ax}\right)_x - \left(D_g * \alpha * \frac{ac}{ax}\right)_{x+\Delta x} \right] = \left(\alpha * \frac{ac}{at}\right)_x * \Delta x - 4\pi R^2 * Y * D * N \left(\frac{ac}{ar}\right)_{r+R} * D x \quad (9)$$

La différence de concentration due au flux hydrodynamique moins la différence de concentration, due à la diffusion longitudinale est égale différence de concentration de la phase mobile moins la quantité adsorbée à la surface de la particule

et quand  $\Delta r \rightarrow 0$ , nous obtenons :

$$\frac{G}{P} * \frac{ac}{ax} + \alpha * \frac{ac}{at} + 4\pi R^2 Y N D \frac{\overline{ac}}{at} - \alpha D_g * \frac{\overline{a^2 c}}{ax^2} \quad (10)$$

sachant que  $G = V * P * \alpha$ , l'équation (10) devient :

$$V * \frac{ac}{ax} + \frac{ac}{at} + \frac{3DY * (1-\alpha)}{R\alpha} * \frac{\overline{ac}}{az} - D_g * \frac{a^2 c}{ax^2} \quad (11)$$

- Les conditions initiales dans la colonne sont :  $\bar{c} = c_x$  et  $n = n_x$  pour  $t = 0$  et  $x \geq 0$ .
- Les conditions aux limites caractérisant la phase mobiles sont :  $c = c_0$  pour  $x = 0$  et  $t > 0$ .

- Il reste dans l'équation à une seule inconnue, il s'agit bien sûr de la vitesse d'adsorption  $\frac{dn}{dt}$ . Celle-ci est habituellement déterminée à partir soit de l'isotherme d'adsorption posant :  $n = Mg(\bar{c})$ , soit de la relation cinétique en posant :

$$\frac{an}{at} = f(n, \bar{c}) \quad (12)$$

La discussion mathématique complète du processus d'adsorption, représentée par le système d'équation (1-6) est valable pour le cas général de transfert, et les facteurs :

- $c = c(x, t)$
- $\bar{c} = \bar{c}(x, t, r)$
- $n = n(x, t)$

Certaines approximations sont introduites et on considère que la diffusion est négligeable ( $dy = 0$ ) et, dans ce cas, les conditions initiales deviennent :  $c = c_1$ ,  $\bar{c} = \bar{c}_1$  et  $n = n_1$  pour  $t \leq t_1$  et l'équation (6) deviendra :

$$V * \frac{ac}{ax} + \frac{ac}{at} + \frac{3DY(1-\alpha)}{\alpha R} = 0 \quad (13)$$

A l'équilibre, la méthode la plus simple permettant de résoudre l'équation  $c(x, t)$  est de supposer que l'équilibre est atteint instantanément entre la phase mobile et stationnaire. Autrement dit, la quantité d'adsorbant entrant par diffusion est égale à la quantité adsorbée, ce qui se traduit par :

$$4\pi R^2 Y * ND \left( \frac{ac}{ax} \right) = \frac{an}{dt} \quad (14)$$

et si dans l'équation (10)  $Dg = 0$ , on aura :

$$V * \frac{ac}{ax} + \frac{ac}{at} + \frac{1}{\alpha} * \frac{an}{dt} \quad (15)$$

et prenant  $n = mg(\bar{c})$ , on aura :

$$\frac{an}{at} = M_g(\bar{c}) \frac{\bar{ac}}{at} \quad (16)$$

et en remplaçant dans l'équation (15), on aura :

$$V * \frac{ac}{ax} + \frac{ac}{at} + \frac{1}{\alpha} M_g(\bar{c}) * \frac{ac}{at} = 0 \quad (17)$$

La connaissance de  $g(\bar{c})$  permet l'intégration de notre équation différentielle qui nous permettra de déterminer la vitesse de déplacement de notre soluté.

#### 4-6-Méthode expérimentale

Basée sur la détermination de la zone de transfert de matière (ZTM), Ce concept élaboré par MIKAEELS est utilisé pour les très fortes résines échangeuses d'ions, puis généralisé par LUKCHIS pour les lits d'adsorbants.

La méthode en elle même est très simple, efficace et très fiable pour la pratique et permet d'établir des corrélations pour les systèmes d'adsorption. Toutefois, il faut bien fixer les conditions opératoires :

- un lit uniforme ;
- un débit volumique et une concentration uniforme pour la phase liquide ;
- pas de changement de phase ;
- une énergie d'adsorption négligée ;
- absence d'interaction entre les molécules adsorbées.

Généralement les opérations d'adsorption se font en continu, en lit fixe ou en lit mobile. Le principe de fonctionnement d'un lit fixe se résume comme le montre la figure 1.

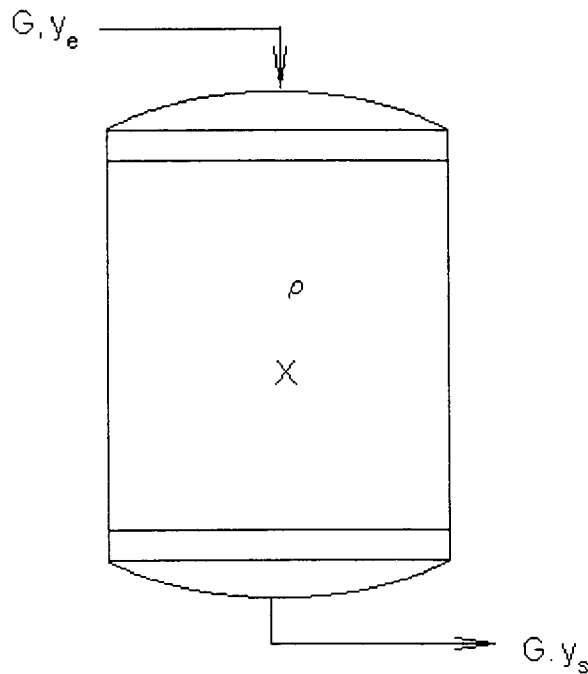


Fig. N° 2 circulation fluide en adsorption sur lit fixe

La dynamique d'adsorption peut être visualisée en terme de zone d'adsorption active qui se déplace le long de la colonne en laissant derrière elle une zone de saturation ou d'équilibre tel que le montre la figure [3].

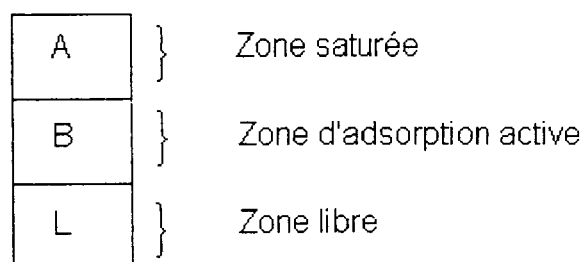


Fig. N° 3 :zone d'échange dans une colonne d'adsorption

- S : zone saturée représente la zone d'adsorption est a l'équilibre avec la phase mobile.

- A : zone d'adsorption active de fonctionnement appelée zone de transfert de matière (ZTM).
- L : zone propre ou vierge non encore utilisée.

Il est clair que lorsque le front de déplacement de la ZTM atteint le bas de la colonne, le transfert de matière devient nul.

L'évolution de la concentration de l'effluent à éliminer par adsorption sera l'allure représentée par la figure [4]

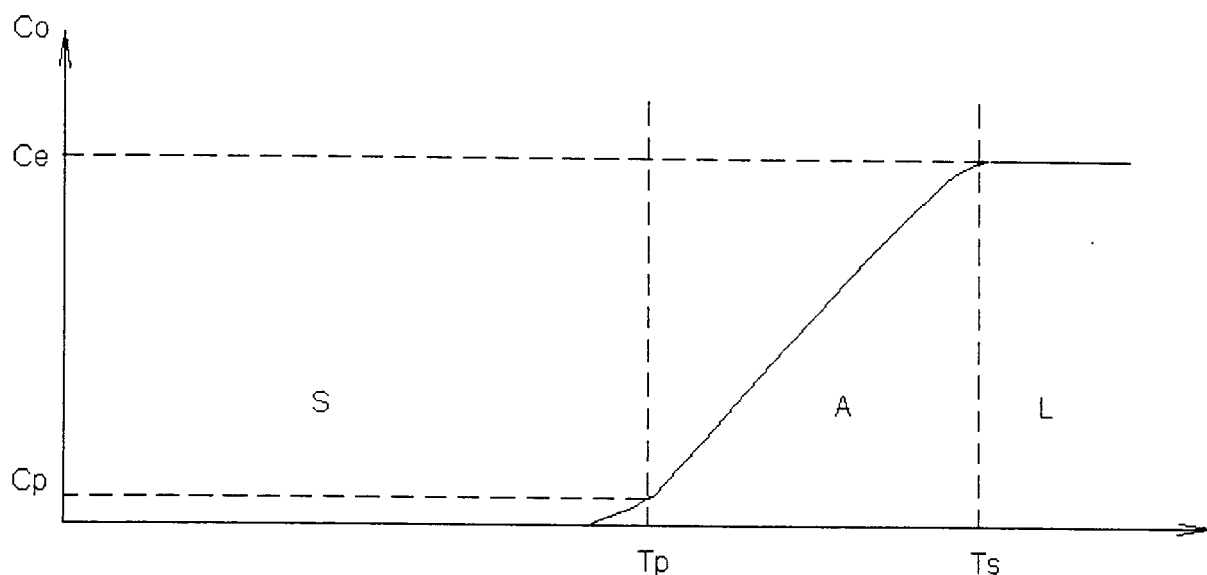
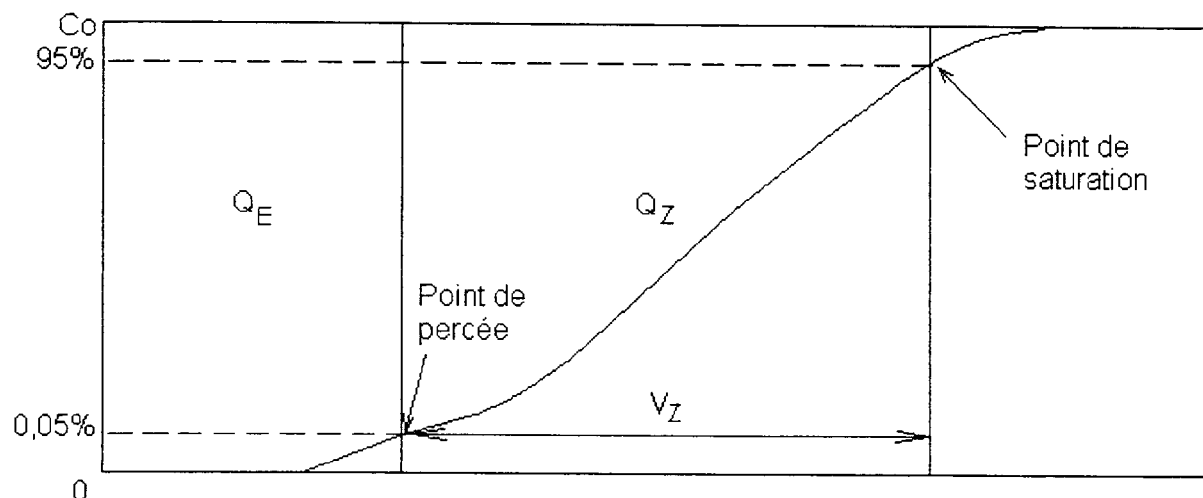


Fig. N° 4 : Evolution de la concentration de l'effluent à la sortie du lit

avec  $C_p = 0,05 C_o$  et  $C_e = 0,25 C_o$

#### 4-6-1- La capacité fractionnaire du lit fixe



La capacité fonctionnaire d'un lit fixe mesure l'efficacité d'adsorption ou d'élimination d'un adsorbant et indique quelle est la fraction de solide qui participe au phénomène d'adsorption. On la définit comme étant la quantité d'adsorbant

réellement éliminée par rapport à la capacité potentielle d'élimination de l'adsorbant à l'intérieur de la zone de transfert de matière.

Le calcul de la capacité fractionnaire se calcule en déterminant la quantité de produit éliminée au point de percée. Apparition d'une concentration dans l'effluent égale à 0,05% de la concentration initiale et le point de saturation (apparition d'une concentration égale à 0,25% de la concentration initiale et déterminée graphiquement).

$$Q_m = \int_{V_p}^{V_s} (C_o - C_p) * dU \quad (18)$$

Lorsque le raisonnement se base sur un cas idéal ou il y a absence de résistance au transfert, la concentration de l'effluent passe instantanément de 0 à  $C_o$ , et la quantité du produit éliminée est maximale.

$$Q_{max} = C_o V_z \quad (19)$$

Par voie de conséquence, la fraction de l'adsorbant à l'intérieur de ZTM et qui participe effectivement au transfert de matière est :

$$F = \frac{Q_M}{Q_{max}} = V_p \frac{\int (C_o - C_p) dV}{C_o V_z} \quad (20)$$

#### 4-6-2-Hauteur de la zone de transfert de matière (ZTM)

Elle mesure la vitesses d'élimination du soluté par le lit, c'est la zone du lit où s'effectue l'adsorption et où la concentration de l'effluent passe de la concentration de percée  $C_p$  à celle de saturation  $C_s$ . Elle peut être déterminée par la relation :



$$t_z = \frac{V_z}{u * A} \quad (21)$$

et sachant que :

$$U_z = \frac{H_t}{t_s - t_f} \quad (22)$$

La ZTM se déplace le long de la colonne à une vitesse :

$$H_z = \frac{H_t * t_z}{t_s - (1-F) * t_z} = \frac{H_t * t_z}{V_s - (1-F) * V_z} \quad (23)$$

Où : -  $t_f$ , temps de formation de la ZTM.

-  $t_s$ , temps pour atteindre la saturation.

Le temps de la formation de la ZTM peut être déterminé comme suit :

- Si la capacité fractionnaire est nulle ( $F = 0$ ), cela voudrait dire que la colonne est complètement saturée et  $t_f = t_s$ .
- Si la capacité fractionnaire est égale à l'unité ( $F = 1$ ), cela voudrait dire que  $t_f = 0$ .

On déduit une relation simple qui vérifie les deux conditions et que permet d'estimer le temps de formation de la ZTM.

$$T_f = (1 - F) * t_z$$

ou

$$H_z = \frac{H_t * t_z}{t_s - (1-F) * t_z} = \frac{H_t - V_z}{V_s * -(1-F) * V_{z_p}} \quad (25)$$

et comme  $t_z = t_s - t_p$  :

$$H_z = \frac{H_t * (t_s - t_p)}{t_s - (1-F) * (t_s - t_p)} = \frac{H_t * (t_s - t_p)}{t_p + F(t_s - t_p)} \quad (26)$$

Il reste clair que le choix de  $C_p$  et  $C_s$  est arbitraire, mais admis que pour  $C_p$  doit être la concentration détectable minimum ou la concentration détectable maximum

#### 4-6-3-Volume du temps de percée

Il mesure la quantité de fluide traité au point de percée  $V_p$  :

$$V_p = D * t_p \quad (28)$$

#### 4-6-4-Volume ou temps de saturation

Il mesure la quantité de fluide traité au point de saturation  $V_s$  :

$$V_s = D * t_s \quad (29)$$

#### 4-6-5-Capacité d'élimination ou temps de percée

Elle mesure la quantité de soluté adsorbée au temps de percée en milligramme par unité de masse d'adsorbant :

$$X_p = \frac{[f(C_o - C_s) * dv]}{m} \quad (30)$$

#### 4-6-6-Capacité d'élimination ou temps de saturation

Elle mesure la quantité de soluté adsorbée au temps de saturation en milligramme par unité de masse d'adsorbant :

$$X_s = \frac{[f(C_o - C_s) * dv]}{m} \quad (31)$$

## 5- PARTIE EXPERIMENTALE

### 5-1-Préparation du Charbon Actif de Marc de Café (CAMC)

Le marc du café collecté sera transformé en charbon actif en subissant les opérations d'activations comme indiqué sur la figure [6].

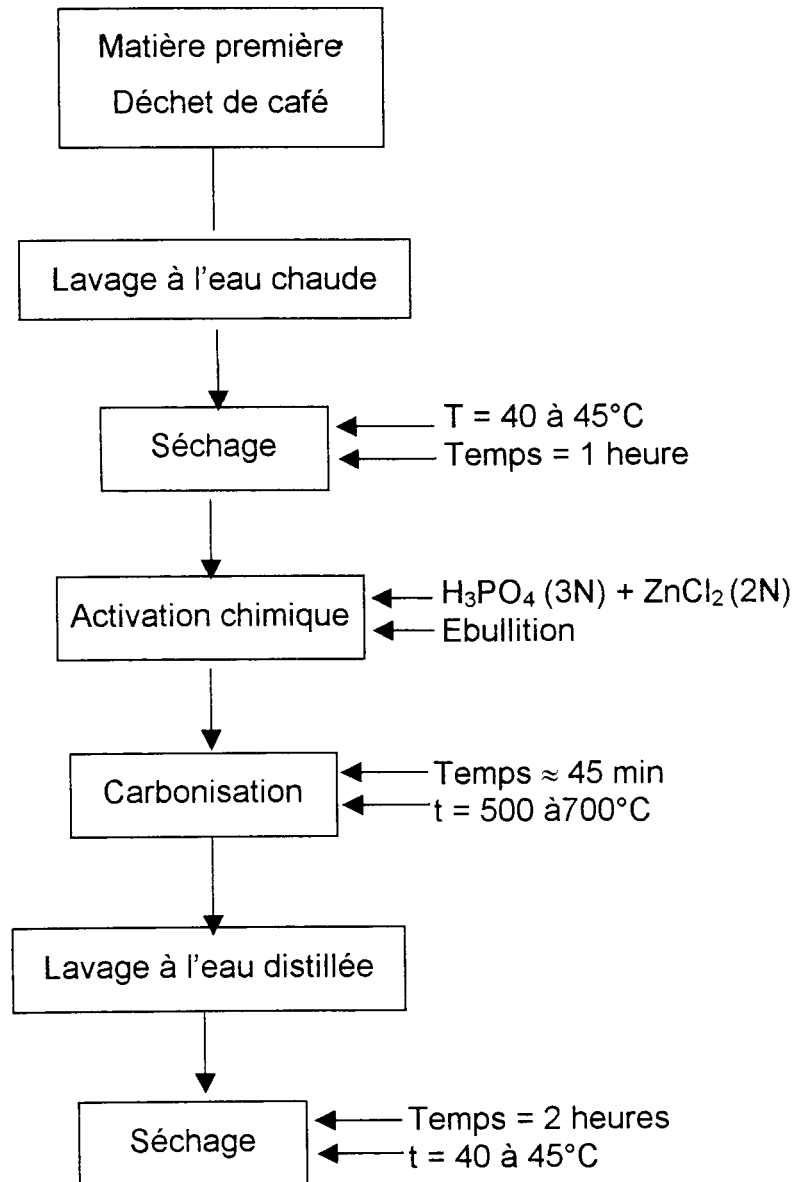


Fig. N° 6 : procédé de fabrication du CAMC

### 5-2- Caractérisation du CAMC

#### 5-2-1- Caractéristiques

- pH : 6

- Humidité : 6,24%
- Densité apparente : 282,2 kg/cm<sup>3</sup>
- Densité réelle : 500 kg/cm<sup>3</sup>
- Porosité du lit de CAMC : 38,7%

Ce qui nous motive à dire qu'il y a principalement des micro pores et éventuellement et macro pores ;

#### **5-2-1-1-Granulométrie**

Le charbon actif (CAMC) obtenu sera utilisé tel quel pour l'étude dynamique pour l'élimination des colorants. Il sera alors utilisé sous la forme granulée (CAG).

L'analyse de la granulométrie a été réalisée sur un granulomètre à laser, type PASTERIZER du laboratoire de géologie du centre de recherche et développement de SONATRACH de BOUMERDES. Le tableau (1) et les graphes (a et b) se trouvant en annexe représentent respectivement les valeurs réparties des dimensions des granulés CAMC et les valeurs cumulées des mêmes dimensions ce qui nous permis de déterminer le coefficient d'uniformité de notre échantillon.

Les diamètres médians  $D_{50} \approx 259 \mu\text{m} \approx 0,26 \text{ mm}$

ou :  $D_{60} \approx 289 \mu\text{m} \approx 0,29 \text{ mm}$

Le diamètre effectif  $D_{10} \approx 140 \mu\text{m} \approx 0,14 \text{ mm}$

Le coefficient de conformité  $\frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,29}{0,14} \approx 2$

et 50% des particules ont un diamètre compris entre 75,23 et 38,7

#### **5-2-1-2-La porosité**

L'un des plus importants paramètres régissant l'adsorption est la porosité. Celle de notre CAMC a été établie par une visualisation sur microscope à balayage électronique les photographies 1,2 et 3 mettent en valeur les différents états de la porosité.

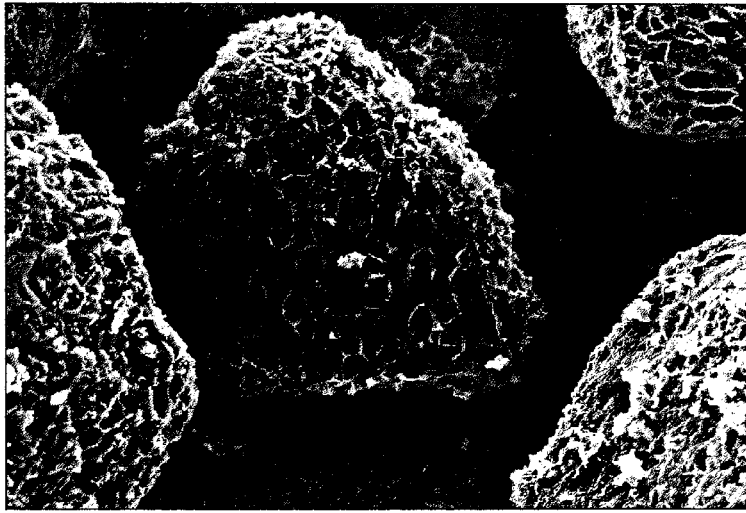


Photo N°1 : Grain de charbon actif .agrandissement (x387=

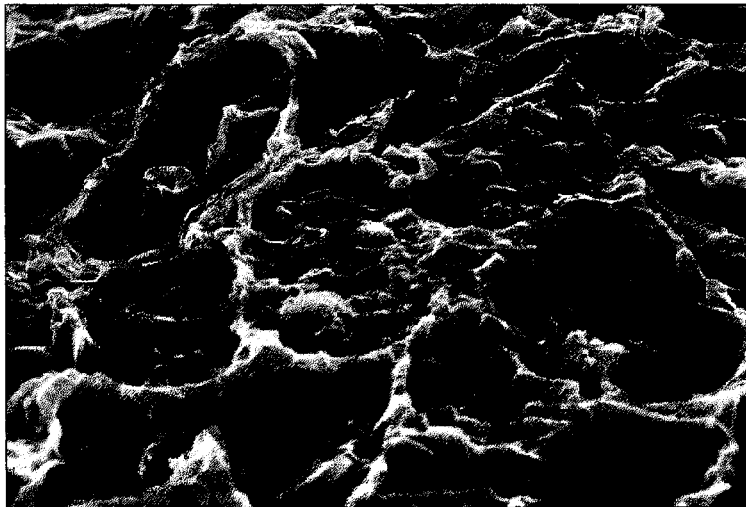


Photo N°2- Mésopores du CAG du CAMC .agrandissement (x1780)

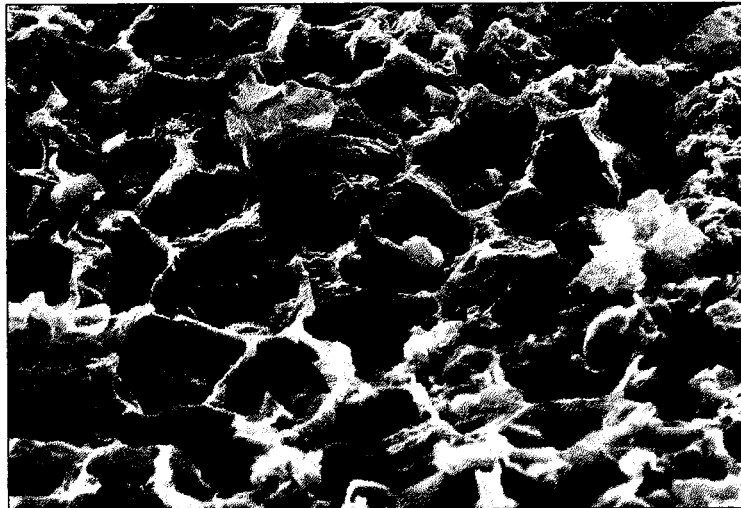


Photo N°3- Micro pores du CAG du CAMC .agrandissement (x3180)

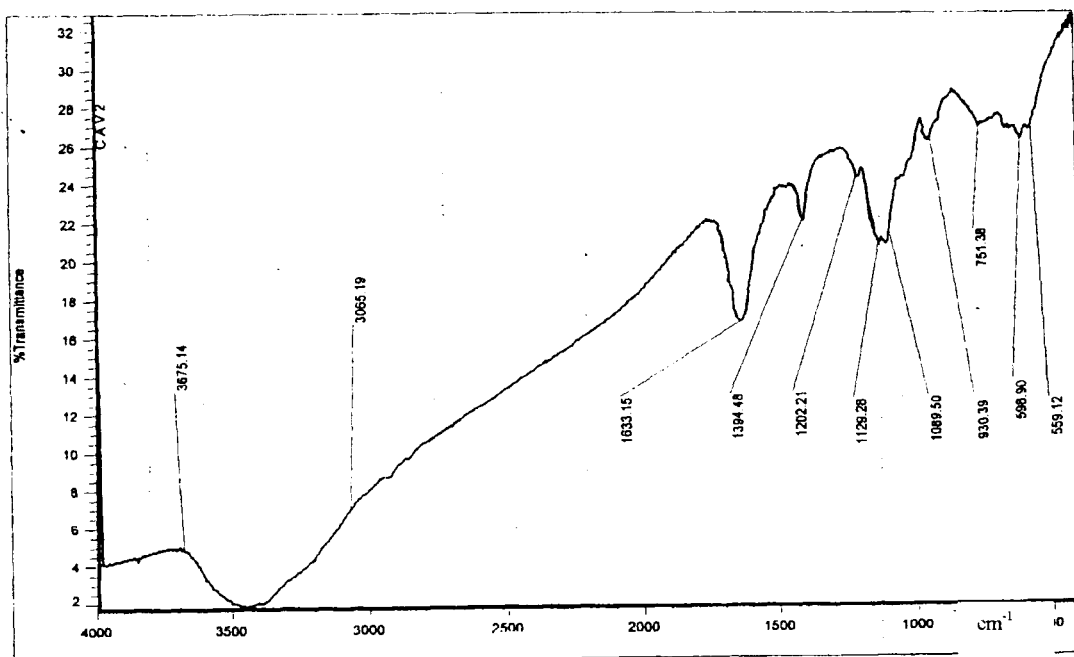
Photographies sur M.B.E de la porosité du CAMC

### 5-2-1-3 Structure superficielle et fonction de surface du CAMC

La détermination de ces paramètres a été réalisée par spectroscopie infrarouge. L'analyse a été faite dans les laboratoires du CRD SONATRACH. L'appareil utilisé est le spectrophotomètre à transformée de Fourier, 560 FTIR. Les résultats de l'analyse figurent dans le tableau n°1

Tableau N°1 :Fonction de surface du CAMC

Bandes de vibrations cm <sup>-1</sup>	Attributs
3450	(O - H) lié
1633,15	C = C (aromatique)
1394,48	OH (plan)
1202,21	CO
1129,28	OP (métal - oxygène)
930,39	MO (métal - oxygène)
1089,50	O - P (oxygène- hétéro carbone)
751,38	M -O -P

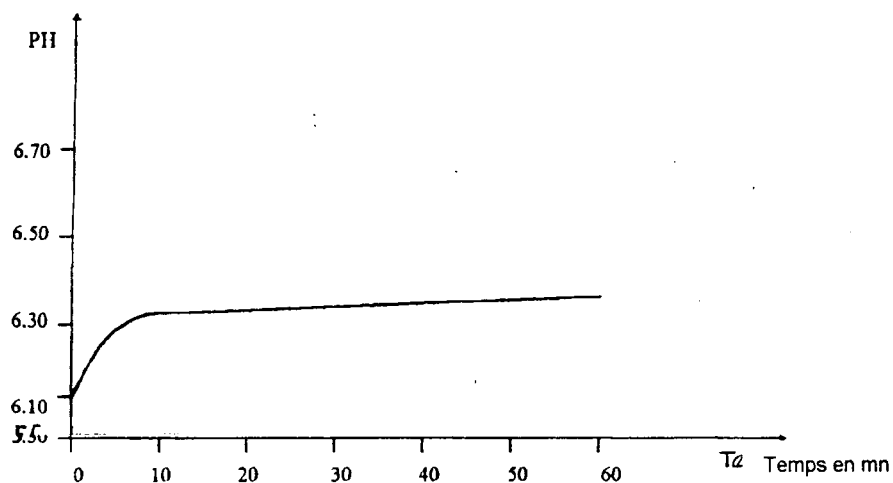


Graph N°1 :Bandes de vibration

On remarque la présence des groupements hydroxyles liés à la décomposition des bicarbonates de calcium ainsi que la présence des liaisons dues à des ions métalliques - oxygènes du type M - O - M .

#### 5-2-1-4-Etude acido-basique.

Elle est déterminée par à l'aide du pH-mètre. On évalue l'évaluation du pH de l'eau en fonction du temps au cours duquel on plonge le CAMC dans l'eau. Les ions  $\text{OH}^-$  (hydroxyles) sont libérés dans l'eau et influent sur le pH de la solution.

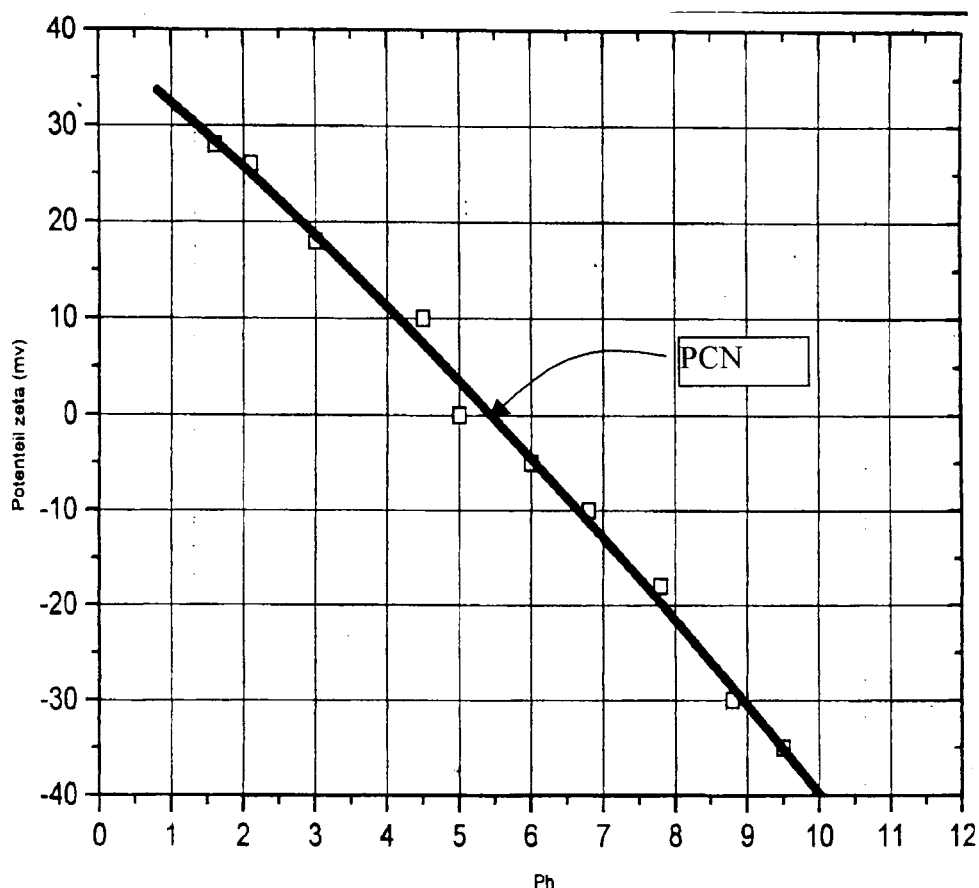


Graphique N°2 : évolution du pH du CAMC en fonction du temps de séjour

#### 5-2-1-5-Etude du Potentiel « ZETA »

Il établit des charges nulles (PCN) ou le potentiel ZETA est nul et la valeur du pH est de 5,5. L'étude CAMC présente des charges négatives pour des valeurs de pH supérieures au PCN. Elle serait due à la présence des groupements fonctionnels oxygénés.

L'analyse a été réalisée sur un appareil : MICROMETRICS ZETA POTENTIEL ANALYSER au laboratoire de SONATRACH-CRD (Boumerdes).



Graph N°3 : Evolution du potentiel zêta en fonction du Ph

## 5-3-ETUDE DYNAMIQUE

### 5-3-1-Préparation des solutions colorantes

Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé deux colorants (rose direct et rouge réactif). Ces deux colorants ont été dissous dans de l'eau distillée à des concentrations de 10 mg/l.

Le pH des solutions des deux colorants est égal à 5,5 ; et Pour des raisons de calcul, les courbes d'étalonnage ont été déterminées pour les deux colorants (voir en annexe)

### 5-3-2-Préparation de la colonne

Le charbon actif du marc de café granulé, une fois pesé en fonction de la hauteur choisie est laissé s'imprégner d'eau pendant 24 heures. Il est ensuite placé dans la colonne et les précautions sont prises pour éviter toute présence de bulles d'air dans la colonne humide. La couche de charbon actif sera protégée de



billes de polystyrène afin de mieux répartir le flux de solution colorante et éviter la formation de chemin préférentiel. L'alimentation de la colonne se fait de haut en bas à partir d'une pompe péristaltique à débit variable. L'arrivée de la solution colorante dans la colonne se fait grâce à un répartiteur (voir Figure 7)

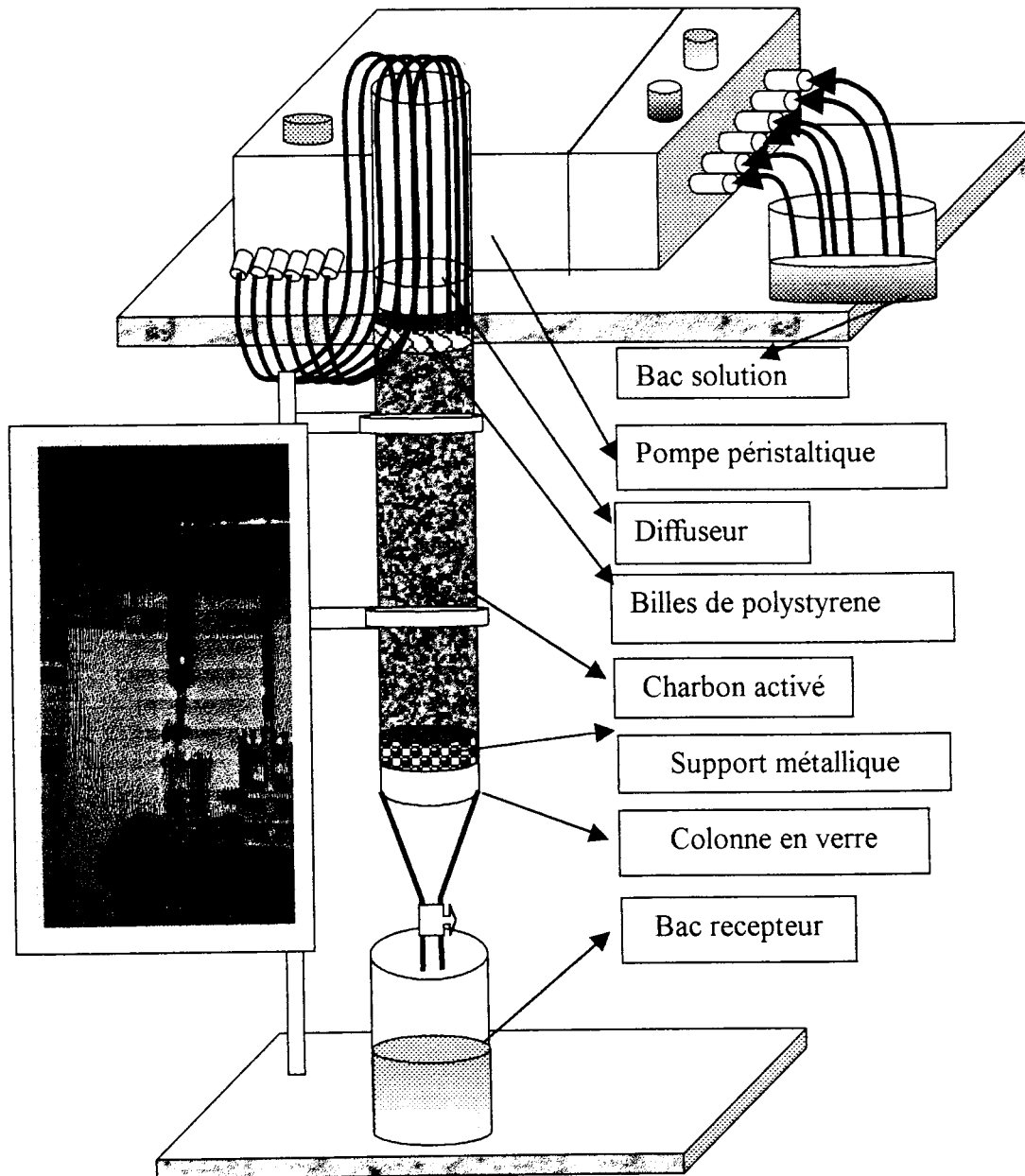


Figure N°7 :Schéma du dispositif expérimental  
De la colonne d'adsorption

Une fois le débit d'alimentation et la hauteur de la colonne fixés, on met en marche la pompe péristaltique et le liquide de colorant est récupéré dans une fiole jaugée et en fonction du temps les volumes récupérés sont analysés. Les concentrations résiduelles du colorant sont relevées et les courbes de percées tracées, graphes

La concentration du colorant est déterminées par spectrophotométrie d'adsorption atomique.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

- Débits : 0,55 - 0,99 - 1,12 - 1,31 - 1,57 l/h.
- Hauteur de la couche de charbon actif :
  - \* H = 5 cm → masse de charbon actif = 10,59 g/l.
  - \* H = 10 cm → masse de charbon actif = 21,35 g/l.
  - \* H = 15 cm → masse de charbon actif = 29 g/l.
- La concentration de percée :  $C_p = 5\%$  de  $C_0$  2,5 mg/l.
- La concentration de saturation :  $C_p = 90\%$  de  $C_0$  4,5 mg/l.

### 5-3-3-Etablissement des différents paramètres expérimentaux

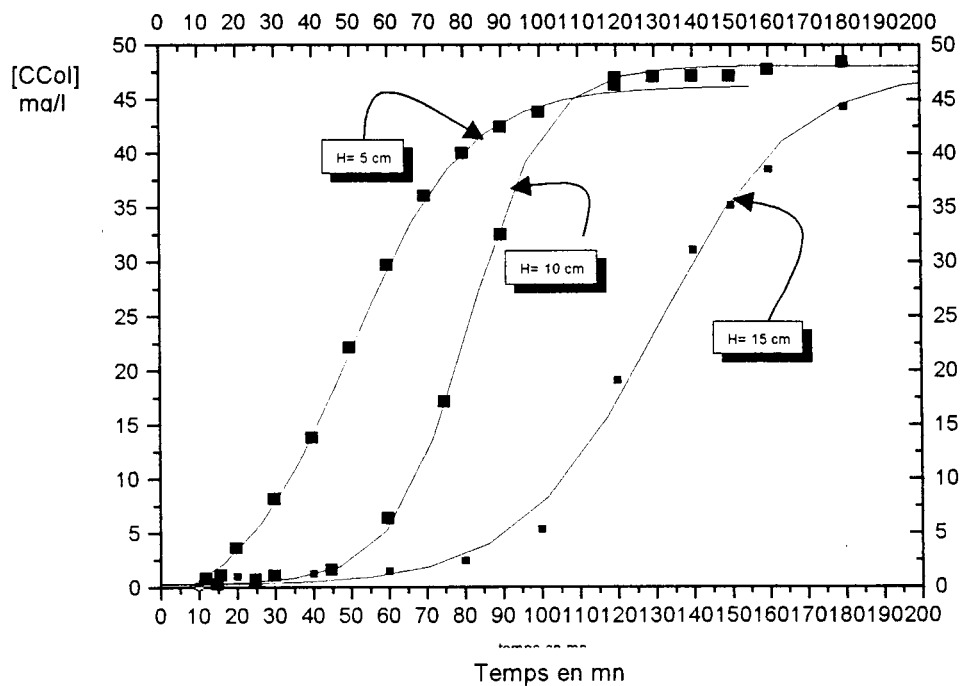
Une fois les courbes de percées spécifiques a chaque couple de débit et de hauteur sont établies, on relève les temps de percée et de saturation par lecture graphique directe .ces derniers paramètres nous permettent d'évaluer les volumes de percée et de saturation pour chaque couple de débit et de hauteur en utilisant respectivement les formules (28 ) et (29 ) et a partir de la formule (26 ) on calcule la hauteur de la zone de transfert de matière et la vitesse de déplacement de la zone de transfert de matière est évaluée d'après la formule (25 ) .

Graphiquement on établi la zone d'optimisation ,en utilisant le rapport  $H_{ZTM}/H$ , enfin la détermination des quantités adsorbées au point de percée et de saturation sont déterminées graphiquement. Les résultats sont récapitulés dans le tableaux (3) pour le colorant rose réactif et le tableau (4) pour le rouge direct.

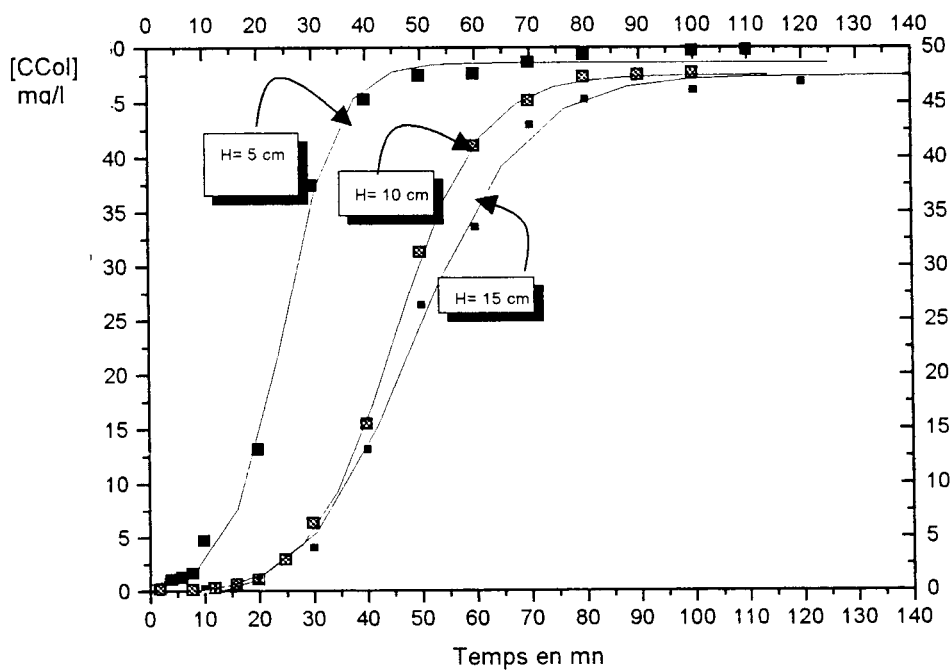
### 5-3-4-Etablissement des courbes de percées

#### 5-3-4-1-Evolution des courbes de Percée du colorant Rose direct pour différents débits volumiques et en fonction des hauteurs

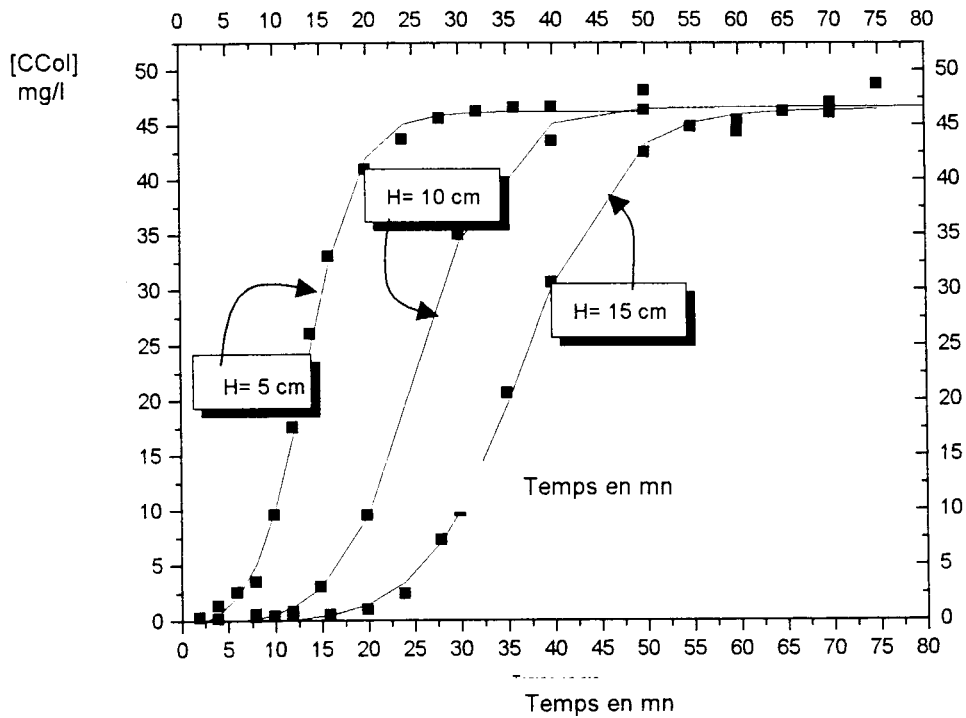
Graphe n°4: Debit = 0.55 l/h



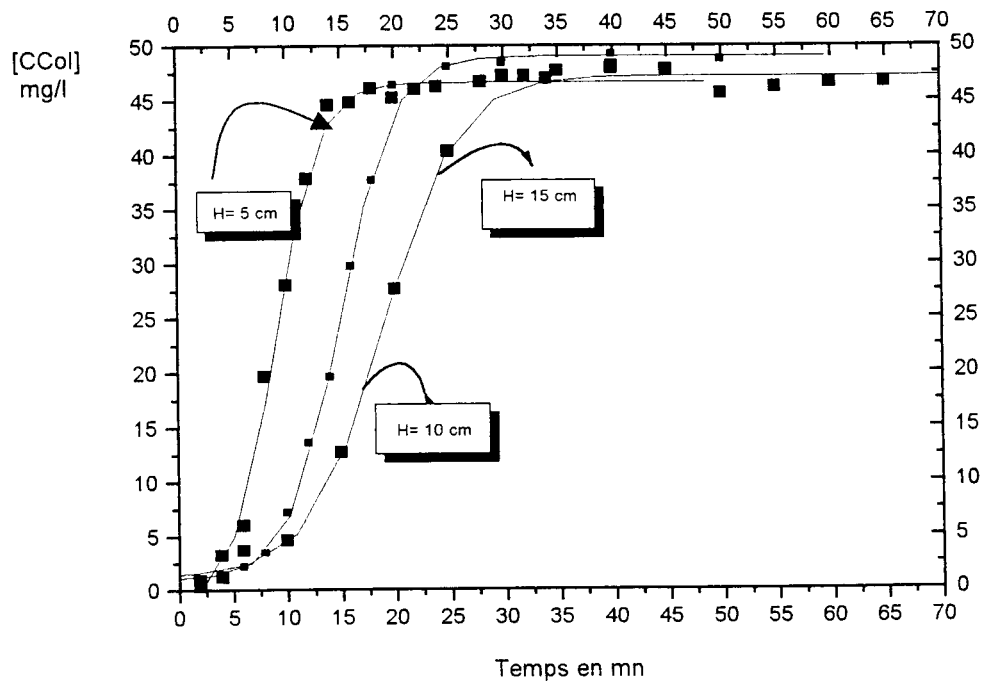
Graphe n°5 :Debit = 0.99 l/h



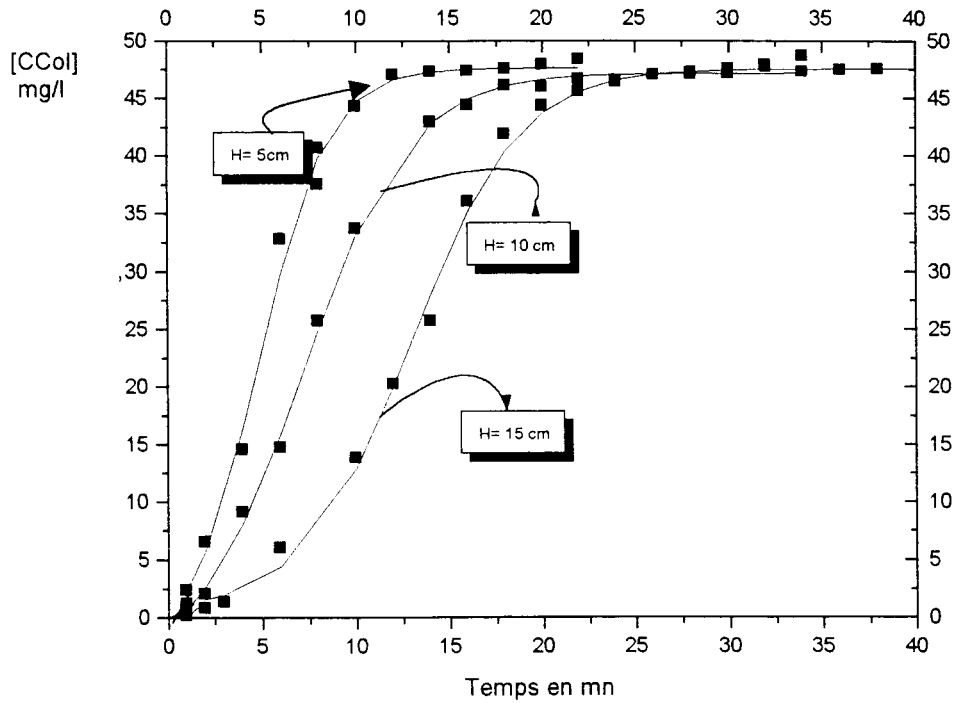
Graphe n° 6: Debit = 1.12 l/h



Graphe n°7 Debit = 1.31 l/h



Grphe n°8 :Débit = 1.55 l/h.



Modèle mathématique des courbes de percée  
 L'allure des courbes obéit au modèle de BOLTZMAN  
 Dont l'équation est du type :

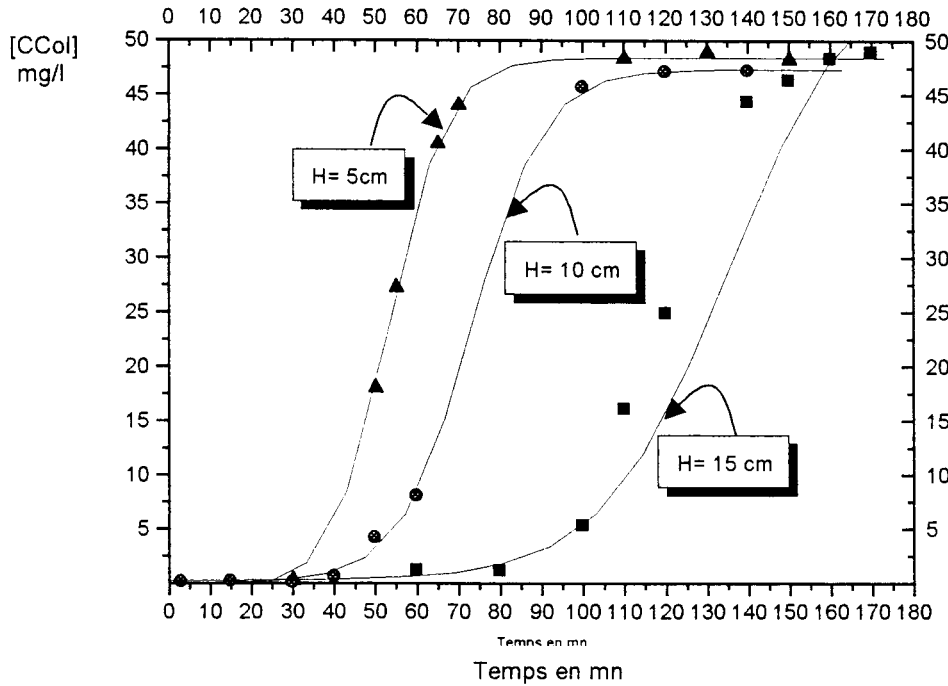
$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 - e^{-(x-x_0)/dx}} + A_2$$

et avec les paramètres suivants

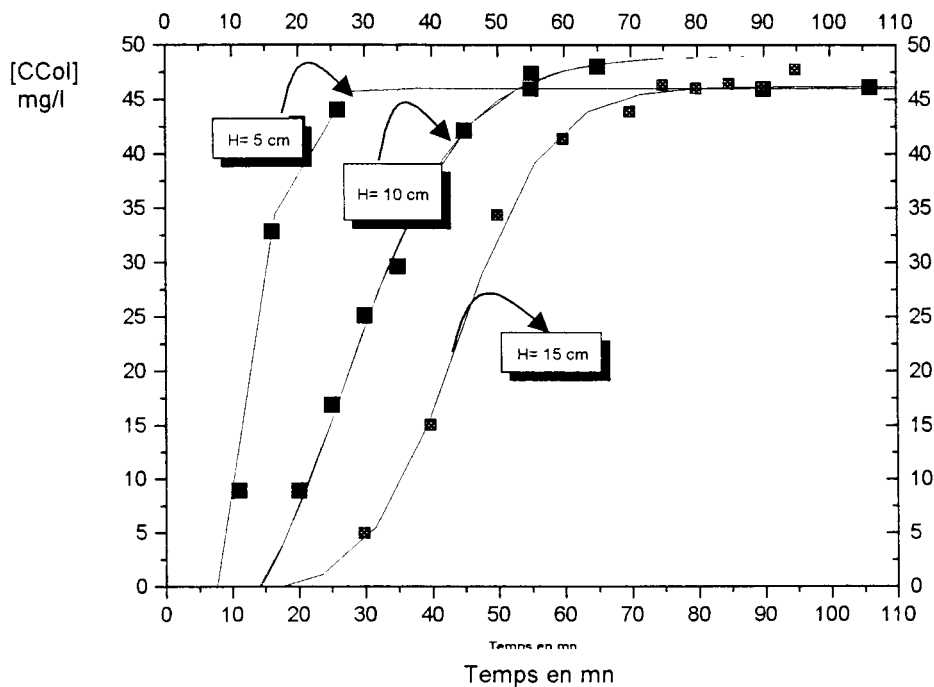
$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{ccc}
 4.18 < A_1 < 3.291 \\
 (Q=0.55 \text{ l/h-H=5m}) & 1 & (Q=1.51 \text{ l/h-} \\
 & & \text{H=15m}) \\
 \text{"-"} & 46.04 < A_2 < 47.37 & \text{"-"} \\
 \text{"-"} & 13.292 < x_0 < 50.501 & \text{"-"} \\
 \text{"-"} & .380 < dx < 16.24 & \text{"-"}
 \end{array}
 \end{array}$$

**5-3-4-2-Evolution des courbes de Percée du colorant Rouge réactif pour différents débits volumiques et en fonction des hauteurs**

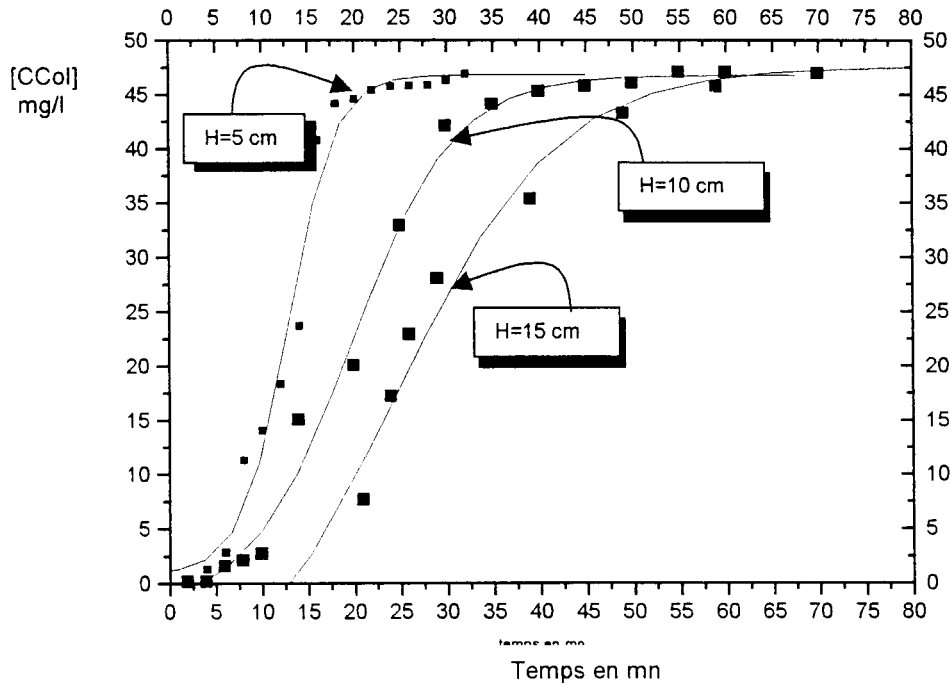
**Graphe n°9: Debit = 0.55 l/h**



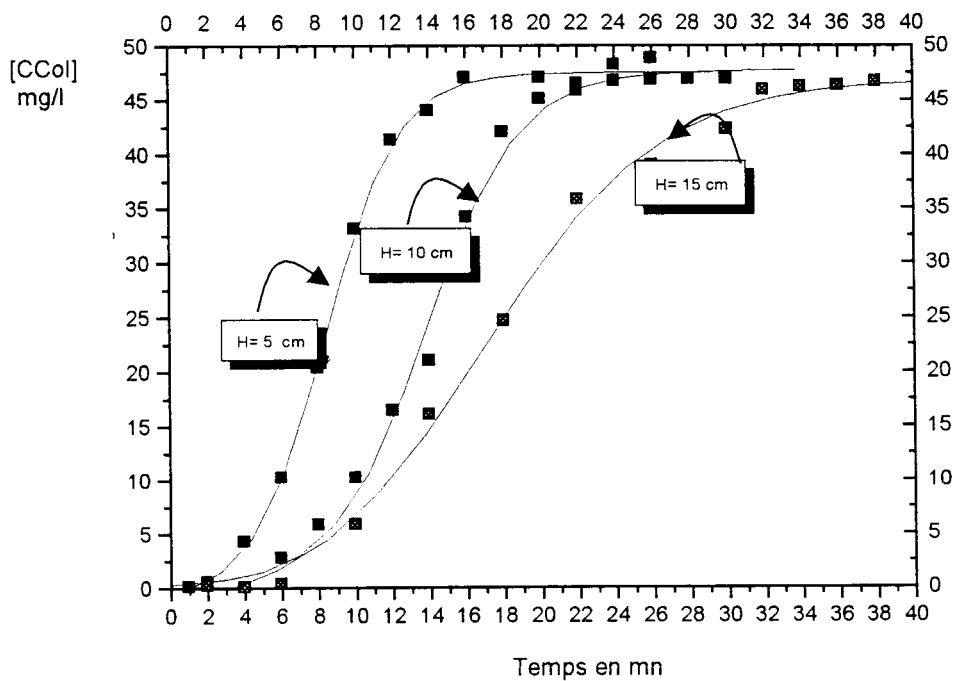
**Graphe n°10 Debit = 0.99 l/h**



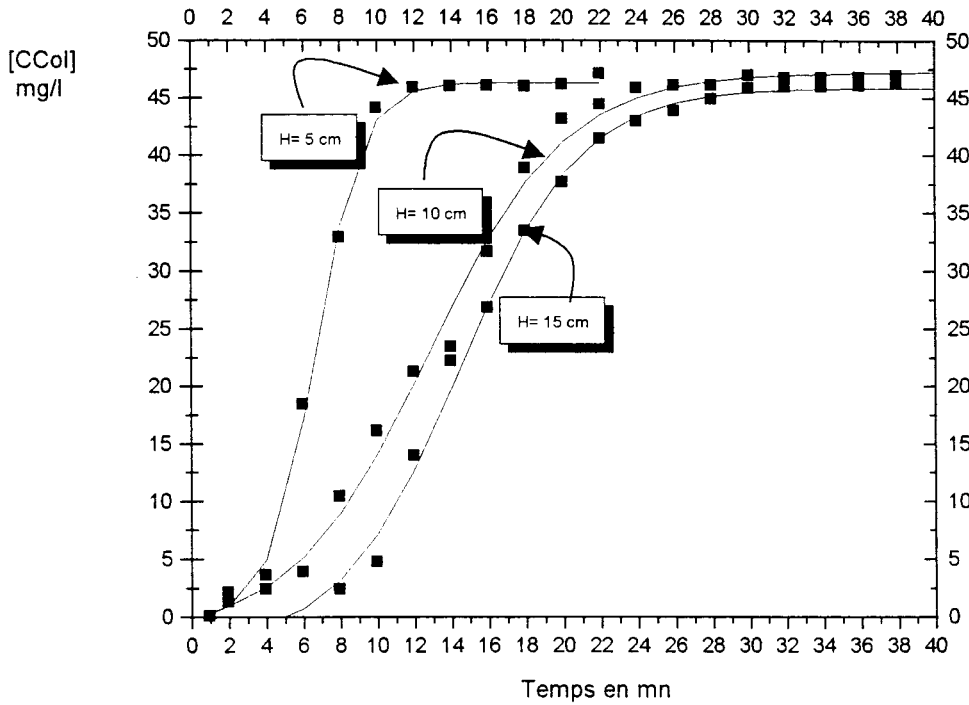
Graphe n°11: Debit = 1.12 l/h



Graphe n°12: Debit = 1.31 l/h



Graphe n°13: Debit = 1.51 l/h



Modèle mathématique des courbes de percée  
 L'allure des courbes obéit au modèle de BOLTZMAN  
 Dont l'équation est du type :

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 - e^{-(x-x_0)/dx}} + A_2$$

et avec les paramètres suivants

$(Q=0.55 \text{ l/h}-H=5\text{m})$	$-4.18$	$< A_1$	$< -3.291$	$(Q=0.55 \text{ l/h}-$
		$\frac{1}{H=5\text{m}})$		
"-	$46.04$	$< A_2$	$< 47.37$	"-
"-	$13.292$	$< x_0$	$< 50.501$	"-
"-	$.380$	$< dx$	$< 16.24$	"-



### 5-3-4-3 Tableau récapitulatif des différents paramètres de transfert pour le colorant rose direct

débits	Hauteur	Tp	Ts	Vp	Vs	H <sub>ZTM</sub>	U <sub>(ZTM)</sub>	H <sub>z</sub> /H	Xp	Xs
L/h	cm	mn	Mn	l	L	cm	m/mn		mg/g	mg/g

Q=0.55	H= 5cm	16.5	04.70	0.15	0.96	2.5	1.2	0.5	1.06	2.75
	H=10cm	46.35	111.6	0.42	1.023	5.4	4.9	0.54	1.075	2.94
	H=15cm	82.41	177.8	0.75	1.63	8.42	5.2	0.56	1.092	3.04

Q=0.99	H=5cm	9.88	39.4	0.163	0.65	3.09	5.94	0.62	0.92	1.66
	H=10cm	23.47	70.30	0.38	1.16	6.43	8.06	0.64	0.93	1.80
	H=15cm	22.40	79.4	0.36	1.31	9.92	9.14	0.66	0.94	1.95

Q=1.12	H=5cm	5.68	23.58	0.106	0.44	3.39	11.3	0.67	0.86	1.07
	H=10cm	12.10	41.8	0.225	0.78	6.77	13.26	0.67	0.88	1.28
	H=15cm	20.50	55.4	0.38	1.034	10.19	17.43	0.75	0.90	1.41

Q=1.31	H=5cm	3.21	14.42	0.07	0.315	3.78	20.17	0.75	0.82	0.77
	H=10cm	5.30	21.52	0.115	0.47	0.99	22.1	0.69	0.855	0.82
	H=15cm	5.41	31.60	0.124	0.69	10.94	27.9	0.9	0.856	0.96

Q=1.51	H=5cm	1.98	11.20	0.049	0.282	5.83	37.02	1.16	0.79	0.28
	H=10cm	2.31	15.49	0.058	0.39	1.85	38.98	1.18	0.80	0.38
	H=15cm	3.60	20.66	0.081	0.52	2.65	41.04	1.22	0.82	0.53

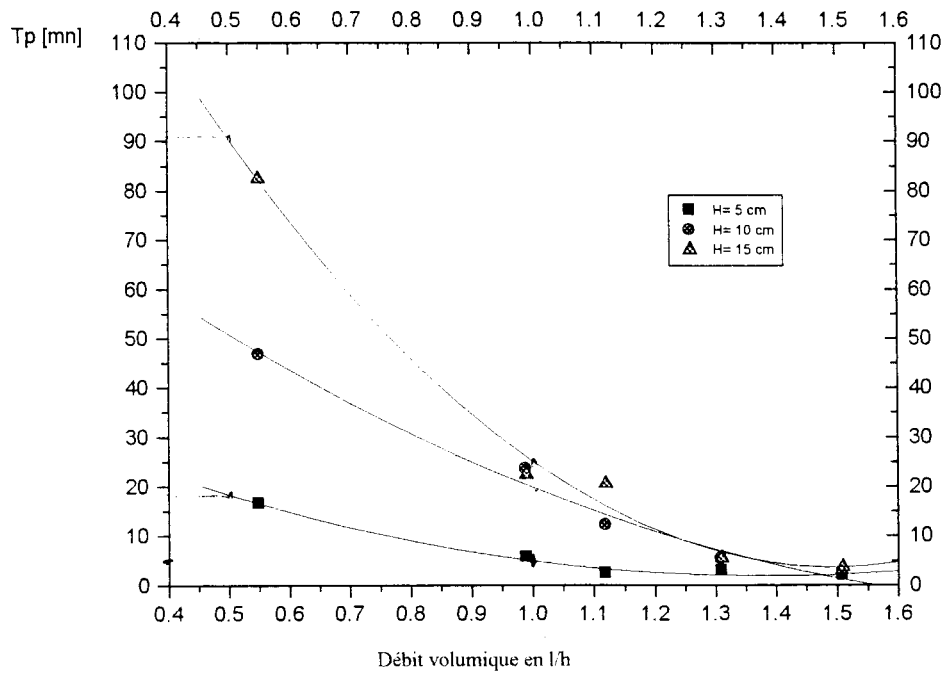
### 5-3-4-4-Tableau récapitulatif des différents paramètres de transfert pour le colorant rouge réactif

débits	Hauteur	Tp	Ts	Vp	Vs	H <sub>ZTM</sub>	U <sub>(ZTM)</sub>	H <sub>Z</sub> /H	Xp	Xs
L/h	cm	mn	mn	L	L	cm	m/mn		mg/g	mg/g
Q=0.55	H= 5cm	36.23	74	0.326	0.68	0.43	0.64	0.25	1.09	2.72
	H=10cm	52	100.5	0.92	0.92	5.07	6.75	0.12	1.11	2.70
	H=15cm	70.12	147.3	1.35	1.35	9.47	7.2	0.046	1.13	2.68
Q=0.99	H=5cm	7.62	30	0.125	0.498	4.75	12.6	0.96	0.93	1.87
	H=10cm	15.6	48.6	0.226	0.802	8.38	14.4	0.83	0.95	1.88
	H=15cm	25.6	73.3	0.408	1.21	12.12	14.78	0.80	0.97	1.86
Q=1.12	H=5cm	4.15	21	0.084	0.398	5.25	18.72	1.05	0.89	1.74
	H=10cm	9.2	36.9	0.163	0.689	9.15	19.45	0.9	0.91	1.73
	H=15cm	15.6	51.9	0.29	0.97	12.95	21.23	0.86	0.93	1.74
Q=1.31	H=5cm	3.60	14.65	0.078	0.32	6.16	24.93	1.12	0.85	1.57
	H=10cm	8.32	27.7	0.11	0.605	9.69	25.61	0.96	0.87	1.51
	H=15cm	12.45	40.25	0.27	0.879	13.07	28.28	0.87	0.89	1.47
Q=1.51	H=5cm	3.17	11.9	0.059	0.30	6.92	32.18	1.22	0.82	1.35
	H=10cm	4.62	23.8	0.094	0.60	10.29	33.40	1.02	0.84	1.28
	H=15cm	7.76	30.1	0.19	0.76	13.65	36	0.91	0.86	1.20

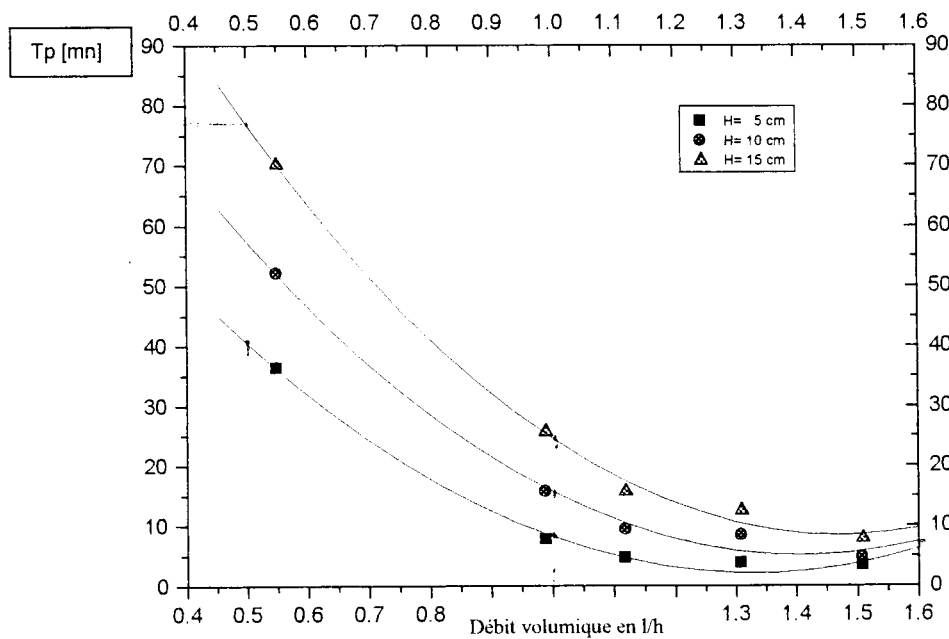
**5-3-5-Expressions des données expérimentales**

**5-3-5-1-Evolution du temps de Percée -tp-  
-en fonction du Débit.**

**Graphe n°14 : Pour le Colorant rose direct**

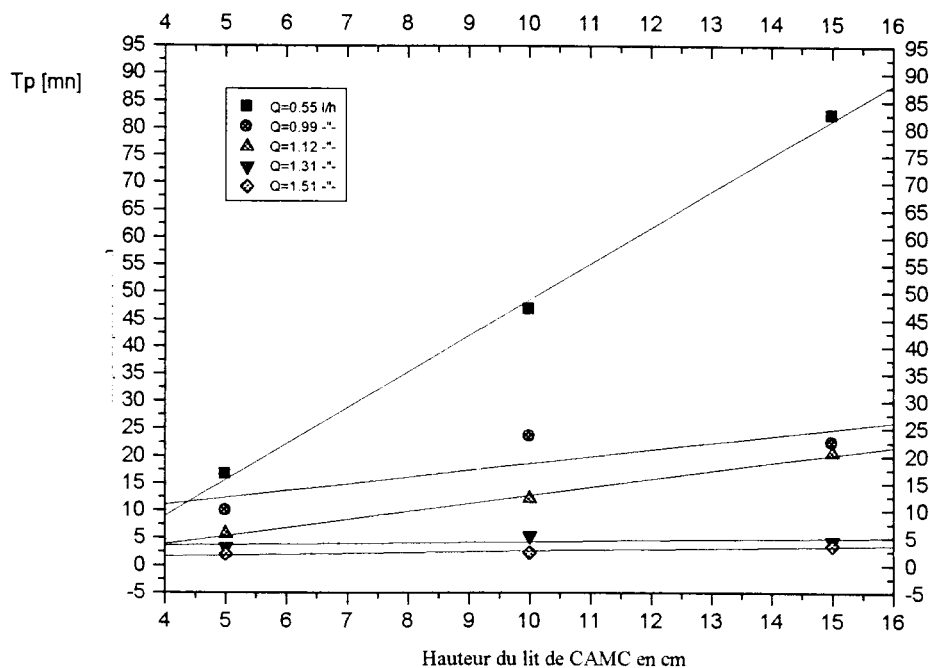


**Graphe n°15 -Pour le Colorant rouge réactif**

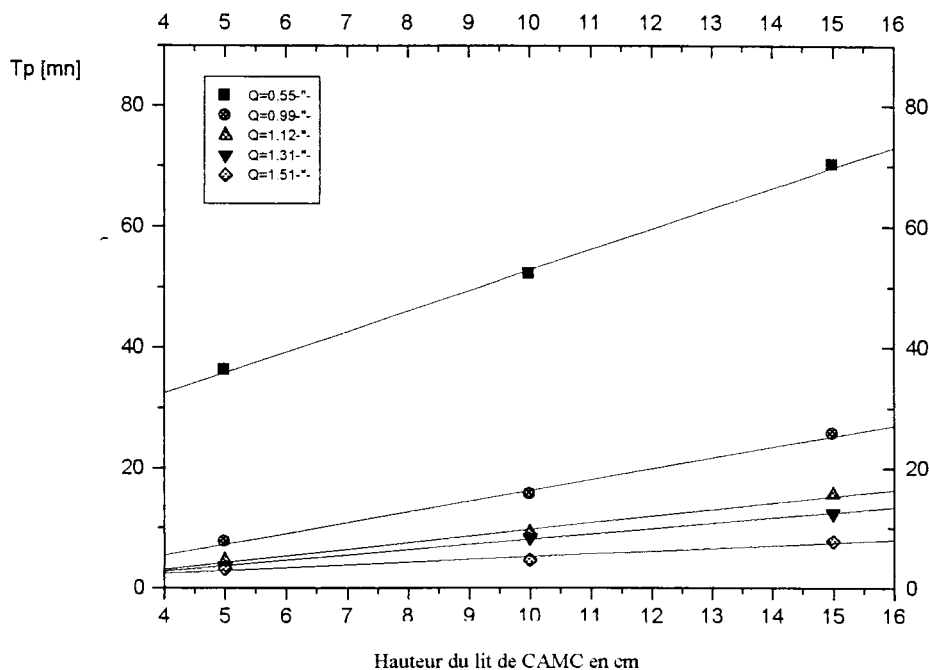


**-En fonction de la hauteur du lit de CAMC**

**Graphe n°16 : -Pour le colorant Rose direct**



**- Graphe n°17: Pour le colorant Rouge réactif**



### Modèles mathématiques pour l'évolution des courbes des temps de percée des deux colorants.

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$T_p = A + B_1 \cdot Q + B_2 \cdot Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	29.664	100.640	94.657	130.578	200.028	177.423
B1	-26.368	-	-100.25	-	-292.905	-242.511
		148.117		178.077		
B2	5.119	55.656	25.404	63.172	87.955	86.648
P	0.023	0.0045	0.0144	0.0065	0.0085	0.02406

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

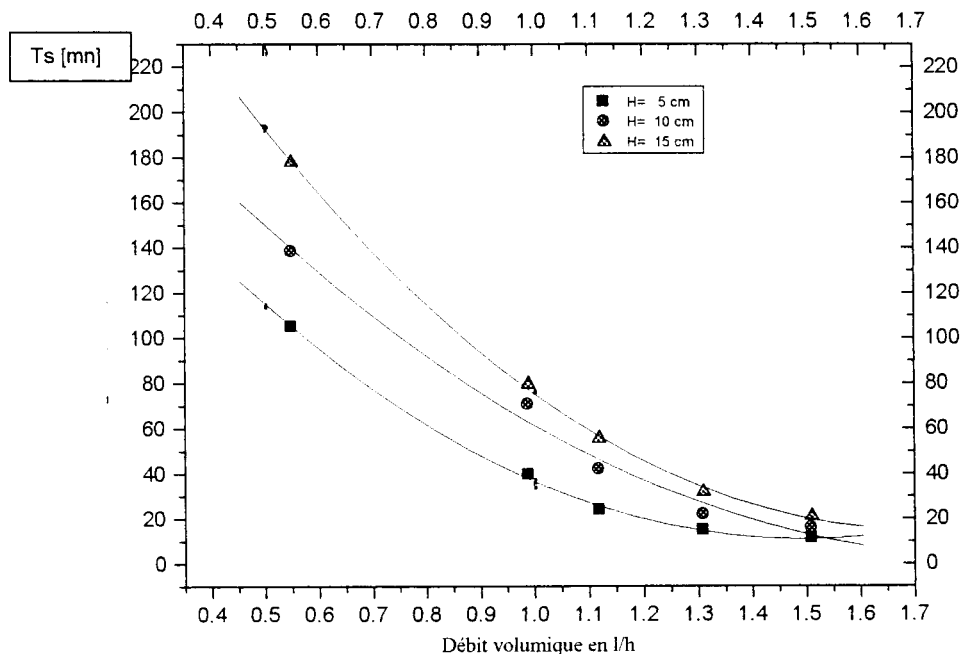
$$T_p = AH+B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

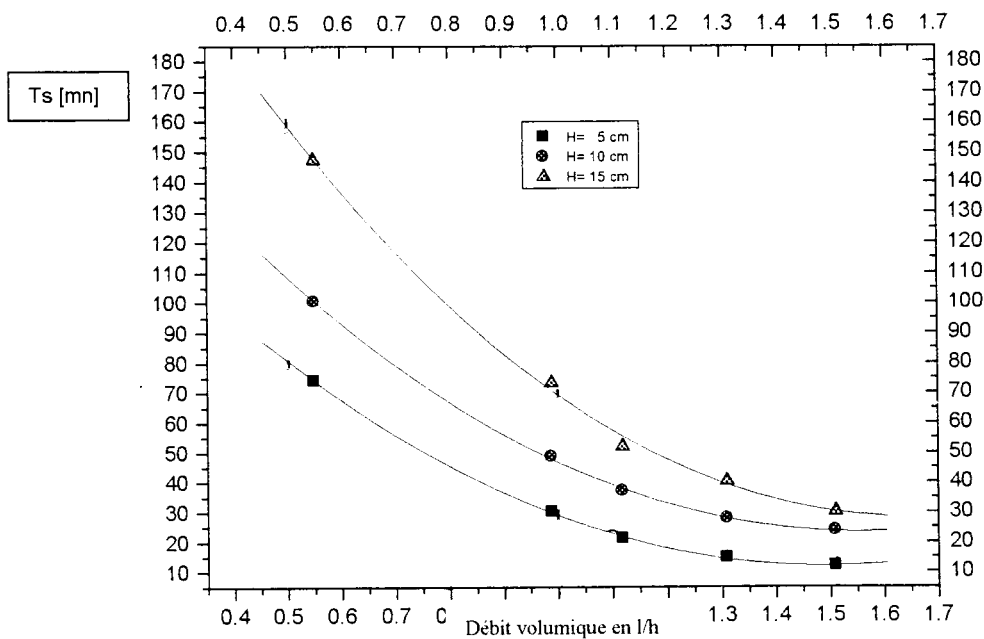
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
Colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	18.89	17.373	-1.70	6.06	-1.32	-2.06	-0.72	3.10	0.95	1.01
B	9.389	6.591	1.79	1.25	1.10	1.48	0.88	0.12	0.459	0.162
P	0.025	0.03	0.04	0.378	0.056	0.49	0.024	0.612	0.133	0.209

**5-3-5-2-Evolution du temps de saturation du lit de CAMC –ts-  
-En fonction du débit volumique**

**Graphe n°18 : -Pour le colorant rose direct**

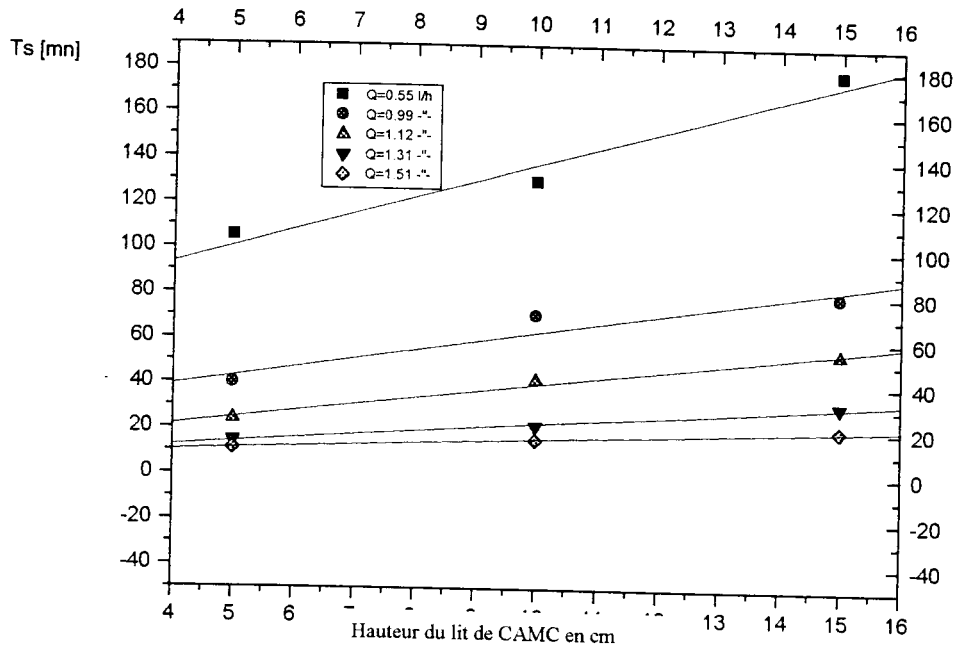


**Graphe n°19: -Pour le colorant rouge réactif**

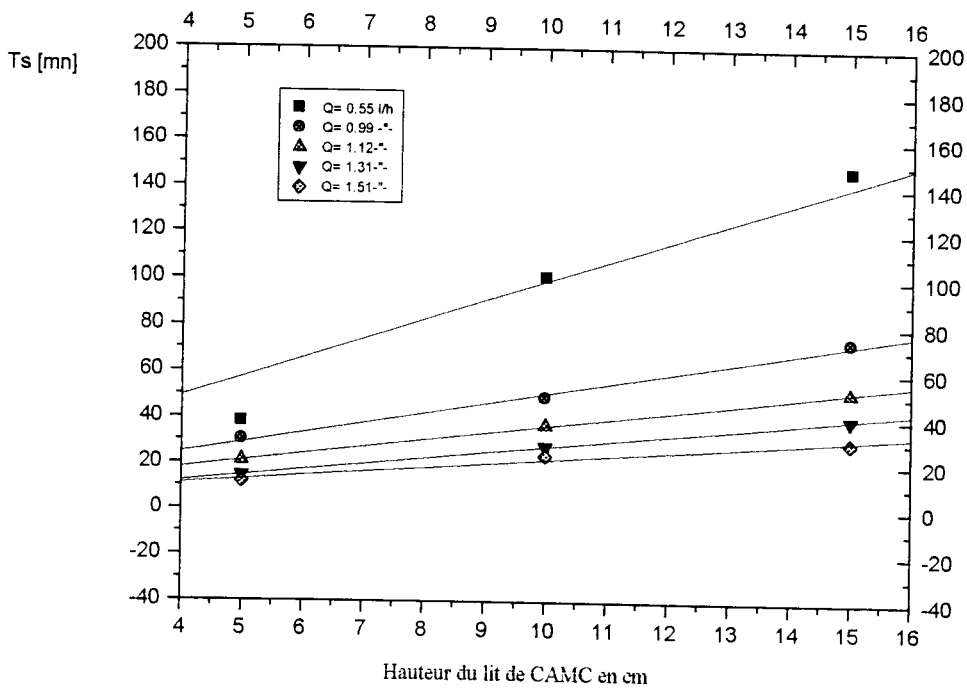


-En fonction de la hauteur du lit de CAMC

Graphe n°20 : -Pour le colorant rose direct



Graphe n°21: -Pour le colorant rouge réactif



**Modèles mathématiques pour l'évolution des courbes des temps de saturation les deux colorants.**

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$T_s = A + B_1 \cdot Q + B_2 \cdot Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H colorant	5 cm		10 cm		15 cm	
	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	246.961	167.585	193.285	208.854	372.319	298.720
B1	-316.64	-	-159.72	-	-421.190	-330.350
B2	106.185	208.532	25.95	239.209	124.193	100.963
P	0.00123	69.855	0.0305	77.159	0.0007	0.00232

**En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques**

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

$$T_p = AH+B$$

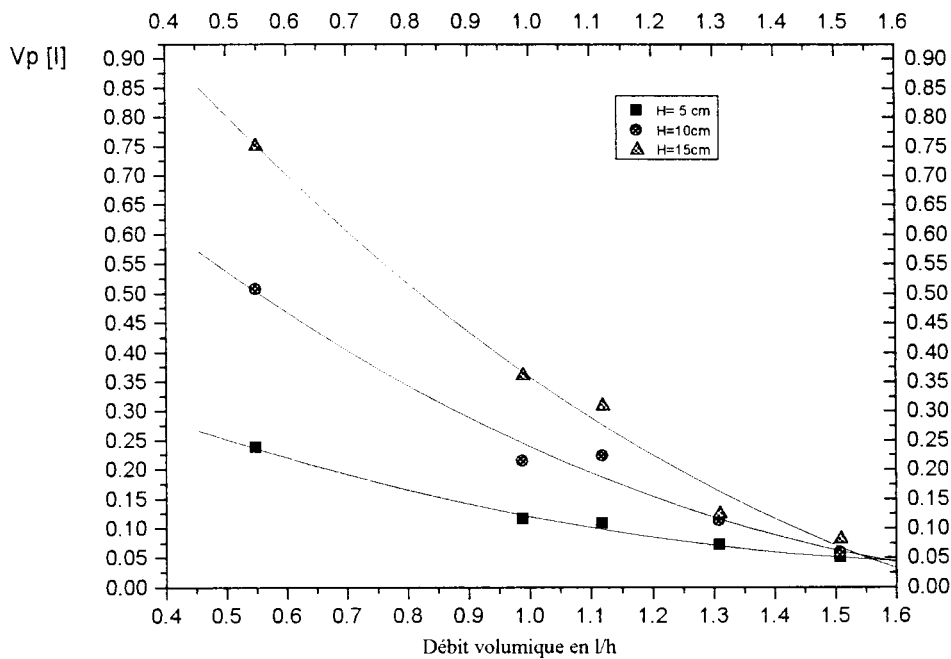
Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

Q Colorant	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	5.33	-	6.323	7.33	26.169	5.7	58.266	1.033	23.033	3.73
B	1.718	46.03	0.946	4.33	10.415	3.09	7.31	2.56	4	1.8
P	0.063	0.108	0.034	0.051	0.003	0.017	0.278	0.007	0.19	0.11

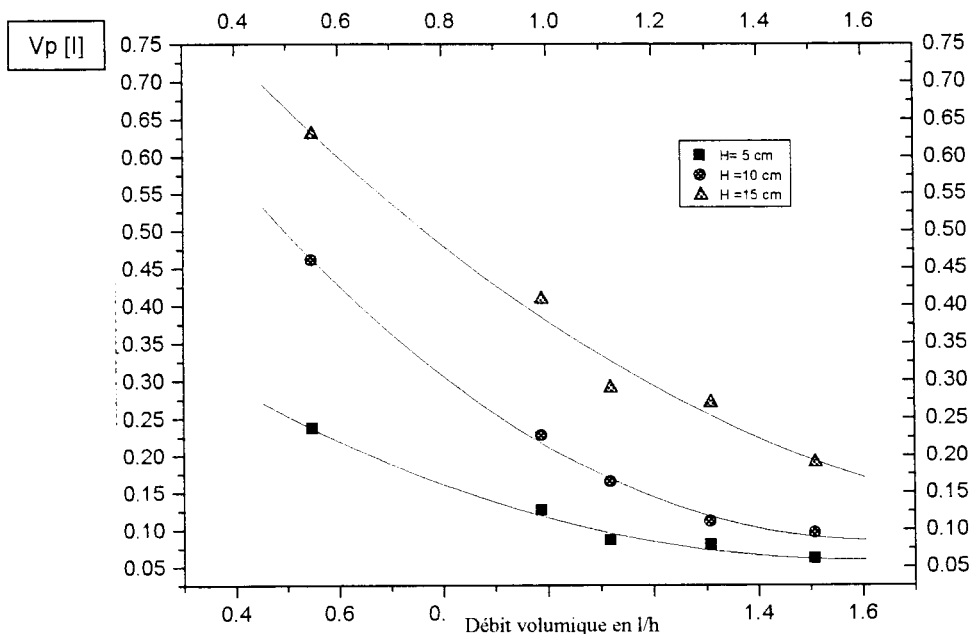


**5-3-5-3-volution du volume de Percée du lit de CAMC -Vp-  
-En fonction du débit volumique**

**Graphe n°22 : -Pour le colorant rose direct**

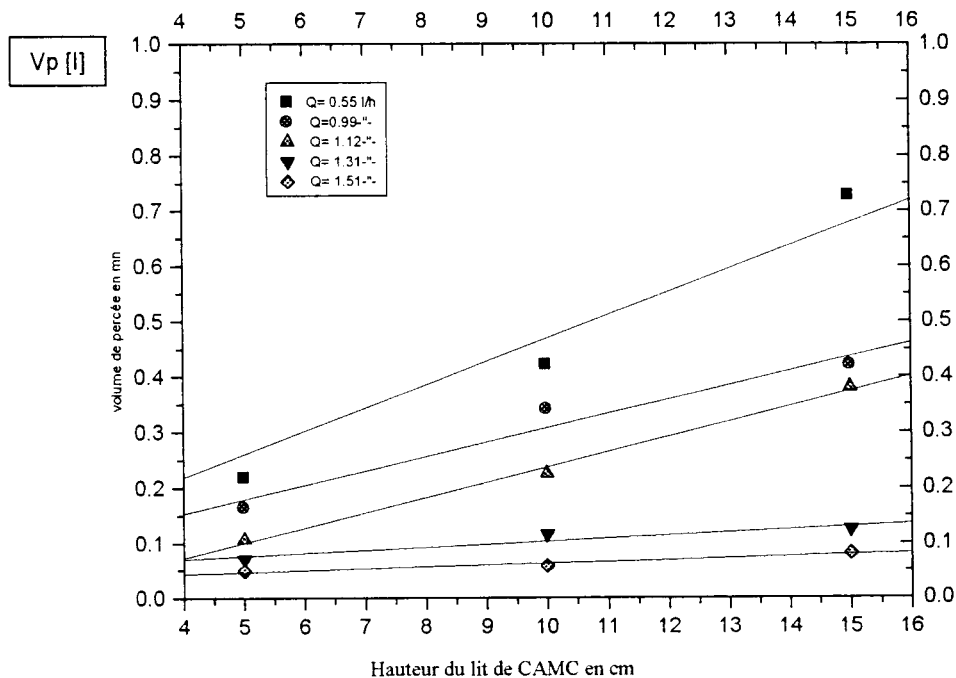


**Graphe n°23: Pour le colorant rouge réactif**

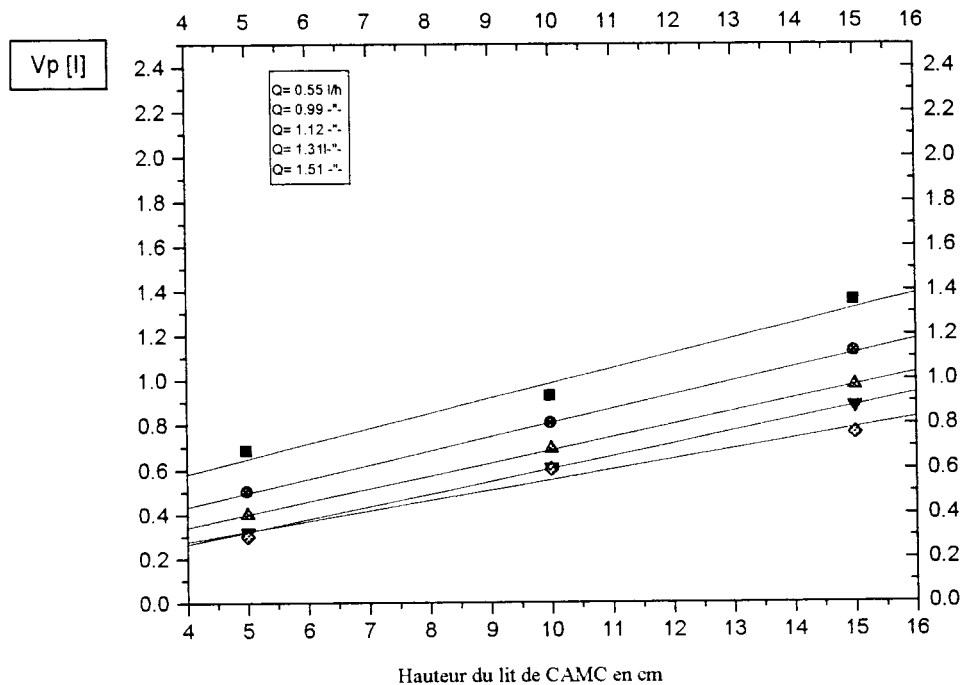


**-En fonction de la hauteur du lit de CAMC**

**Graphe n°24 : -Pour le colorant rose direct**



**Graphe n°25 -Pour le colorant rouge réactif**



**Modèles mathématiques pour l'évolution des courbes des volumes de percées pour les deux colorants.**

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$V_p = A + B_1 \cdot Q + B_2 \cdot Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	0.443	0.473	0.769	0.946	1.286	0.1427
B1	-0.447	-0.522	-0.457	-1.0623	-1.0707	0.2967
B2	0.123	0.164	-0.0166	0.3275	0.1734	0.14419
P	0.00607	0.0105	0.0207	0.00222	0.037	0.0183

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

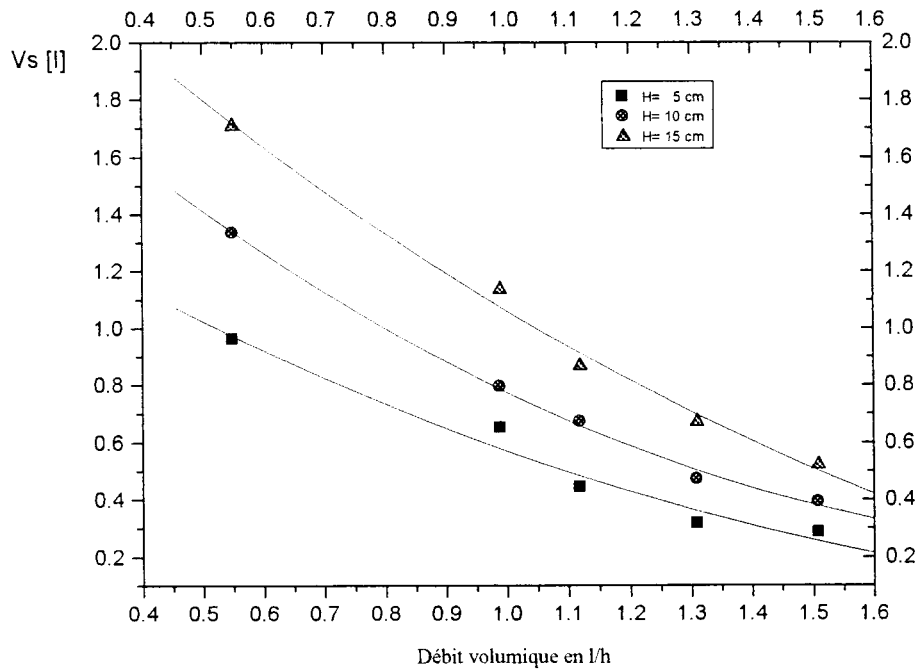
$$T_p = AH+B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

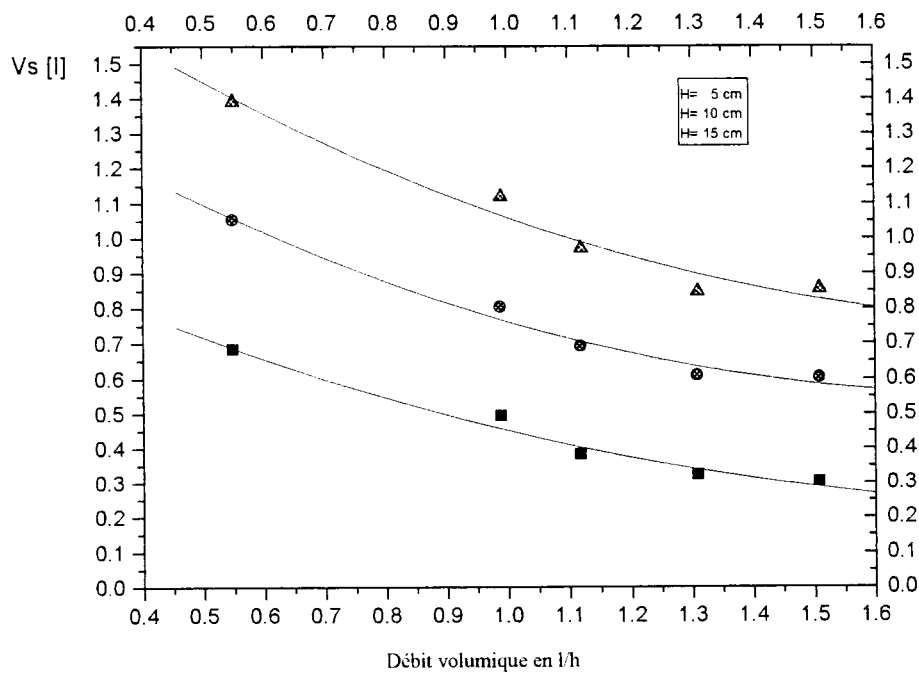
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	0.0505	0.168	0.0506	-0.03	-0.03	-0.02	0.049	-0.03	0.030	-0.01
B	0.0418	0.030	0.0256	0.028	0.027	0.0206	0.0054	0.019	0.0032	0.013
P	<0.000	0.043	0.1371	0.104	0.047	0.085	0.234	0.233	0.156	0.167

**5-3-5-4-Evolution du volume de saturation du lit de CAMC –Vs-  
-En fonction du débit volumique**

**Graphe n°26 : -Pour le colorant rose direct**

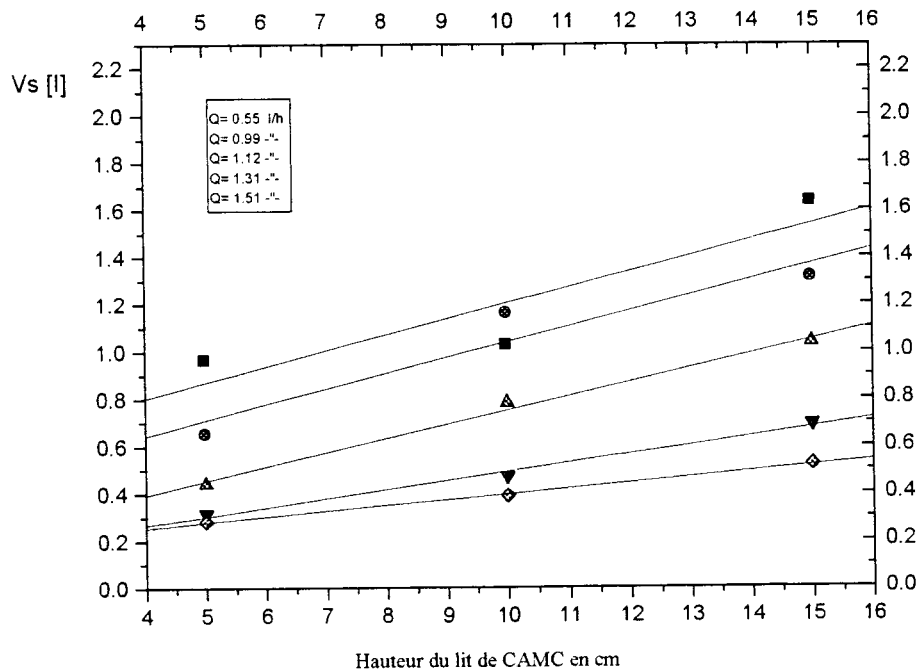


**- Graphe n°27 : Pour le colorant rouge réactif**

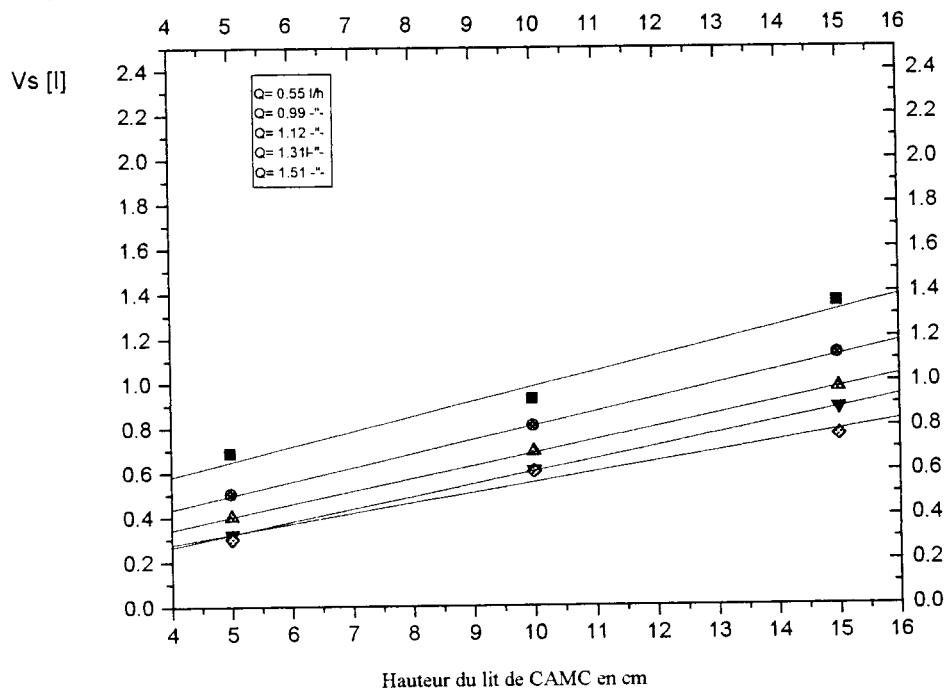


**-En fonction de la Hauteur du lit de CAMC**

**Graphe n°28 : -Pour le colorant rose direct**



**Graphe n°29 : -Pour le colorant rouge réactif**



**Modèles mathématiques pour l'évolution des courbes des volumes de saturation pour les deux colorants.**

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$V_s = A + B_1 \cdot Q + B_2 \cdot Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	1.617	1.08686	1.929	1.589	2.3954	1.998
B1	-1.328	-0.8442	-1.30	-1.1431	-1.4404	-1.260
B2	0.281	0.20855	0.178	0.316	0.12217	0.320
P	0.031	0.023	0.0139	0.018	0.01073	0.03219

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

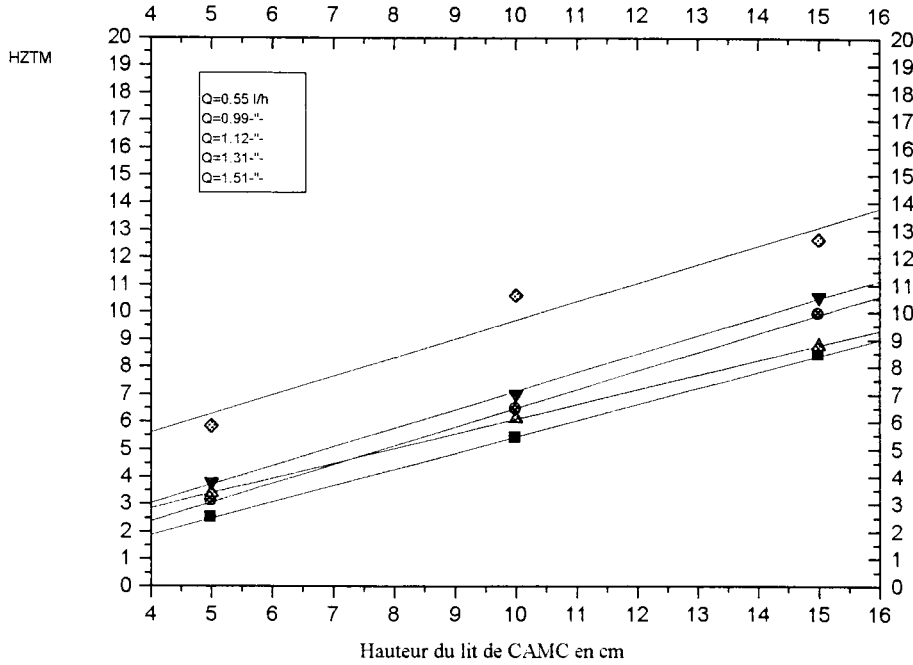
$$T_p = AH+B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

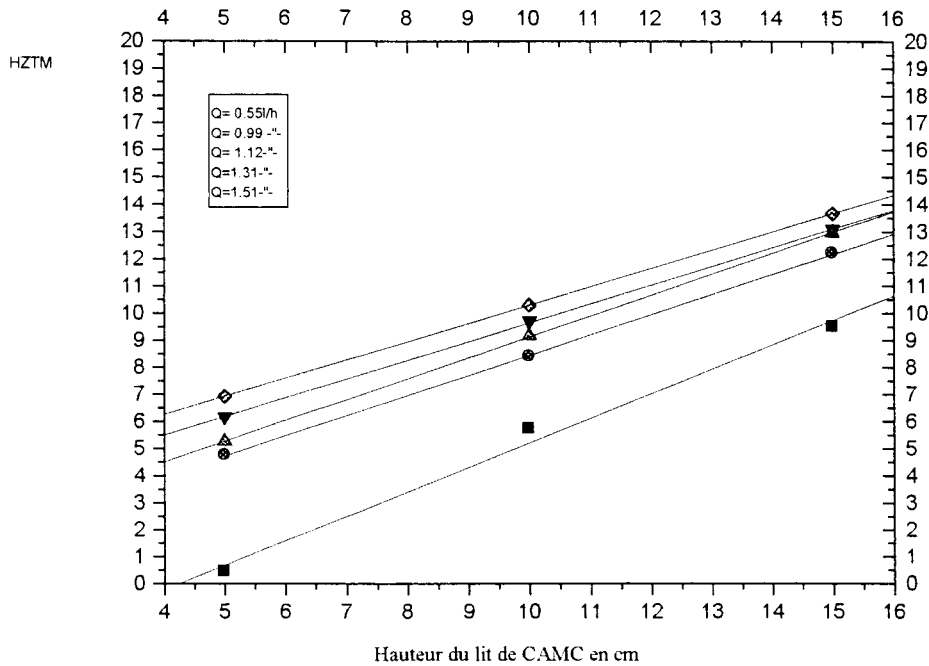
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
Colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	0.534	0.313	0.38	0.184	0.157	0.113	0.116	0.0423	0.159	0.0933
B	0.067	0.067	0.066	0.0622	0.059	0.0572	0.037	0.0559	0.238	0.046
P	0.279	0.103	0.194	0.008	0.053	0.0064	0.0635	0.0072	0.033	0.1107

**5-3-5 Evolution de la Hauteur de La Zone de Transfert de Matière - $H_{ZTM}$ -  
-Fonction de la hauteur du lit fixe de CAMC**

**Graphe n°30 -Pour le colorant rose direct.**

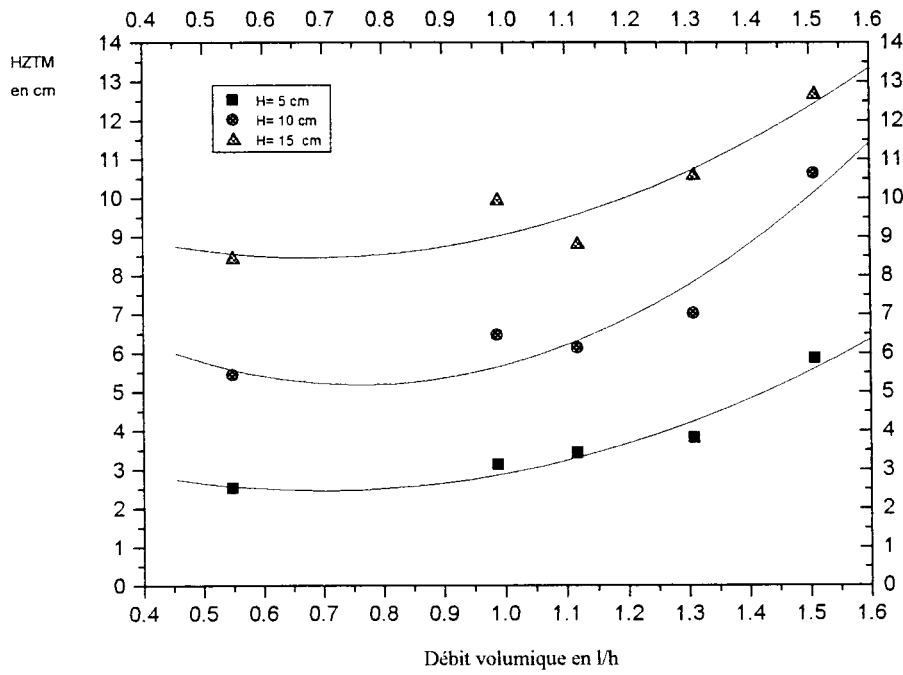


**- Graphe n°31 :- Pour le colorant rouge réactif.**

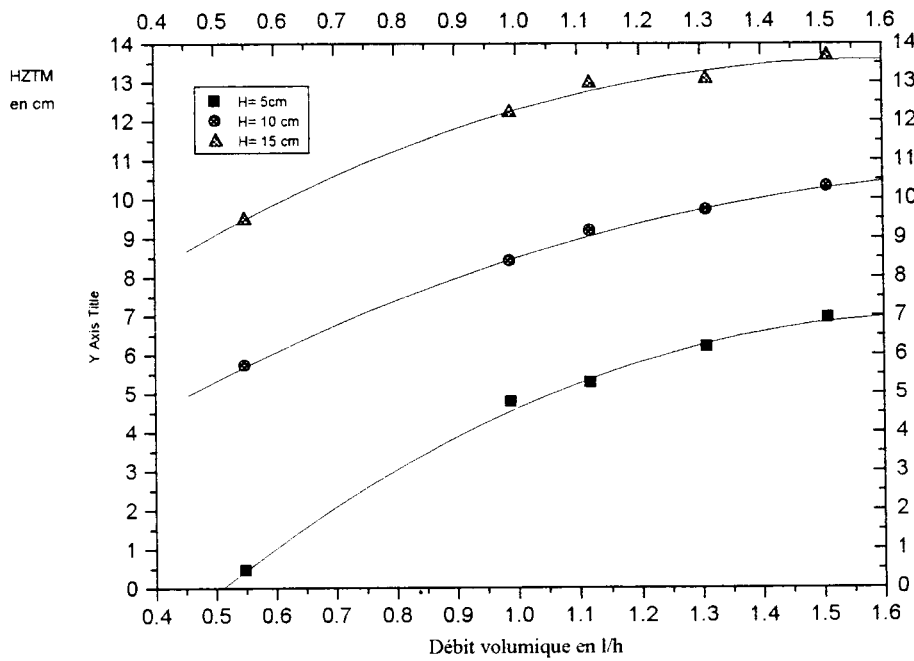


**-En fonction du débit Volumique .**

**- Graphe n°32 Pour le colorant rose direct.**



**- Graphe n°33 :- Pour le colorant rouge réactif.**





**Modèles mathématiques des courbes l'évolution des hauteurs de zone de transfert de matière pour les des deux colorants**

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$HZTM = A + B_1.Q + B_2.Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	-7.396	4.8025	0.7252	10.257	3.954	11.09063
B1	17.076	-6.719	10.593	-13.401	12.1607	-7.7889
B2	-5.0647	4.805	-	8.829	-3.8377	5.7483
P	0.00313	0.0510	2.82701	0.00149	0.0982	0.0089
					0.0089	0.13803

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

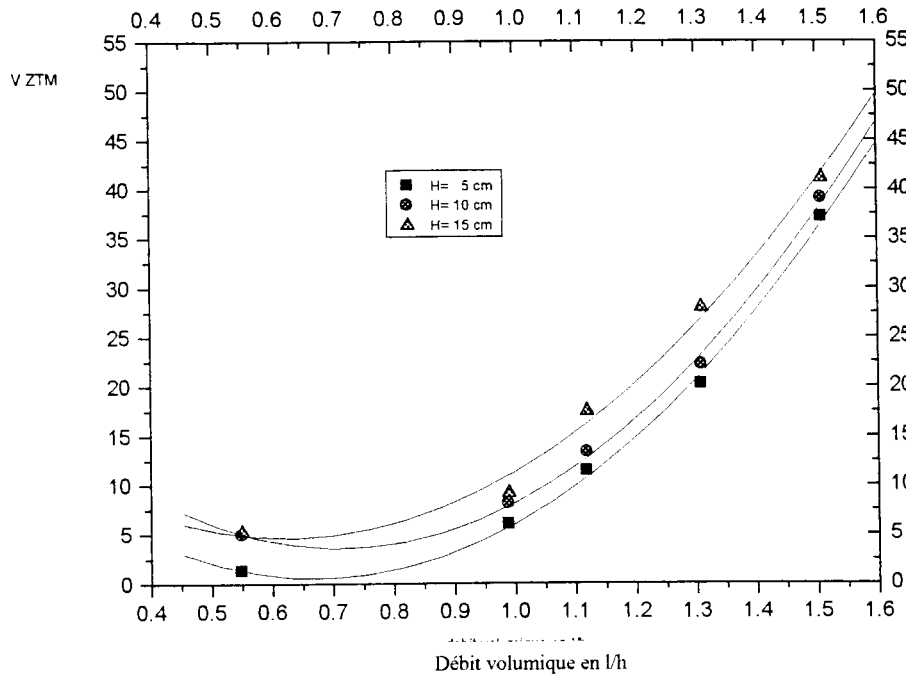
$$T_p = AH+B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

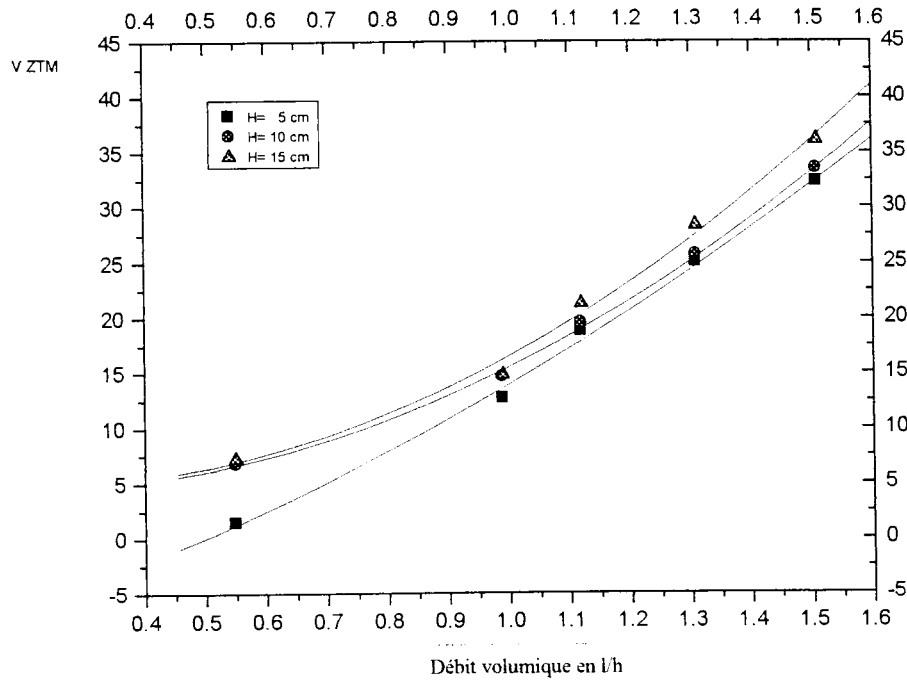
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
Colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	-3.84	-0.48	0.993	-0.35	1.4166	0.706	2.73	0.336	3.556	2.873
B	0.904	0.592	0.745	0.683	0.77	0.538	0.691	0.677	0.673	0.682
P	0.0608	0.007	0.0093	0.008	0.0047	0.0027	0.0079	0.19	0.000	0.144

**5-3-5-6-Evolution de la Vitesse déplacement de la ZTM - $U_{ZTM}$   
- En fonction du débit volumique**

**Graphe n°34 - Pour le colorant rose direct**

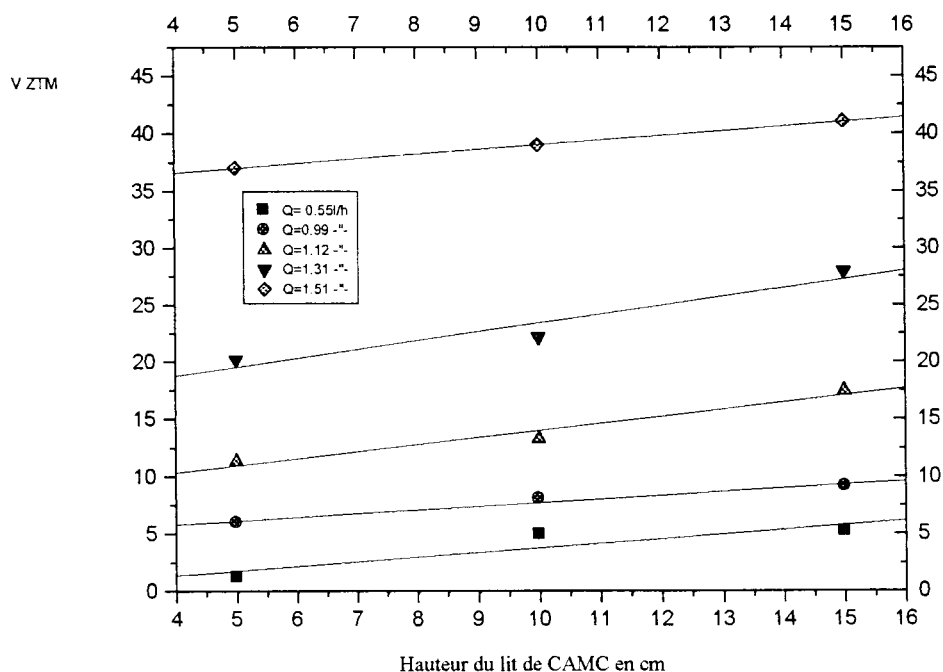


**Graphe n°35 -Pour le colorant rouge réactif**

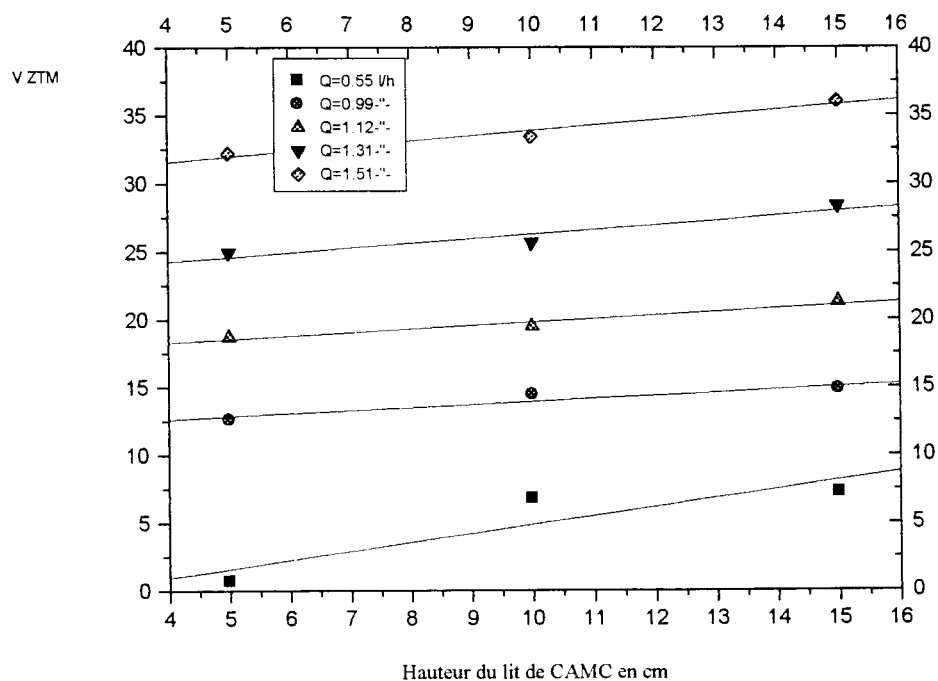


**-En fonction de la hauteur du lit de CAMC**

**Graphe n°36 -Pour le colorant rose direct**



**Graphe n°37 -Pour le colorant rouge réactif**



**Modèles mathématiques pour l'évolution des courbes de vitesse de déplacement de la ZTM pour les des deux colorants.**

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$V_{ZTM} = A + B_1 \cdot Q + B_2 \cdot Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	23.922	-11.997	31.2813	5.0123	23.051	5.731
B1	-69.429	18.915	-77.89	-6.108	-58.984	-8.136
B2	51.505	6.9488	54.75	16.549	47.249	18.8915
P	0.0025	0.0028	0.0024	0.0016	0.00745	0.00745

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

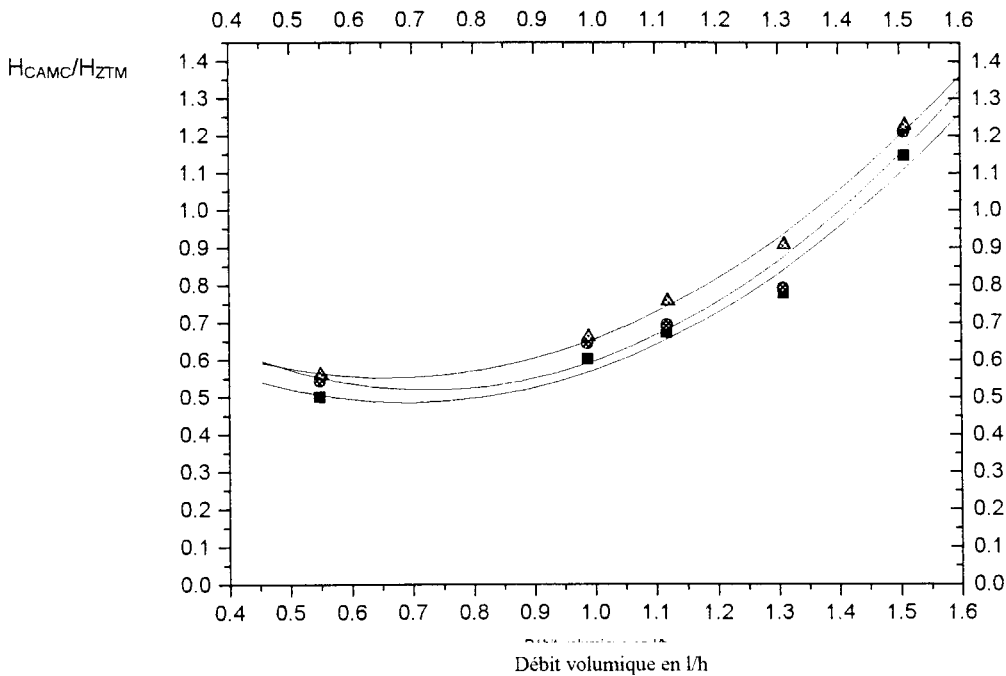
$$T_p = AH + B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

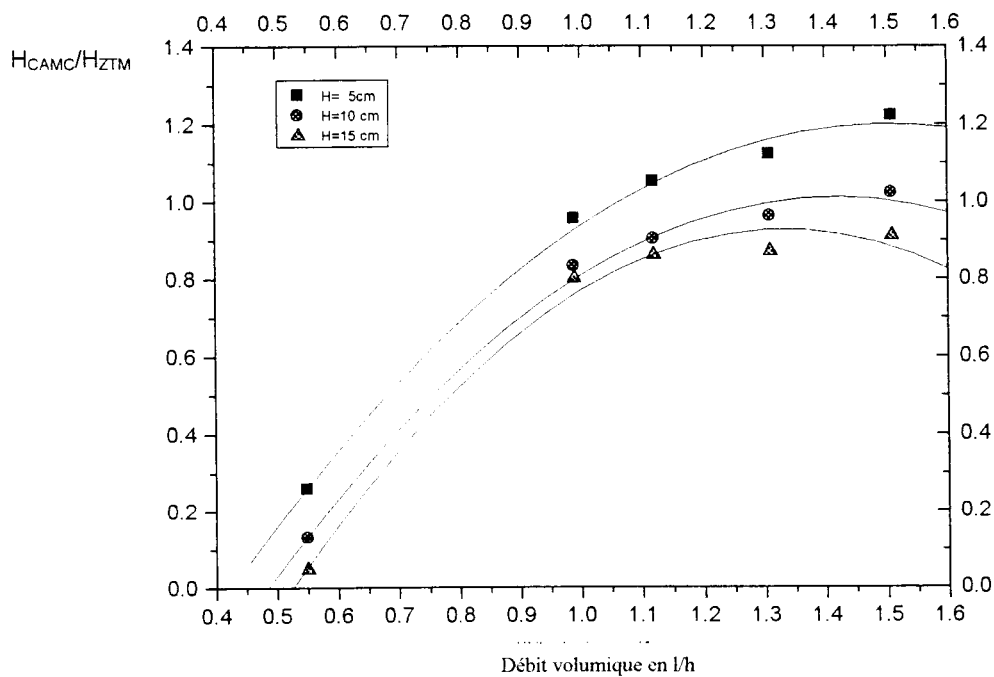
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
Colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	-0.233	-1.69	4.513	11.746	-0.23	17.29	7.866	22.92	15.66	30.04
B	0.4	0.656	0.32	0.218	0.4	0.251	0.613	0.335	0.77	0.382

**5-3-5-7 Evolution du rapport : Hauteur du lit CAMC sur Hauteur de la ZTM :  
-En fonction du débit volumique**

**Graphe n°38 : -Pour le colorant rose**

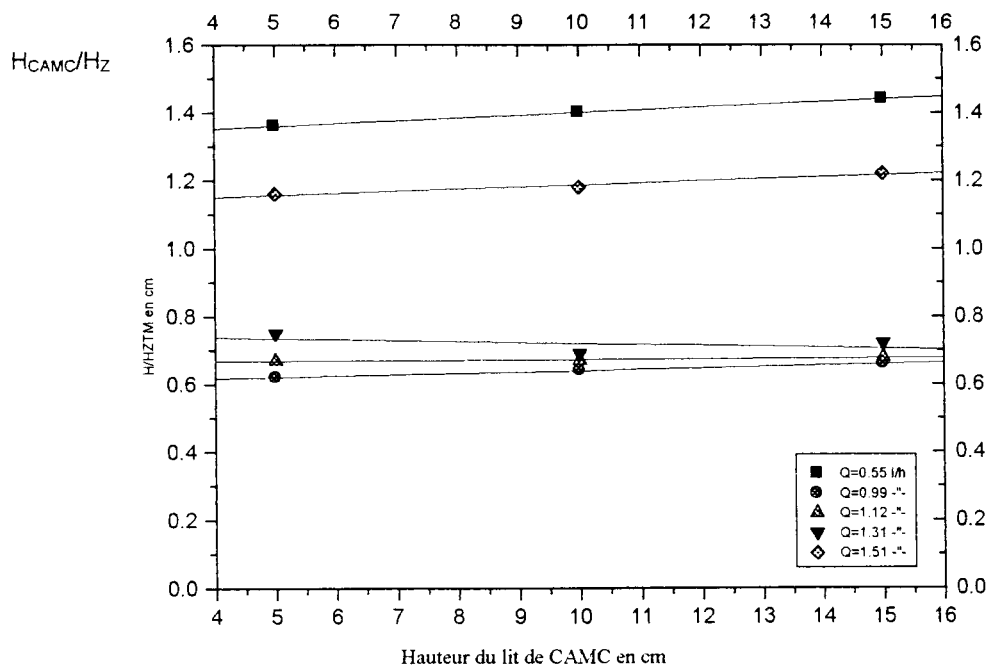


**Graphe n°39 :- Pour le colorant rouge réactif**

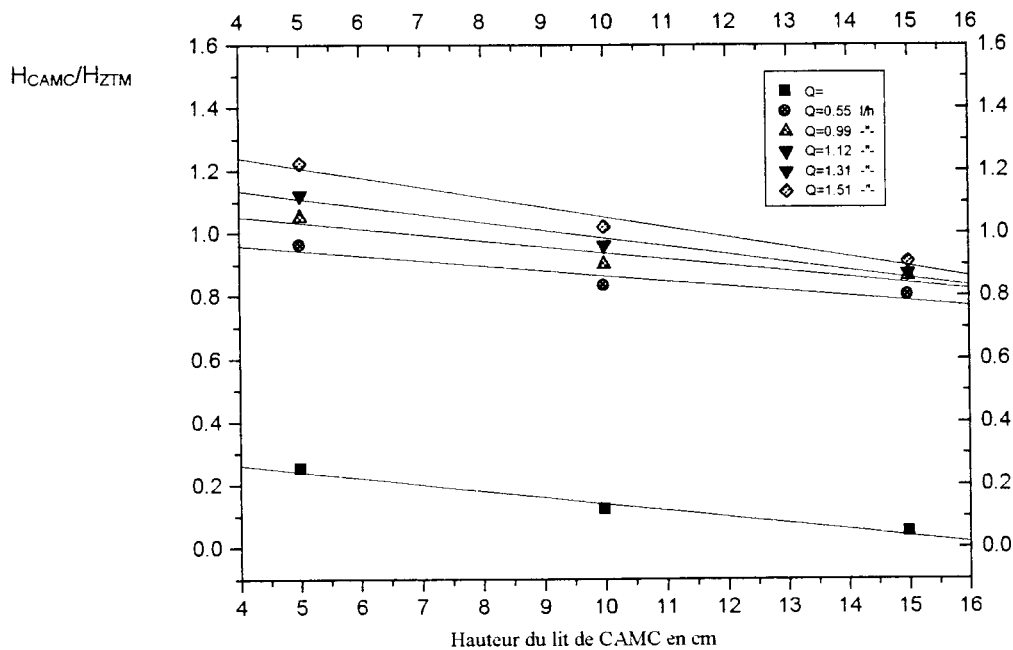


**-En fonction de la hauteur du lit de CAMC**

**Graphe n°40 -Pour le colorant rose direct**

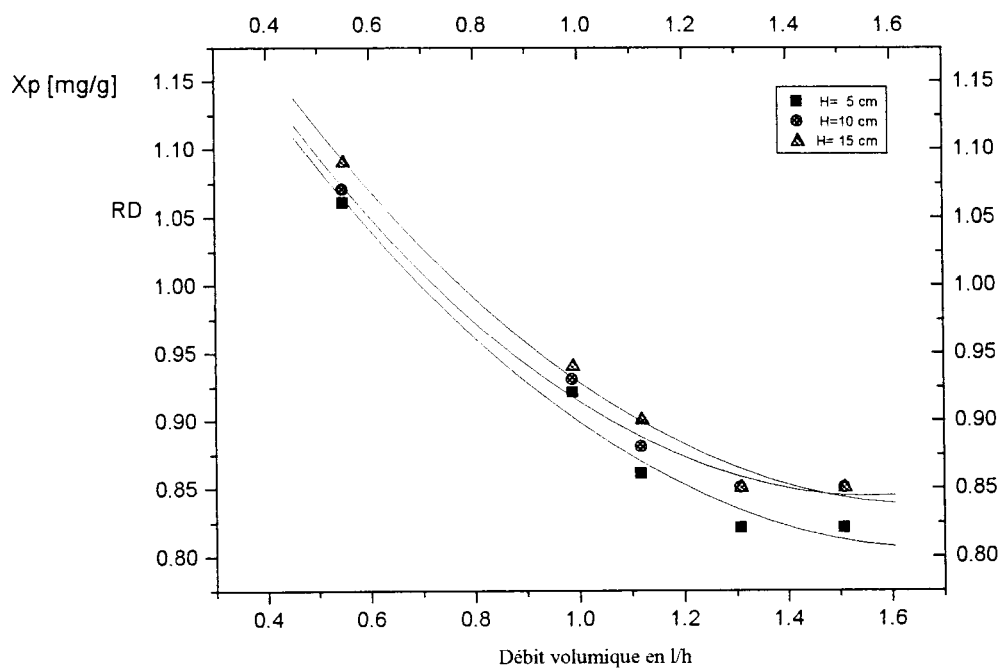


**Graphe n°41 : -Pour le colorant rouge réactif**

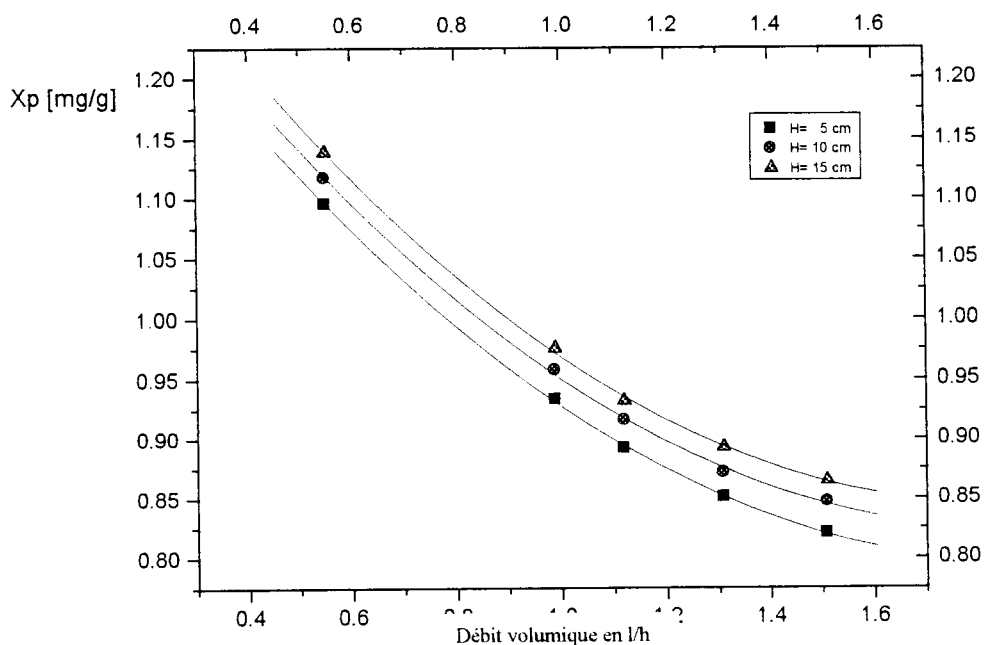


**5-3-5-8-Quantité de colorant adsorbée au point de percée par unité de masse de CAMC - $X_p$ -  
-En fonction du débit volumique -**

**Graphe n°42 :- Pour le colorant rose direct**

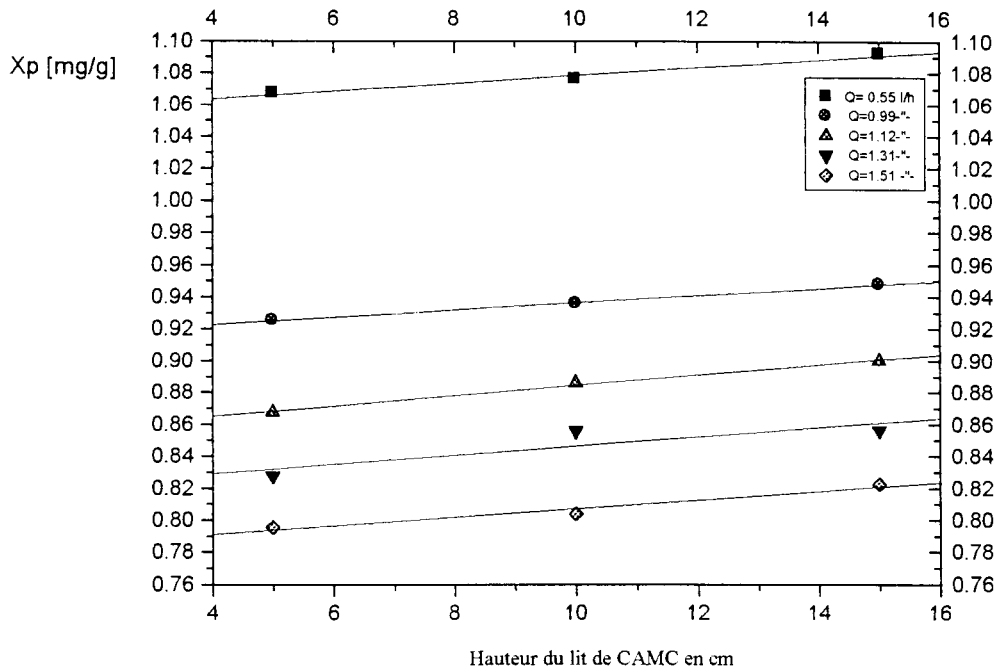


**Graphe n°43 :- Pour le colorant réactif**

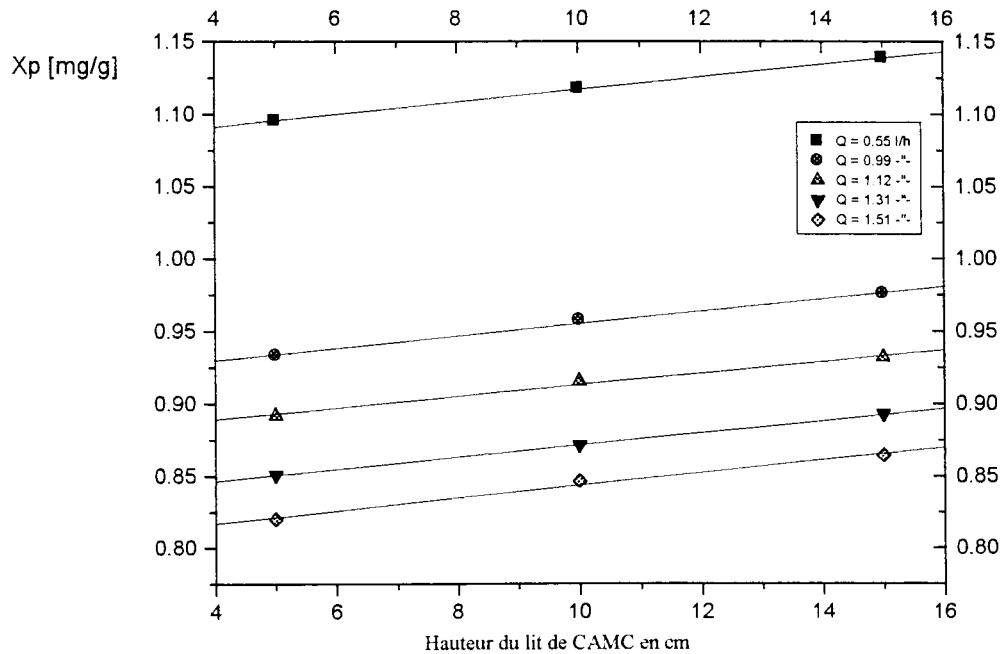


**-En fonction de la hauteur du lit de CAMC**

**- Graphe n°44 :- Pour le colorant rose direct**



**Graphe n°45 :- Pour le colorant réactif**





### Modèles mathématiques pour l'évolution des quantités de colorants adsorbés au point de percée pour les des deux colorants.

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$X_p = A + B_1X + B_2X^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	1.344	1.22	1.38	1.301	1.403	1.395
B1	-0.67	-0.53	-0.696	-0.56	-0.678	-0.594
B2	0.201	0.20	0.222	0.192	0.203	0.201
P	0.016	0.006	0.009	0.0078	0.0082	0.0069

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

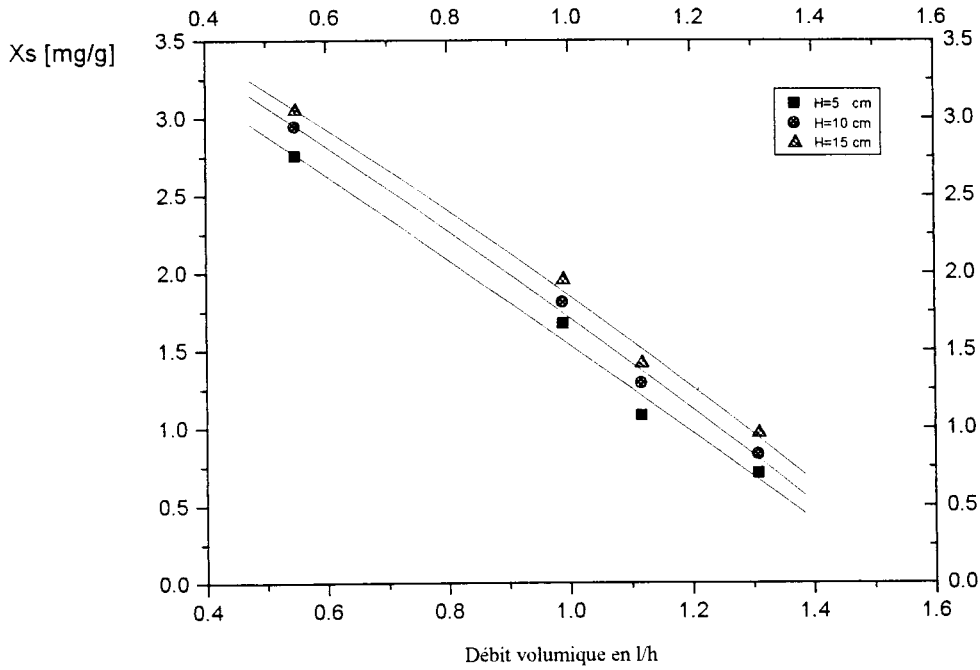
$$X_p = AH + B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

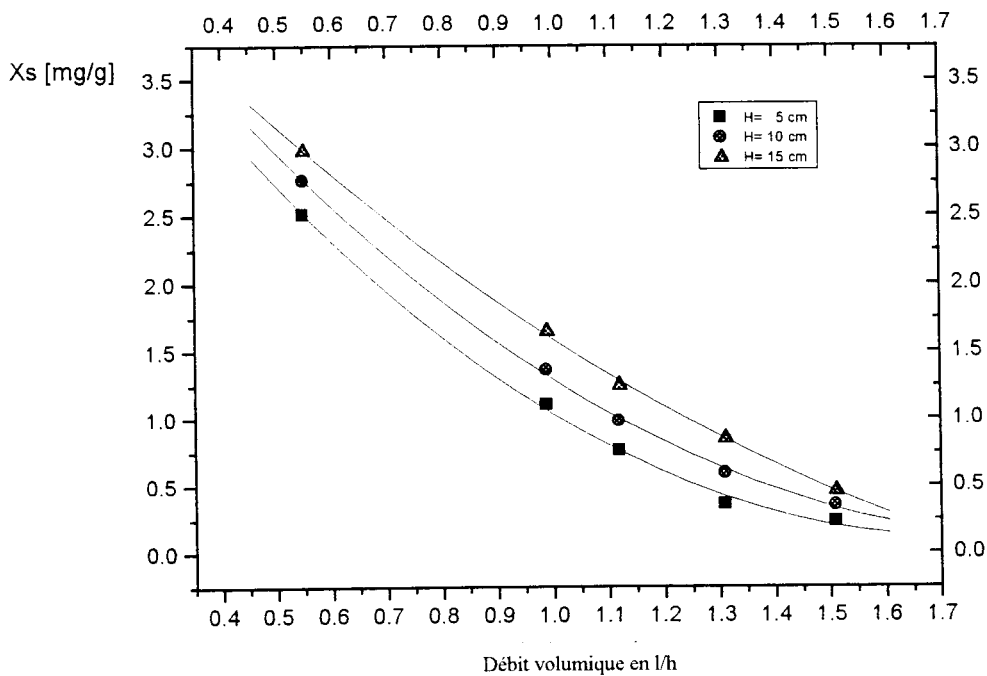
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
Colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	1.05	0.430	0.912	0.379	0.856	0.372	0.813	0.362	0.789	0.343
B	0.02	0.042	0.022	0.431	0.034	0.040	0.023	0.038	0.0213	0.036
P	0.111	0.0017	0.032	0.026	0.044	0.071	0.032	0.075	0.327	0.020

**5-3-5-9-Quantité de colorant adsorbée au point de saturation par unité de masse de CAMC -Xs-  
-En fonction du débit volumique**

**Graphe n°46 : -Pour le colorant rose direct**

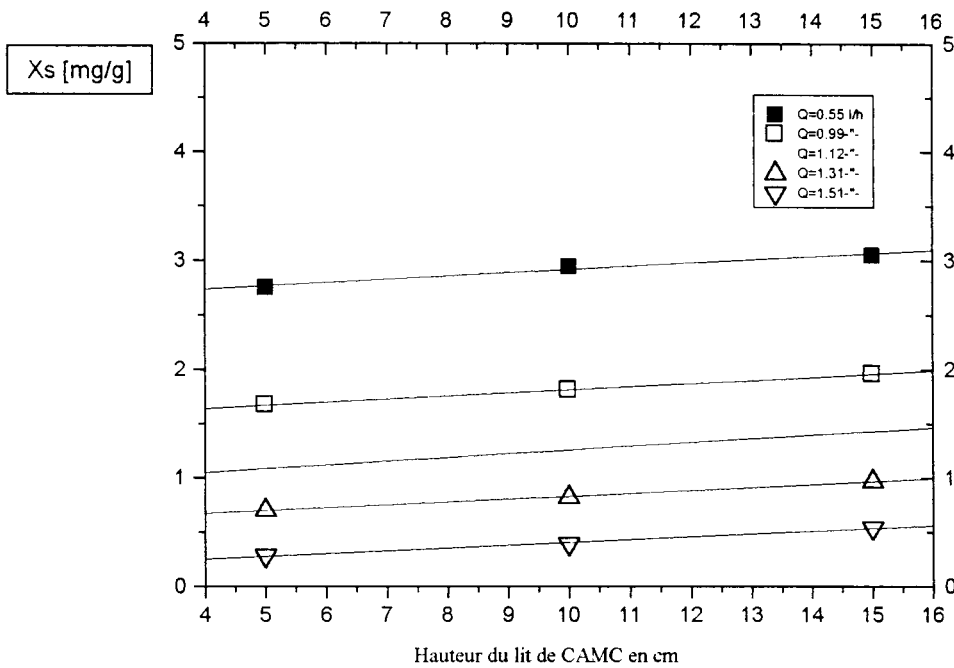


**Graphe n°47 : -Pour le colorant réactif**

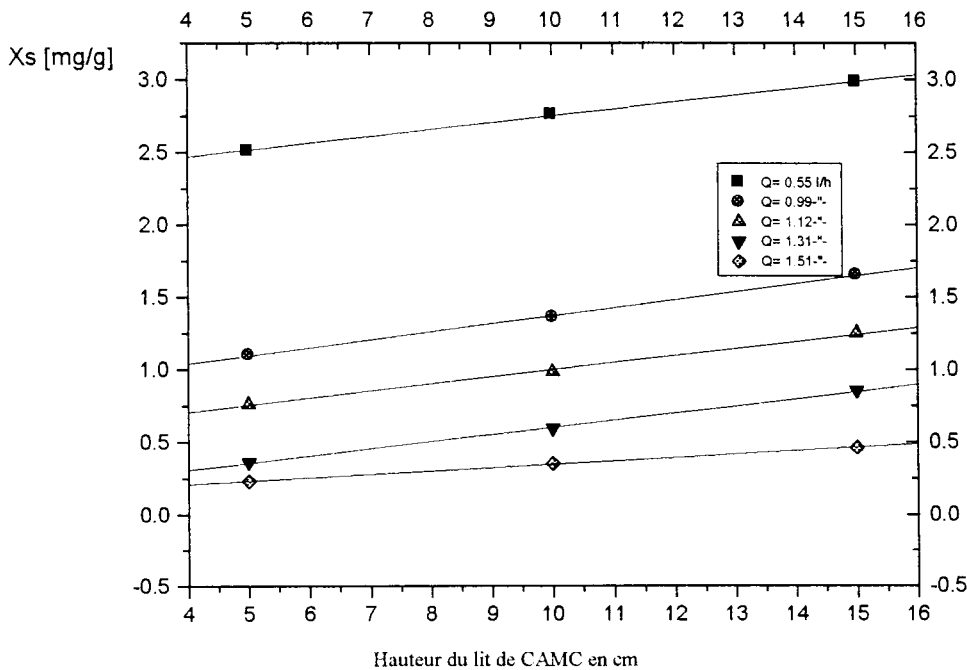


- En fonction de la hauteur du lit de CAMC

Graphe n°48 :- Pour le colorant rose direct



- Graphe n°49 :- Pour le colorant réactif



### Modèles mathématiques pour l'évolution des quantités de produits adsorbés au point de saturation , pour les des deux colorants.

En fonction du débit volumique et pour les différentes hauteurs

L'allure mathématique est une régression polynomiale du type :

$$X_s = A + B_1Q + B_2Q^2$$

Les valeurs de A, B1, B2 sont portées dans le tableau ci-dessous :

H	5 cm		10 cm		15 cm	
colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	5.406	3.864	5.357	3.832	0.058	4.989
B1	-4.47	-2.400	-4.552	-2.143	-4.845	-2.894
B2	1.34	<0.0001	1.40	0.0013	1.52	0.0096
P	0.0001	0.0012	0.0001	0.0031	0.0001	0.0001

En fonction de la hauteur et pour différents débits volumiques

L'allure mathématique est progression linéaire du type :

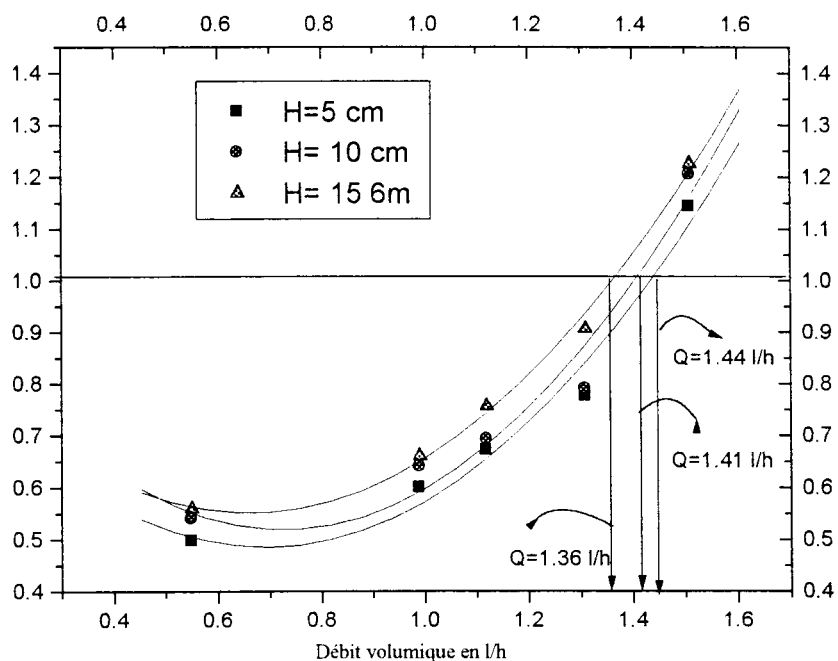
$$X_s = AH + B$$

Les valeurs de A et de B sont portées dans le tableau ci-dessous :

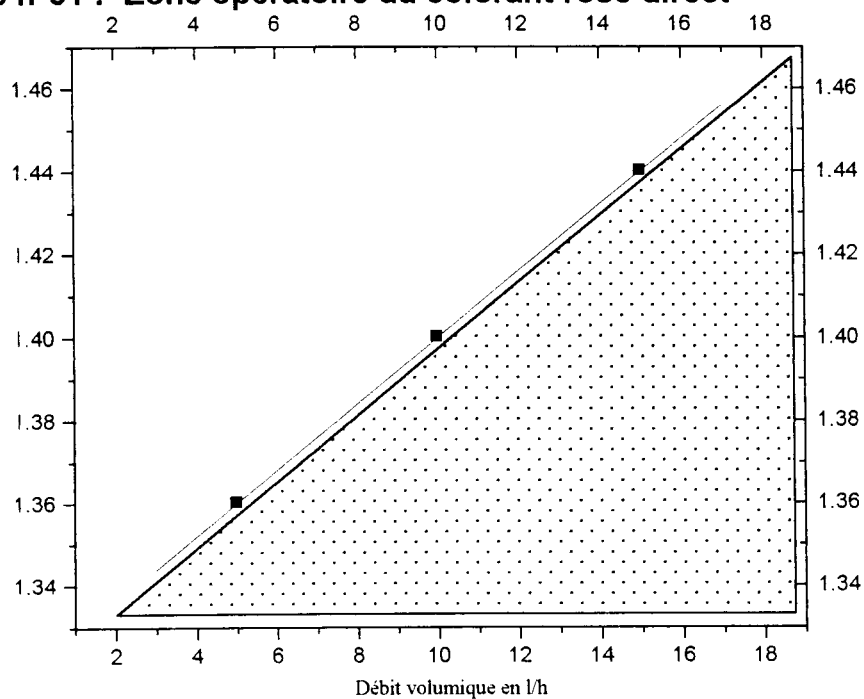
Q	0.55		0.99		1.12		1.31		1.51	
Colorant	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR	CRD	CRR
A	3.38	0.116	2.34	0.062	2.14	0.045	1.89	0.11	0.65	-0.20
B	-0.08	0.16	-0.01	0.016	-0.11	0.014	-0.01	0.049	0.04	0.044
P	0.20	0.045	0.100	0.043	0.082	0.052	0.155	0.022	0.233	0.0167

**5-3-5-10-Determination de la zone opératoire de fonctionnement**

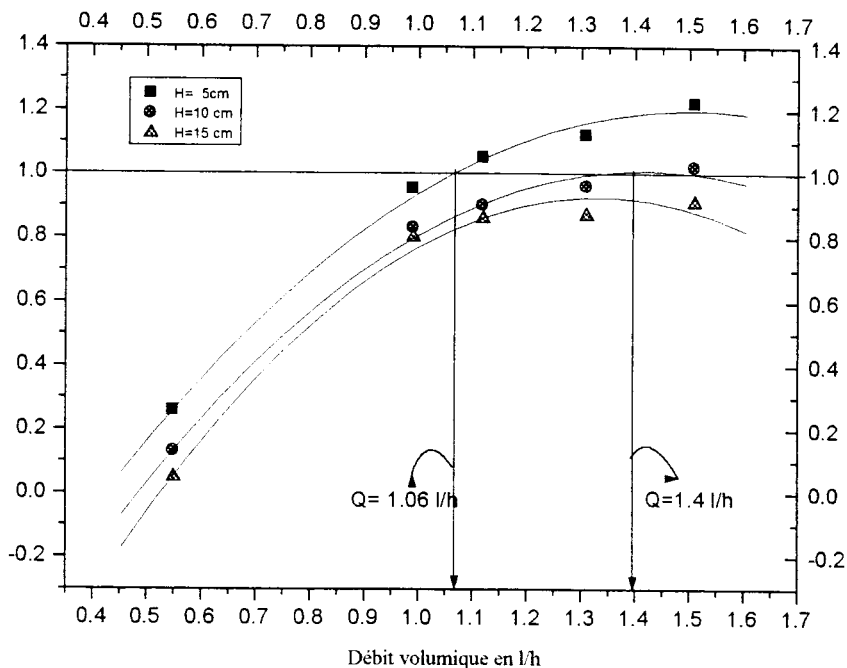
**Graphe n°50 :- Pour le colorant rose direct**



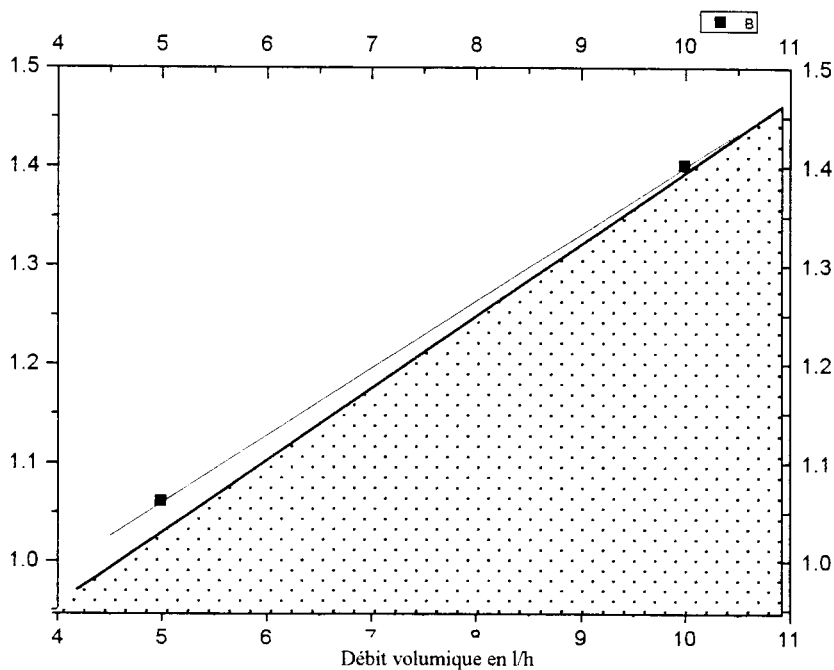
**Graphe n°51 :-Zone opératoire du colorant rose direct**



**Graphe n°52 :- pour le colorant réactif**



**Graphe n°53:-Zone opératoire du colorant rouge réactif**



**Modèles mathématiques des courbes de détermination des zones optimum opératoires pour les des deux colorants.**

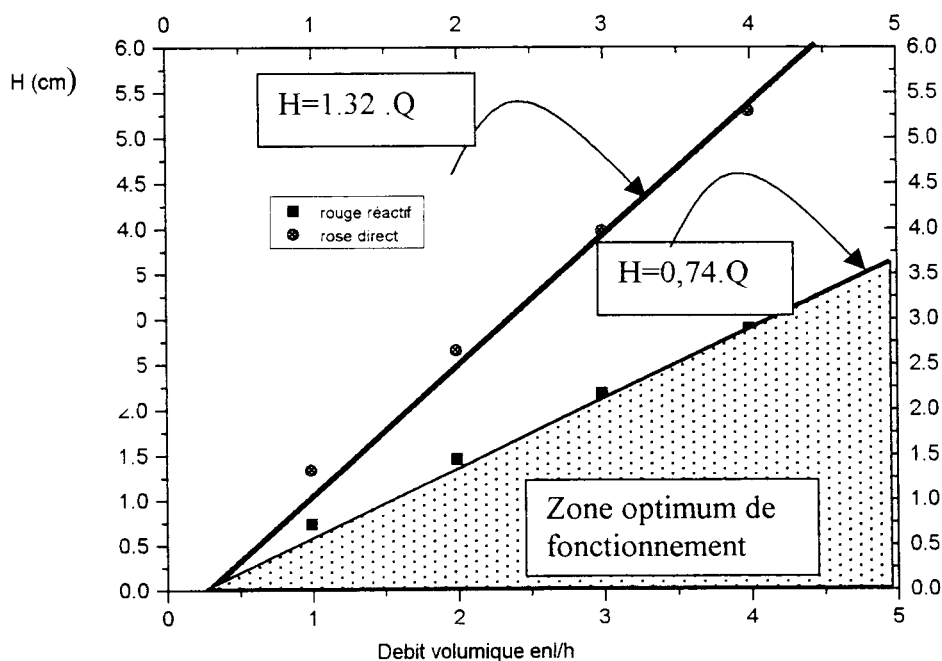
L'allure mathématique est progression linéaire du type :

$$H = AQ$$

Les valeurs de A sont portées dans le tableau ci-dessous :

	CRD	CRR
A	1.32	0.74
P	<0.0001	<0.0001

**- Graphe n°54 : Détermination de la zone optimum de fonctionnement de la colonne l'adsorption pour les deux colorants**



## 5-3-6-Discussions et interprétation des résultats

### 5-3-6-1 analyse des différents paramètres expérimentaux étudiés

#### -Temps de percée

Le temps de percée reste le facteur le plus déterminant pour le calcul et l'établissement des principaux paramètres de fonctionnement du réacteur. Il est lu directement sur les courbes de percée et correspond au temps mis par l'effluent pour voir sa concentration atteindre 0,05% de la concentration initiale

Le temps de percée est directement lié au débit volumique de passage et à la hauteur de la colonne du lit fixe du CAMC. Il est inversement proportionnel au premier et proportionnel au second, comme le montre les graphes [14-15-16-17] on constate de même que le temps de percée pour le colorant réactif est plus long. Par rapport au colorant réactif ce qui présage d'une plus grande adsorption au point de percée *rose direct*

#### -Temps de saturation

C'est un facteur expérimental, lu les courbes de percée, et il est directement lié au débit volumique et à la hauteur de la colonne de CAMC. Il est inversement proportionnel au premier [graphes :18-19] et proportionnel au second (graphes :20-21).

Comme il est intéressant de souligner que la saturation de la colonne traversée pour le colorant rose direct est beaucoup plus tardive que la saturation de la même colonne traversée par le colorant réactif. Toutefois, l'écart entre les temps de saturation entre les deux colorants décroît pour des élévations de débit de traitement.

#### Volume de percée.

Il est lié directement au temps de percée et évolue dans le même sens, en fonction du débit volumique, [graphes :22-23] et en fonction de la hauteur [graphes :24-25].



Il renseigne sur les capacités réelles de traitement de notre unité, il représente d'ailleurs le volume de solution traitée, avant que la concentration de l'effluent n'atteigne 0,05% de la concentration initiale. Il peut être un paramètre de régulation du réacteur.

### **Volume de saturation**

Comme le volume de percée, il est lui aussi directement lié au temps de saturation et évolue dans le même sens, pour cela, se référer aux graphes [26-27-28-29].

### **-Hauteur de la zone de transfert de matière.**

Elle renseigne sur l'efficacité quantitative de l'adsorption et est considérée comme une vitesse d'adsorption, et plus faible est cette hauteur meilleures est la vitesse d'échange. Elle reste le principal paramètre de la dynamique d'échange. Cette hauteur de la zone de transfert de matière, pour les deux colorants, augmente avec l'augmentation du débit volumique, et subit la même évolution pour une augmentation de la hauteur de la colonne de CAMC.

En effet, en augmentant ces paramètres, on augmente le temps de séjour des molécules colorantes dans la colonne, et ceci par l'établissement de nouveaux sites préférentiels d'adsorption, soit à cause de l'encombrement stérique, s'agissant de débit et on constate que la hauteur de la ZTM, est très sensible aux conditions hydrodynamiques.

On constate que la hauteur de la ZTM pour les faibles hauteurs [graphes :30-31] est beaucoup plus petite pour les colorants réactifs et ceci pour les faibles débits. Alors que l'évolution du colorant rose direct en fonction du débit volumique [graphes :32-33] montre une certaine stabilité pour les débits faibles puis augmente rapidement pour les débits élevés. Pour les débits élevés, le contraire est remarqué pour le colorant réactif.

### **-Vitesse de déplacement de la zone de transfert de matière**

Elle mesure la vitesse de saturation de la colonne ce CAMC et est directement liée à la hauteur de la ZTM.

On remarque que pour une augmentation de la hauteur, le débit volumique étant maintenu constant, la hauteur de la ZTM augmente, de même que le volume traité, l'effet conjugué de ces deux paramètres. fait que la vitesse de déplacement reste plus ou moins constante ce qui nous laisse dire que l'augmentation de la hauteur ne fait varier que très peu les caractéristiques hydrodynamiques du système, entraînant par la même une augmentation de la vitesse de déplacement de la ZTM.

D'autre part, on constate que la vitesse de déplacement de la ZTM du colorant rose direct est peu faible que celle du colorant réactif [graphes :34-35-36-37] et ceci pour les faibles débits mais devient plus rapide pour les grands débits.

### **Quantité de produit éliminé au point de percée**

Elle a été déterminée graphiquement à partir de la relation (30). Cette variation de la quantité de produit éliminée au bout de la percée en fonction du débit volumique et en fonction de la hauteur sont représentés sur les [graphes :42-43-44-45].

De premier abord, l'impact de variation de la hauteur de la colonne de CAMC et du débit volumique est faible. En effet, cette quantité en fonction du premier paramètre augmente et diminue avec le deuxième paramètre, car la conjugaison des deux paramètres (débit et hauteur) ont une influence directe sur la quantité de transfert de matière et la vitesse de déplacement de cette ZTM. Par conséquent, une diminution de la quantité du produit est remarquée.

Par ailleurs, nous constatons une meilleure adsorption quantitative pour le colorant rouge.

### **-Quantité de produit éliminé au point de saturation.**

Elle est déterminée graphiquement de la même manière [par la relation 31] que pour la quantité adsorbée au bout de percée. Ce paramètre nous permet d'avoir l'évolution globale de cette filière. Nous constatons que la hauteur a peu d'effet sur l'évolution de la quantité [graphes :46-47], alors qu'elle est influencée par le débit [graphes :48-49]. Ceci a lieu avec l'évolution de la hauteur de la ZTM.

### **-Détermination de la zone optimum de fonctionnement.**

Elle passe impérativement l'idée de base suivante et qui consiste à dire que la zone optimum de fonctionnement d'une colonne doit être déterminée par la connaissance au préalable de l'aptitude du réacteur à l'emploi pour lequel il est destiné, et pour cela on est obligé d'estimer le rapport de la hauteur de la zone de transfert sur la hauteur du lit fixe de CAMC et doit être le plus petit possible et au pire égale à l'unité, le cas contraire, la colonne sera inadaptée pour des couples de débit de hauteur définis.

Nous constatons par ailleurs au vu des graphes [38-39] que ce rapport augmente avec le débit, mais diminue avec l'augmentation de la hauteur, il paraît clair que la valeur minimum du rapport passe par une optimisation de la hauteur de la colonne de CAMC.

Ayant connue que le lit de charbon actif travaille dans des conditions optimum limites lorsque le rapport hauteur de la ZTM sur la hauteur de la colonne est égale à 1. Alors à partir des graphes [38-39] et prenant l'horizontale à l'axe des x pour  $y = 1$ , nous déduisons des couples de valeurs H et Q qui nous permettent de tracer les courbes [graphes :50-52] aux conditions limites de fonctionnement. Pour la zone de fonctionnement de chaque colorant elle doit se situer au dessous de la droite  $Q = Hx$  correspondante

La zone opératoire pour le fonctionnement de la colonne pour les deux colorants est enfin établie [graphe :54].

### **5-3-6- Analyse du comportement des deux colorants**

Par ailleurs, nous constatons que la quantité du produit éliminée au bout de saturation est plus grande pour le colorant rose direct que pour le colorant réactif.

Les résultats obtenus, quand aux comportements dynamiques des deux colorants, au terme de cette étude sont d'une manière générale analogues à ceux présentés par HANINI M.S [47] et NAAMANE A [48].

On peut par ailleurs, constater que l'adsorption des colorants à faible débit donne des zones de transfert de matière assez faible de hauteur ; donc une adsorption meilleure. Cette hypothèse est vérifiée par CHERN [53], WALKER [54] et PANSWAD [55]

D'un autre côté, on constate que l'adsorption du colorant rouge réactif au point de percée est meilleure que celle du colorant direct, alors que ce dernier est plus adsorbé au point de saturation. Cette constatation peut être confirmée par les propriétés du charbon actif et celle des colorants et principalement leurs structures chimiques.

Il faudrait tout d'abord signaler, que les colorants étant anioniques, la charge de surface de notre charbon actif étant positive. L'adsorption est principalement due à des forces électrostatiques. Par ailleurs, un pH acide défavorise la chimiosorption des colorants [56].

Le colorant rouge réactif s'absorbe plus au point de percée comparativement au colorant rose direct, et ceci pour les raisons suivantes :

- Il présente une plus grande hydrophobicité [57] et a tendance à mieux s'adsorber dans la micro porosité plus riche en carbone oxydé thermiquement [58].
- Sa configuration spatiale lui permet de s'adsorber partiellement (fixation segmentaires) dues à des liaisons hydrogènes [59], ce qui laisse supposer que dans un pore plusieurs molécules peuvent se fixer, alors que le colorant direct de par sa configuration coplanaire il s'adsorbe horizontalement et provoque une adsorption de couverture [58].
- Au point de saturation le colorant direct s'adsorbe aussi que le réactif pour les raisons suivantes :
  - \* Le colorant direct continue à s'adsorber par agrégation et superposition de couverture sur la surface du charbon actif [60] et [58].
  - \* Le colorant réactif par effet de « pore rassasié » [61] fonction du pH aide qui défavorise son agrégation et sous l'action de percolation de l'eau subit un effet de largage [59].

Par ailleurs, l'évolution de la ZTM indique que l'adsorption des colorants directs est meilleure et celle du colorant réactif est plus intéressante dans les mésopores [58].

## 6-CONCLUSION

Notre travail avait pour objectif principal la mise en évidence des qualités adsorbantes d'un sous produit alimentaire, qu'on cherche à valoriser, en l'utilisant comme charbon actif.

Nous avons cherché à comprendre son comportement lors de l'adsorption des colorants et ceci en système dynamique. Comme on a estimé l'influence des paramètres hydrodynamiques et on a pu établir une optimisation de la conduite de notre unité en fonction du débit de percolation et de la hauteur du lit de charbon actif dans la colonne. Ce qui nous a par ailleurs confirmé que l'adsorption des colorants se fait en fonction de la nature et des propriétés de chaque type de colorant.

Cette initiation à la recherche nous a par ailleurs convaincu de sa nécessité, si on veut maîtriser l'adsorption des colorants d'une étude plus approfondie du domaine des colorants, vu la gamme très large qu'ils présentent et la complexité du comportement de ses molécules colorantes face à un adsorbant dont les propriétés doivent être à chaque fois définie avec précision.

Enfin, on peut conclure que notre produit comparé à d'autres charbons actifs peut trouver usage dans nos laboratoires.

## 7- BIBLIOGRAPHIE:

- 1-AL.VAN.HOUTTE." Café Mondo -glossaire :A .Paris.1999.
- 2-WINNAKER-KUHLER." Traité de chimie Appliquée" Tome:8 Chimie organique /V.Editions Eyrolles-Paris-1979
- 3-WINSTON.A.I. " The analysis of food" . Editions :J. Willy and sons. New-york.Volume:1.1945.
- 4-FLORENTIN.D-THULLEMENT.L " Les constituants minéraux des solutions de café "page :451.1937
- 5-Anonym " Cours sur la torréfaction du Café-conservation des grains en régions chaudes"ENSIA-1997
- 6 OLIVER.J. HAO – HYUNOOK. KIM , Critical reviews in environmental science and technology, v30 , pp:449 – 480- 2000.
- 7 SARAZA J., ROCUE M.P., ORMAD M.P " Treatment of a waste water resulting from dyes manufacturing with ozone and chemical coagulation ", Water research, Volume 32, issues 9, pp: 2721-2727-1978.
- 8- LITTLE L.W., LAMB J.C., DURKIN W.B "Toxicity of selected commercial dyes to the fathead minnow for reduction of toxicity ". Proc 29<sup>ème</sup> Ind Waste conference, University of Oklahoma , pp: 524-534. 1974.
- 9-UYGUR A., " An overview of oxidative and photo-oxidative décolourisation treatments of textile waste water ". Journal Society, Dyers discoloration, Volume 113, Issues 7 et 8, pp.211-217 .1997.
- 10- WAKER G.M., WEAHERLY L.R." Adsorption of acids dyes onto granular actived carbon in fixed bed", Water research, Volume 31, p:2093- 1997.
- 11- BROWN D. LABOUREWR P. " The degradation of dyes stuffs, primary degradation of under anaerobic conditions", chemo sphere », Volume 12, issues 3, pp: 397-404. 1883.-
- 12 -LIBERGOTT N., VAN LIERO B. " Modifying the blanching process to decrease AOX formation ", Pulp and paper Canada, Volume 92, issues 3, pp. 84-89- 1991.
- 13- WÜHRMAN K., MECHNER K., " Investigation on rate determining factors on the microbial reduction of azo-dyes " European journal of microbiology biotechnology, Volume 15, issue 4, 1980, p. 325-338.1980.
- 14- MECHSNER K., WUHRMANN K., « Cellule permeability as rate limiting factor in the microbial reduction of sulfonated azo-dye », European journal of microbiology biotechnology, Volume 15, issues 2, p p. 123-126. 1982
- 15- YEHRYL L., THOMAS A., Journal of chemical technology –Biotechnology, Volume 63 issue 1, pp. 48-54. 1995
- 16-BRIAN.E.Reed,MARK.R " Pysicochemical Process". Water environment research,volume:70,issue:4,pp:449-484.1998.
- 17-CHIANG.L.C- CHANG.G.E " Electrochemical oxidation pretreatment of refractory pollutants ",Water Science Technology.volume:36.issue:2,page:123-1999

- 18- RAHAKRISENA K.R., VIRARGGUAVAN T." Lou using low cost adsorbent", Water science technology . Volume36, Issue 2/3, , p.189-196. 1997
- 19 - BOUSENNER A., SHEN, " Removal of colored organic mater by adsorption into low cost material ", Water research, Volume 31, Issue 8, , p. 2084-2092. 1997
- 20- DILEK.F.B "Colour removal from pulping effluents by algae".Applied microbiology and Biotechnology.volume:52.issue:4.pp:585-591-1999.
- 21- ABOU EL SUARWY MAHMOUDI S." Removal of dyes by adsorption from olives résidus ", Environmental geology, Volume 39, Issue 0 , pp: 1030-1034. 2000
- 22- ABU-EL-AS'HAR WY-MAHMOUD S –GHARAIBEH SH , " removal of dyes from aqueous solutions using low cost sorbents of solids residue form olives", Environmental Geology, volume: 39,issue 10, pp : 1090-1094, 2000.
- 23- KNAPP.J.S-NEWBY.P.S " The decolorisation of a chemical industry effluents by white rot fungi." Water Research.volume:33.Issue:2. pp:375-382-1999
- 24- M SEKARAN G- SADULA S ." Removal of diazo and triphénylmethane dyes from aqueous solution through an adsorption process" Journal of chemical technology and biotechnology, volume:74,issue 4,pp:337-344,1999.
- 25 - AL-DEGS Y- KHRAISHEH M- ALLEN SJ , " Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent," Water research , volume:34,issue 4, pp:927-935,2000.
- 26- JUHULA..A, "Iodine adsorption and structure of activated carbon",carbon,volume:13, pp:138-1984.
- 28- NICOLAS.E-Fred.s .Cannon, "GAC :Pore structure versus dye adsorption", American water works association journal , Volume 88,issue6,pp:94-110-1996
- 29- KINKLE..H-BAEDER.E " Akitvkohle und ihre industrielle" anwendung.Ferdinand enke Verlag Stuggart-1980.
- 30- CHONGRAG. K – ERIC. H – ABIDI.N "Application of Méthylene blue adsorption to cotton fiber " Journal of cotton science , Volume:2 , pp:164-173 , 1998 .
- 31- ASTM-D4607-86,Annual book of ASTM Standards,Americain society of testing and materiels,Philadelphia,volume:50,01-1980.
- 32 - R.LAYVA Ramos- JH SOTO ZUFFICA , " adsorption of phenol from aqueous solution onto activated carbon, effect of particle size", Environmental technology, volume:64, issue 3,pp:234-236, 2000.
- 33- HENG. Cai- HILLIER –ANDREWS C ",Nanoscale imaging of molécular adsorption,Volume 236,Issue5190,pp :1551-1558-1994
- 34- DEGREMONT, Lavoisier, Technique et documentation nouvelle édition, Tome I , pp. 221-225. 1989
- 35- MASSEHELLIN W.J. " Processus unitaire de traitement de l'eau potable " Edition du CEBEDOC, pp. 345-389. 1996
- 36- LECROIREC P., MARTIN G., TSM eau , , pp. 1751-1759-1984.
- 37 - LONDON .F "proprieties and applications of moléculars forces-Phys-chem.B11,pp:222-251-1930
- 38 - EDELINE F., « Epuraton physico-chimique de l'eau, Edition du CEBEDOC, pp. 130-134. , 1992
- 39 - CHITOUR S.E., « Physico-chimie des surfaces », Edition des oeuvres universitaires, 1981

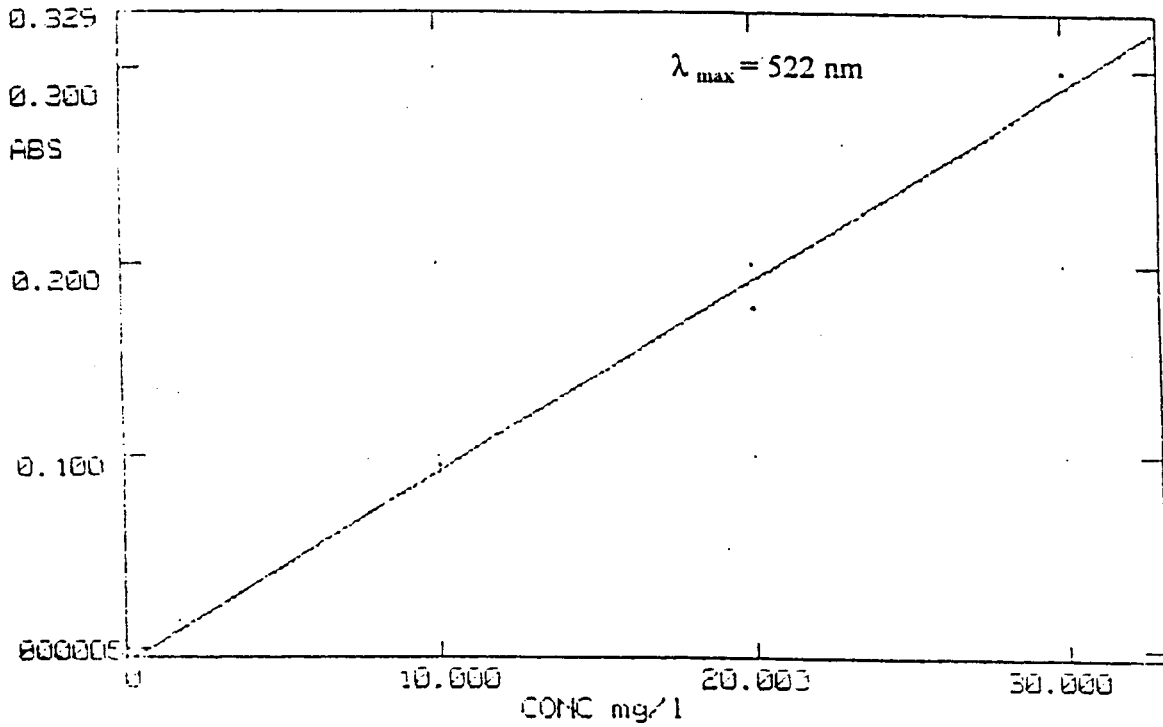
- 40- BRIAN.E -MAKBOUL.I , " Effect of pH, empty bed contact time and hydraulic rate on removal by granular actived carbon" ,Water Environnement research, Volume 68,pp:877-882-1996.
- 41- .MARTINKO R, Chimie physique et colloïdale, Editions école supérieure de Moscou-1973.
- 42 -WAUQUIER J.P., « Le raffinage du pétrole - Procédés de séparations », Editions technique, 1998.
- 43- DEFIVES.D –" Transfert de matière",revue Institut Français du pétrole -XIV-pp :1142-1169-1960.
- 44- J.VANDER LAAN "Proc specialized symposium on the used of actived carbon in water treatment"- WSA. Brussels Pergamon-press.Elmsford-New-york-p:106-1979
- 45- WEBER W.J-WSA/, « Specialized on the use of actived carbon in water treatment », Brussels - Pergano press, New York, , p.7. 1979
- 46- GILLIAND E.R., STODDEK K.I., " Diffusion o surface, correlations of diffusivities of physically and chemically - Adsorbed species" . Industrial enqennering chemical Foundation, Volume 13, Issue 2, , p.100. 1974
- 47- NAMANE A., " Contribution à l'étude dynamique du système phénol charbon actif ", Thèse de magister ENP - 1991.
- 48- HANINI MS, " étude du comportement dynamique en lit fixe du charbon actif obtenu a partir de la courgette mexicaine", séminaire national sur l'environnement ,université de Boumerdes -1998
- 49- KO -DANNY .C-PORTER.F , "Correlation-based approach to the optimization of fixed bed sorption units", Industrial and engineering chemistry research, volume 38,issue 12 ,1999.
- 50- XI.GUO-HOA – NITTA.TOMOSHIGE, " Breakthrough curves for fixed- bed absorbers :quasi-lognormal distribution approximation ", Aiche journal , volume 43 , pp:979-985 , 1997.
- 51 -ALAN S, MICHAELS, " Simplified method of interpreting kinetic data in fined bed ", Industrial - Eng - Chemical, Volume 4, Issue 8, 1952, p. 1922-1934.
- 52 -JSCS, " Modeling of a fined bed adsorption column for waster water treatment", Volume. 62, Issue II, 1998.
- 53- CHERN,,JIA MING, " Industrial and engineering chemistry research theory of non linear propagation, adsorption dyes by actived carbone ", Volume. 37, pp: 253-260- 1998.
- 54- WALKER.G.M- " Kinetic of directs dyes by adsorption on GAC", Water research.volume:33,issue:3 ,pp1885-1899 -1999.
- 55- PANSWARD J., LUANGDILOC W., "Effect of chemical structure of reaction dyes on color removal ", Water séminaire technology, Volume 42, N°3, pp: 377-382 - 2000
- 56- NEWCOMBE G. " Charges - porosity - adsorption of nom by actived carbon ", Water seminar technology, Volume . 40, N°9, pp: 191-198 - 1999
- 57- Appendix 4A QSAR, Danish environmental protection agency, Milproject, N°509 - 1999
- 58- NICOLAS E., KROPPO O., FRED SCANON, « GAC pores structure and adsorption dyes, Water research, Volume: 88, Issue: 6 .pp: 94-120-1998.
- 59- « Molecular dynamics of adsorption and segregation, Science-Washington Volume 261, issue - 5126, p. 1310-1315- 1993.
- 60- MADANI M., " Chimie textile, application des colorants en teinturerie ", Université de Boumerdès.
- 61- MAFART P., BELIARD E.,Génie industriel alimentaire, Tome II », Editions APRIA -1998.



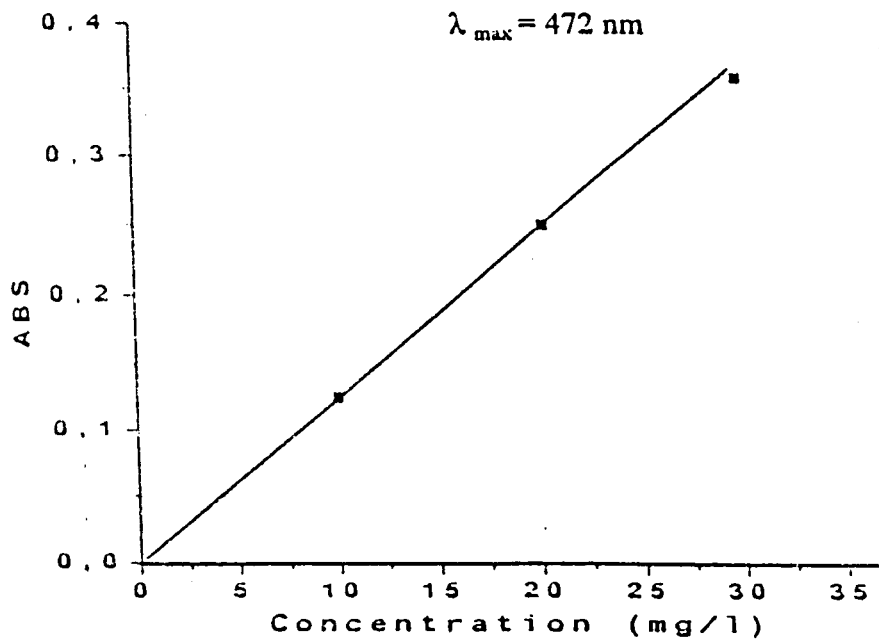
**Annexe:**

Courbes d'étalonnage des colorants

a- colorant rose direct



b- colorant rouge réactif



**Annexe:**

Gamme: 1000 mm      Longueur Faisceau: 10.00 mm      Prepareur: MS65      Obscuracion: 4.3 %  
 Présentation: 3RHA      [Particule R.I. = ( 1.4500, 0.1000);      Dispersant R.I. = 1.0000]      Résiduel: 1.089 %  
 Modèle d'Analyse: Polydisperse  
 Modifications: Aucune

**RESULTAT DE LA MESURE**

Type de Distribution: Volume      Concentration = 0.1047 %Vol      Densité = 2.558 g / cub. cm      Specific S.A. = 0.0033 sq. m / g  
 Diametres:      D (v, 0.1) = 414.66 µm      D (v, 0.5) = 847.81 µm      D (v, 0.9) = 1937.46 µm  
 D [4, 3] = 1021.93 µm      D [3, 2] = 711.72 µm      Span = 1.796E+00      Uniformité = 5.362E-01

Taille Inf (µm)	Diff %	Taille Sup (µm)	Passant%	Taille Inf (µm)	Diff %	Taille Sup (µm)	Passant%
4.19	0.00	4.88	0.00	120.67	0.04	140.58	0.39
4.88	0.00	5.69	0.00	140.58	0.07	163.77	0.46
5.69	0.00	6.63	0.00	163.77	0.17	190.80	0.64
6.63	0.00	7.72	0.00	190.80	0.39	222.28	1.03
7.72	0.00	9.00	0.00	222.28	0.79	258.95	1.82
9.00	0.00	10.48	0.00	258.95	1.45	301.68	3.28
10.48	0.00	12.21	0.00	301.68	2.46	351.46	5.74
12.21	0.00	14.22	0.00	351.46	3.86	409.45	9.60
14.22	0.00	16.57	0.00	409.45	5.62	477.01	15.22
16.57	0.00	19.31	0.00	477.01	7.49	555.71	22.70
19.31	0.00	22.49	0.00	555.71	9.13	647.41	31.83
22.49	0.00	26.20	0.00	647.41	10.14	754.23	41.97
26.20	0.00	30.53	0.00	754.23	10.47	878.67	52.44
30.53	0.01	35.56	0.01	878.67	10.07	1023.66	62.51
35.56	0.02	41.43	0.02	1023.66	9.21	1192.56	71.72
41.43	0.02	48.27	0.05	1192.56	7.37	1389.33	79.09
48.27	0.04	56.23	0.09	1389.33	5.67	1618.57	84.76
56.23	0.05	65.51	0.13	1618.57	4.53	1885.64	89.29
65.51	0.06	76.32	0.19	1885.64	3.73	2196.77	93.03
76.32	0.06	88.91	0.25	2196.77	3.29	2559.23	96.32
88.91	0.05	103.58	0.30	2559.23	2.48	2981.51	98.80
103.56	0.04	120.67	0.35	2981.51	1.20	3473.45	100.00

