

1/01
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEINEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'Obtention DU DIPLOME
D'INGENEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

THEME

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Etude expérimentale du Comportement hydrodynamique des matières en suspension

PROPOSE PAR

Mr. BERKANI

ETUDIE PAR

Mr. BOUDOUDA MOHAMMED

DIRIGE PAR

Mr. BERKANI

PROMOTION

2001

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère et à mon père.

A toutes mes sœurs (abla , fatima , khadija , mashouda).

**A tous mes frères (radouane , brahime , smahile , moussa,
sif el dine)**

A toute ma famille.

A tous mes amis (isker lamouri).

**A l'ensemble de mes collègues (fatch , saych , mourade ,
abd elnour , ben nour , almida , absne , kahina).**

A tous mes enseignants.

Remerciements



A monsieur BERKANI :

Je tiens à le remercier :

- pour son accueil et sa gentillesse
- pour son aide à l'élaboration de cette thèse
- pour m'avoir permis de profiter de son expérience qu'il reçoit ici la preuve de notre reconnaissance .

Aussi à m-elle ZERFA qui n'a jamais manqué de m'aider avec la grande Sympathie.

Je suis très reconnaissant à l'ensemble des enseignants du département Hydraulique qui ont contribués à notre formation et en particulier m-elle Le chef de département BEN MAMAR.

ملخص

يهدف عملنا إلى الدراسة التجريبية للعوامل المؤثرة على الجزيئات العالقة في الماء والتي تعتبر أساس أي دراسة لظاهرة ترسب الأوحال في السدود أو لطرق المكافحة ضد هذه الظاهرة .

وقد انصب اهتمامنا في هذه الدراسة على سرعة السقوط و اللزوجة اللتان تعتبران العاملين الأكثر أهمية في هذه الدراسة الهيدروديناميكية للجزيئات العالقة .

الكلمات المفتاحية :

توحد السدود ، التعلق في الماء ، الترسب ، سرعة السقوط ، اللزوجة

Résumé

Notre travail vise à étudier d'une manière expérimentale les paramètres qui influent sur les matières en suspension, sur les quels se basent toute étude d'envasement des barrages ou des moyens de lutte contre cet envasement.

Nous nous sommes intéressés dans cette étude par la vitesse de chute et la viscosité qui sont les paramètres les plus essentiels dans cette étude hydrodynamique des matières en suspension.

Les mots clés :

Envasement, Suspension, Tassement, Vitesse de chute, viscosité.

Abstract:

Our work aims at studying experimentally the parameters which influence the suspended materials on which are based all the silting of dams problems, or the means struggle studies against this silting.

In this study we have been interested in the waterfall speed and the viscosity, which are the most essential parameters in this hydrodynamic study of suspended materials.

Word keys :

Suspended, decanted, Waterfall speed, viscosity

Sommaire

Chapitres	pages
Liste des figures	
Introduction	01
Chapitre I : Processus de l'envasement des retenues.....	03
I-1 : L'érosion des bassins versants	03
I-2 : Les apports solides dans la retenue	04
I-2-1 : Les apports solides par charriage	04
I-2-2 : Les apports solides en suspension	04
I-3 : Résultante : piégeage des sédiments dans la retenue	06
I-4 : Dépôt et tassement des sédiments	08
I-4-1 : Conditions et débits de dépôt	08
I-4-2 : Vitesse de chute des particules en eau calme	09
I-4-3 : Influence de la floculation	09
I-5 : Tassement et consolidation des vases	10
I-6 : Tassement des sédiments grossiers- galets, graviers et sables	11
Chapitre II : Hydrodynamique et rhéologie des colloïdes	12
II-1 : Introduction	12
II-2 : Rhéologie des suspensions	12
II-3 : Vitesse de sédimentation	13
II-4 : Moyennement ou très concentrées	15
Chapitre III : Propriétés physiques des suspensions et dépôts de sédiments pélitiques en eau Calme	17
III-1 : Densité des sédiments pélitiques étudiés	17
III-2 : Comportement des particules élémentaires en eau calme	17
III-3 : Floculation vitesse de chute des flocons	18
III-4 : Tassement des sédiments pélitiques	19
III-5 : Rhéologie des matières en suspension	23
Chapitre IV : Etude expérimentale pour les différents échantillons des vases	24
IV-1 : Introduction.....	24
IV-2 : Dispositifs expérimentaux.....	24

IV-3 :Mode travail	26
IV-3-1 : Expérience N°1 (vitesse de chute)	26
IV-3-2 : Expérience N° 2 (tassement).....	27
Chapitre V : Résultats et interprétations	29
Les graphes	29
V.1 :La vitesse de chute	53
V.2 :Tassement en fonction du temps	55
V.3 : Influence de la concentration sur la vitesse de chute	59
Conclusion	64
Annexes	65

Index

w_s : vitesse de chute

τ_0 : contrainte tangentielle

C : concentration

Q : débit.

ρ : masse volumique d'eau .

ρ_s : masse volumique de sphère .

C_x : coefficient de traînée .

F : facteur de floculation .

T : temps de tassement.

α : facteur qui dépend du diamètre des particules.

β : facteur lié au milieu queux.

γ : viscosité .

ϕ : concentration volumétrique .

\bar{f} : poids propre de sphère .

Re : nbr de Reynolds.

\bar{u} : vitesse limite de sédimentation.

R : le vecteur d'un point repéré par rapport au centre du sphère

Z_c : cote de l'eau claire .

Z_{ch} : cote de zone de chute .

Z_d : cote de zone de dépôt .

P : porosité .

Ω_{sol} volume des particules solides.

Ω_{tot} volume Total

Ω_{liq} Volume liquide

ξ_L Flux liquide

ξ_S Flux solide

V_g La vitesse relative

Liste des figures :

- Fig1 : Les modes de transport solide.
Fig2 : Organigramme du processus de l'envasement d'une retenue.
Fig3 : La position dans deux sphères commune.
Fig 4 : Comportement des sphères dans un cisaillement simple.
Fig 5 : Le dispositif expérimental de la mesure de la vitesse de chute et
Les tassements.
Fig 6 : Les différentes phases.
Fig 7 : Disparition de la zone de suspension.

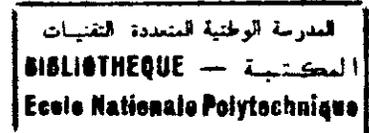
Liste des graphes :

- Graphe : 01 Vitesse de sédiment commune de deux sphères.
Graphe : 02 Vitesse de chute en fonction de la concentration.
Graphe :03 Tassement pour 50g .
Graphe :04 Tassement pour 100g .
Graphe :05 Tassement pour 150g .
Graphe :06 Tassement pour 200g .

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

Introduction



Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans un réseau hydrographique de bassin versant et leur dépôt dans les retenues, pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue. Mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet. [2]

Dans les pays arides et semi-arides, comme l'Algérie par exemple, la technique du soutirage revêt une grande importance pratique et devrait être une nécessité. En effet, si une opération de soutirage n'est pas effectuée au bon moment pour une raison quelconque, on perd alors tout simplement une capacité de retenue égale au volume qu'on aurait du évacuer, avec par ailleurs des répercussions ultérieures : la vase, qui se trouve près de l'ouvrage, évolue dans le temps et les vannes finissent par se bloquer comme ce fut le cas de la vanne de fond du barrage d'OUED, EL FODA, obturée en 1948. [2]

Donc pour éviter tous ces problèmes et pour l'amélioration de cette technique (soutirage), il est nécessaire de connaître le comportement hydrodynamique des matières en suspension, dans la retenue en particulier en période où les apports liquide ont une concentration importante en sédiment.

A cet effet notre étude consiste à déterminer d'une manière expérimentale l'influence des caractéristiques hydrodynamiques, sur le comportement des mixtures, et de fait un premier pas dans l'étude des paramètres du comportement rhéologique des vases.

En se limite aux principaux paramètres à savoir la vitesse de chute des matières en suspension et le taux de tassement du dépôt en eau calme. L'étude expérimentale est faite pour suivre au cours du temps et en fonction de la variation de la concentration, l'évolution de ces paramètres et établir leur loi de variation.

A cet effet nous avons utilisé les moyens simples disponibles dans le laboratoire d'hydraulique du département, avec des échantillons de vase du barrage de FOUM ELGHARZA de Biskra.

CHAPITRE 01

PROCESSUS DE L'ENVASSEMENT DES RETENUES

CHAPITRE I PROCESSUS DE L'ENVASEMENT DES RETENUES

I.1 L'érosion des bassins versants :

L'érosion est un phénomène très répandu en zone méditerranéenne, touchant particulièrement les pays d'Afrique du nord dont il menace gravement les retenues. Le taux d'érosion spécifique atteint dans ces pays avoisine les valeurs les plus importantes du monde.

pays	fleuve	Bassin versant km2	Volume spécifique moyen de transport solide t/km2/an	Précipitation moyennes annuelles (mm)
Chine	Fleuve jaune	715000	2640	470
	yang tsé	1025000	491	800
	king	57000	7190	
Inde	Damodar	200000	1400	1200
	kosi	61000	2800	1800
	mohunadi	132000	465	1380
Iran	Sefidrud	55000	750	
Soudan	Abbara	1000000	650	
Afrique du nord	Agrioum	657	3400	760
	Sebou	3470	320	660
Etats unis	Colorado	3500	735	
	Mississippi	2977000	50	
Italie	pô	53500	300	1100
France	Isere	11750	615	1100
	Orac	990	700	1400
	Durance	3580	150	900

Tableau (01) \Taux d'érosion spécifique de certains bassin- versants/

Les travaux sur l'érosion et le transport solide montrent que le taux d'érosion spécifique atteint dans le nord algérien les valeurs les plus élevées du Maghreb, dépassant $2000t/Km^2$ /an. Sur la chaîne des côtières du Dahra l'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période des crues, c'est ainsi que les fortes crues de mars 1974 d'une durée de 3 jours ont drainé 30.10^6 tonnes de sédiments. Dans la région Algéroise pour les bassins versants côtiers, la quantité moyenne annuelle du sol érodé en Algérie est environ de 180.10^6 tonnes.

1.2 Les apports solides dans la retenue :

Les eaux des cours d'eau transportent les sédiments sous deux formes :

- charriage .
- suspension .

1.2.1 les apports solides par charriage :

Ils concernent les matières minérales en phase solide plus particulièrement les plus gros éléments qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente. Ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement, saltation et aussi par suspension lorsque le débit liquide est très important.

Le débit charrié dans les retenues Algériennes est estimé entre 10 à 15% du débit en suspension. En France par exemple, le flux du transport spécifique moyen par charriage avoisine $35m^3/km^2.an$ à Serre Ponçons, il descend au environ de $20m^3/km^2/an$ à Cadarache. Il était de $25m^3/km^2/an$ à l'ancienne prise de Briliane sur le Verdon. Le flux à hauteur de Gereoux est de $25m^3/km^2/an$. [2]

1.2.2 les apports solides en suspension :

Ils concernent les éléments fins de transport solide, qui sont maintenus en suspension par la turbulence de l'eau créée par les matériaux du lit, la quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments très fins qui proviennent de l'érosion des bassins versants due au ruissellement des eaux de pluie.

Les concentrations d'éléments en suspension des oueds algériens dépassent souvent les 100g/l, surtout pendant les premières pluies d'automne.

A titre d'exemple, dans l'Oued Isser (Boumerdes), la concentration est de 20g/l en moyenne, et elle dépasse 265g/l en période de crue. Par contre dans les rivières françaises, la concentration en matériaux fins est d'environ 2g/l en moyenne et atteint fréquemment 20g/l en crue . [2]

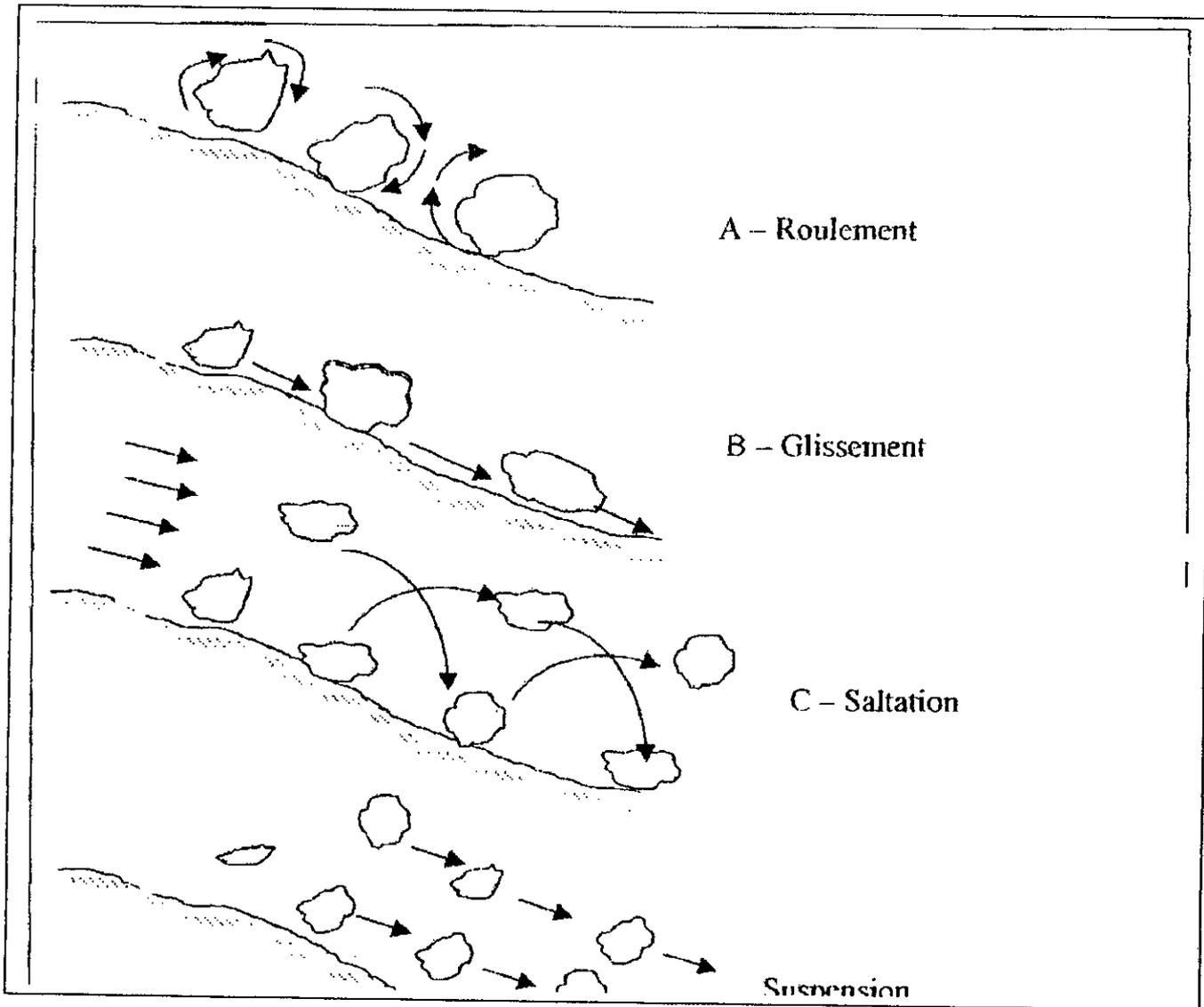


Figure 01 : Les modes de transport solide

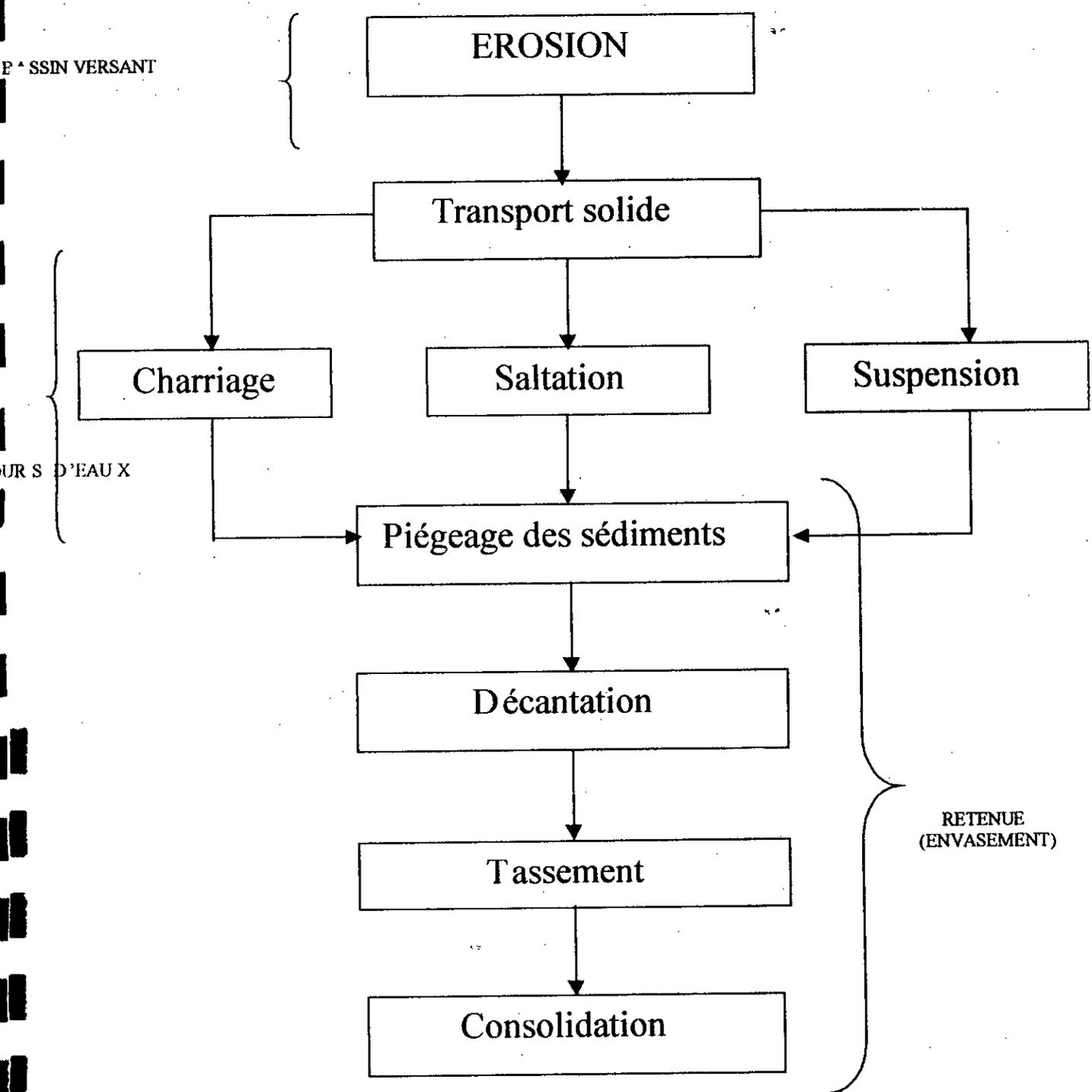


FIGURE : 02 Organigramme du processus de l'envasement d'une retenue [2]

I.4-dépôt et tassement des sédiments :

Les sédiments apportés en suspension par les cours d'eau sont susceptibles de se disperser plus ou moins dans les eaux de la retenue. Ils peuvent, soit se décanter et y être piégés, soit simplement y transiter en suspension avant d'en être évacués, selon les conditions d'écoulement de la retenue. Il importe donc, de connaître les conditions de dépôt de ces sédiments.

I.4.1- conditions et débits de dépôt : [2]

Les travaux menés par **KRONE** en 1962 ont abouti à une évaluation du débit de dépôt en fonction des conditions d'écoulement. **KRONE** a proposé une loi donnant le débit de dépôt.

le débit déposé est proportionnel à la concentration (C), la vitesse de chute (Ws) et la contrainte tangentielle (τ_0)

$$\tau_0 < (\tau_0)_s$$

$$Q_{\text{dépôt}} = C \cdot W_s \cdot \left(1 - \frac{\tau_0}{(\tau_0)_s}\right) \quad \text{avec}$$

Pour des vases marines par exemple en conditions de laboratoire, **KRONE**, **PARTHENIADES** et **OWEN** ont donné tous les trois une valeur de l'ordre de $8 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2$ [2] qui doit dépendre en réalité du type de vase et de phénomène de floculation.

Cette loi est assez largement utilisée et a été largement vérifiée notamment au laboratoire d'hydraulique de France. [2]

I.4.2 Vitesse de chute des particules en eau calme :

La connaissance de la vitesse de chute (Ws) est nécessaire pour évaluer le dépôt selon la loi ci-dessus. En eau calme, la vitesse de chute s'obtient en écrivant l'équation d'équilibre des forces de gravité et des forces de résistance du fluide soit pour une sphère :

$$\frac{\pi \cdot d^2 \cdot g}{6} (\rho_s - \rho) = \frac{1}{2} \rho \cdot c_x \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot W_s^2 \dots$$

avec,

ρ_s : masse volumique de sphère,

c_x : le coefficient de traînée qui dépend du nombre de Reynolds de chute,

$$IR_{ews} = \frac{W_s \cdot d}{\nu} \dots \dots \dots$$

Dans le cas de sédiments fins ($d < 0.1 \text{ mm}$) le mouvement du fluide est laminaire autour du grain ($IR_e < 1$). On a alors : $C_x = 24/IR_{ews}$ et on obtient la relation de Stokes :

$$W_s = \frac{g \cdot d^2}{18\nu} \left(\frac{\rho_s \cdot \rho}{\rho} \right) \dots \dots \dots$$

Pour les silts, l'équation de Stokes donne des valeurs correctes, sous réserve que la concentration ne dépasse pas 20g/l et que l'approximation de la sphère ne soit pas trop mauvaise ; sinon, les vitesses de chute sont plus faibles .

1.4.3-Influence de la floculation :

Les particules élémentaires de dimensions très petites telles que les argiles, les limons sous forme de vase ou de boue ont tendance à s'agglomérer dans certains milieux aqueux et à former des agrégats ayant des dimensions plus importantes. Ce phénomène de floculation est dû en particulier à des forces d'origine électrolytique capable de créer une attirance entre deux particules isolées.

Le PH , la température, la valeur des ions , les dimensions des particules et leur concentration ont une influence directe sur l'importance de la floculation. On peut dire de manière plus simple que la floculation augmente avec la concentration en sels floculants et en matière en suspension et cela d'autant plus que les particules sont plus fines.

La conséquence directe de ce phénomène est qu'un agrégat formé par plusieurs particules se retrouve avec des dimensions autrement plus grandes et a une vitesse de chute plus importante.

C MIGNOT, a défini un facteur de floculation comme étant le rapport entre la vitesse de chute libre des flocons ($W_{f50\%}$) dans un milieu floculant et la vitesse moyenne de chute libre des particules élémentaires $W_{d50\%}$, à l'état défloculé.

$$F = W_{f50\%} / W_{d50\%} \dots\dots\dots [2]$$

I.5-Tassement et consolidation des vases :

Décantés par gravité sur les fonds, les sédiments formeront des dépôt qui se tasseront et se consolideront au cours du temps.

Le tassement d'un sol sera en étroite relation avec sa perméabilité, c'est à dire les possibilités d'évacuation de l'eau interstitielle contenue entre les particules solides. Pour des matériaux à perméabilité moyenne ou forte (coefficient de perméabilité K supérieure à 10^{-5} m/s). Il y aura une consolidation rapide, c'est le cas des matériaux sableux ou graveleux. Par contre pour des matériaux à faible perméabilité (K moins de 10^{-5} m/s), tels que les sables vaseux, les vases, la consolidation des dépôts sera très lente.

Après leur dernière phase de décantation gravitaire à vitesse entravée, les flocons de vase vont commencer, sous la surcharge des couche déposées au dessus d'eux, à se tasser en évacuant progressivement leur eau interstitielle. **MIGNIOT** et **PARTHENIADES** ont décrit les différentes phases du tassement. Ils indiquent que les flocons se sont regroupés par agrégat et forment des « réseaux maillés », dans une première phase de tassement. Le réseau des agrégat se réorganise pour devenir plus dense puis les agrégat sont rompus et les flocons se rapprochent, dans une seconde phase, les flocons se déforment et l'eau entre flocons s'évacue par drainage (phase de type consolidation primaire), On obtient une structure homogène.

I.5.2-Tassement des sédiments grossiers - galets, graviers et sables :

Les sédiments non cohésifs une fois déposés sur les fonds ne se tassent pratiquement pas sous leur propre poids, mais peuvent subir une « mise en place » avec une imbrication entre eux leur permettant d'avoir une portance et de mieux résister aux action hydrodynamique .Des sols constitués par de tels matériaux grossiers (galets , graviers, sables) sont pratiquement stables dans le temps, leur indice des vides et leur masse spécifique dépendent du type de sable.

Lois de tassement :

Cette étude sur le tassement naturel de différents sédiments fins, ont montré que la concentration moyenne d'un dépôt varie comme le logarithme du temps avec différents domaines de tassements correspondants, « Cv » défini comme le poids de particules sèches par volumes de mixtures répond à l'expression :

$$Cv = \alpha \text{ Lnt} + \beta \dots\dots\dots [2]$$

t : temps de tassement,

α : facteur qui dépend du diamètre des particules,

β : facteur lié au milieux a queux .

CHAPITRE 02

HYDRODYNAMIQUE ET RHEOLOGIE DES COLLOIDE

Chapitre II : hydrodynamique et rhéologie des colloïdes**II.1-Introduction :**

Avant d'aborder l'étude expérimentale, nous sommes obligées de traiter le phénomène de l'hydrodynamique et rhéologie des colloïdes. Nous nous intéresserons essentiellement aux deux situations où la phase dispersée est solide ou liquide et la phase continue est liquide et nous étudierons la réponse d'un tel milieu lorsque, par exemple, on le fait s'écouler dans un tube, lorsqu'on le soumet à un cisaillement simple, ou qu'on lui communique un écoulement élongationnel. De ce fait, nous serons amenées à privilégier quelque peu l'aspect hydrodynamique ce qui comme nous le verrons plus loin, nous conduira à considérer souvent des particules dont la taille se situe à la limite supérieure ou la définition des colloïdes (quoique cette limite ne soit pas toujours définie avec précision) et relève, strictement parlant, plutôt du domaine des suspensions.

Il est clair que le comportement du milieu que l'on sollicite va non seulement dépendre des caractéristiques précises de l'écoulement qu'on lui impose mais aussi de sa constitution et des interactions entre l'une quelconque des particules et le milieu environnant.

II.2-Rhéologie des suspensions :

Dans le cas d'une suspension, qui est un milieu inhomogène et désordonné, la définition d'une grandeur effective, c'est-à-dire celle d'un milieu homogène qui, soumis aux mêmes forces imposées ou au même mouvement imposé, développerait la même réponse que la suspension. Pour cela, il est nécessaire que la distance moyenne entre particules soit beaucoup plus petite que la longueur caractéristique de l'écoulement imposé à la suspension (diamètre du tube dans un écoulement de poiseuille, distance

entre les plans dans cisaillement simple) de façon à ce qu'on puisse traiter la suspension comme un milieu continu. L'idéal serait de pouvoir déterminer dans tous les cas la réponse de la suspension à partir de la connaissance des propriétés rhéologiques du fluide et des particules. Mais cela n'est possible que dans le cas des suspensions très diluées. En 1906, Einstein a obtenu, en analysant la dissipation d'énergie, une relation entre la viscosité d'une suspension diluée de sphères solides et celle du fluide porteur η_0

$$\eta = \eta_0(1 + 5/2\phi)$$

ou ϕ la concentration volumique des sphères.

II.3- vitesse de sédimentation :

La détermination de la vitesse de sédimentation est importante à la fois pour des raisons théoriques et pour des raisons pratiques puisque dans de nombreuses suspensions industrielles, il est important que les particules restent suspendues pendant de longues périodes (des mois et même des années).

On sait que lorsque une sphère solide sédimente sous l'action de son propre poids la vitesse de sédimentation peut s'obtenir en calculant la traînée hydrodynamique qui s'écrit, au premier ordre du nombre de Reynolds Re [4]

$$\vec{f} = 6\pi\eta a \vec{u}(1 + 3/8Re)$$

qui, pour les faibles nombres de Reynolds ($Re \ll 1$), donne la relation de Stokes

$$\vec{f} = 6\pi a \eta \vec{u}$$

Dans le cas d'une sphère solide, nous savons que la vitesse hydrodynamique en un point du fluide est donnée par la relation

$$\vec{u} = \vec{u}(3a/4r + a^3/4r^3) + (\vec{\eta}\vec{u})\vec{\eta}(3a/4r - 3a^3/4r^3)$$

\vec{f} : poids propre.

Re : nombre de Reynolds .

η : viscosité .

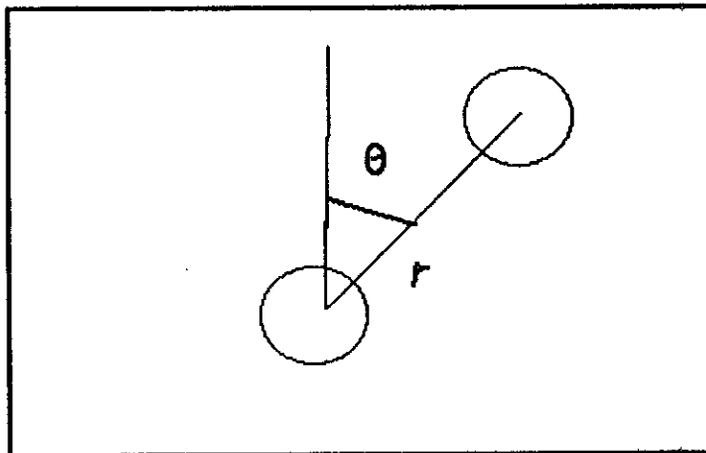
\vec{u} : vitesse limite de sédimentation .

r : le vecteur d'un point repéré par rapport au centre de la sphère .

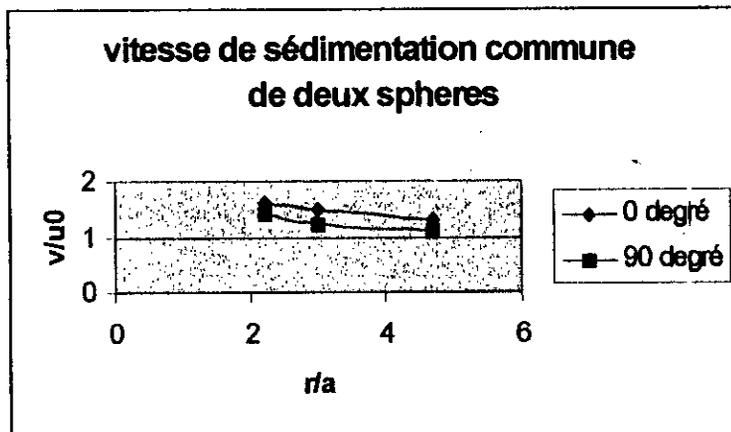
Si la masse volumique de la sphère est supérieure à celle du fluide, la vitesse est en tout point dirigée vers le bas. lorsqu'on ajoute une seconde sphère, chacune d'elle sédiment, en première approximation, dans un fluide dont la vitesse est déjà dirigée vers le bas et par conséquent l'ensemble stationnaire car les deux sphères ont une vitesse identique et sont immbles l'une par rapport à l'autre. Leur vitesse de sédimentation commune va dépendre de l'angle de la droite centre-centre avec la verticale.

On ne connaît le résultat exact que pour les angles égale 0° et 90° (le graphe(1)+figure(3)) [4]. Pour les autres orientations, on utilise une méthode de calcul par approximations successives, appelée méthode des réflexions, que l'on développe sur ordinateur.

Figure (3)



Graphe 01



II.4 moyennement ou très concentrées :

Cette partie traite essentiellement de l'apparition de structures non permanentes induites par le cisaillement dans la suspension. Il laisse délibérément de côté les problèmes liés aux effets du cisaillement sur la floculation .

Si on reprend l'exemple des expériences de Patzold pour deux types de cisaillement différents, on voit que ,aux faibles concentrations , la viscosité dans un cisaillement simple est plus élevée que celle dans un écoulement élongationnel. Patzold attribue ceci au comportement différent de deux sphères prises isolément dans ces deux types de cisaillement (figure 4) [4].

Dans le cisaillement simple, deux sphères qui s'approchent l'une de l'autre sont obligées de se contourner puis se séparent. Dans l'écoulement élongationnel, par contre les sphères vont pouvoir s'imbriquer sans difficulté et vont donc conduire à une viscosité plus faible.

Aux concentrations très élevées, par contre, la viscosité de la suspension est plus faible pour le cisaillement simple que pour l'écoulement élongationnel . Simultanément, Patzold observe une organisation de la suspension en plans hexagonaux qui peuvent glisser les uns sur les autres, ce qui contribue à donner pour cet écoulement une viscosité plus faible que pour l'écoulement élongationnel, pour lequel un tel type de structuration ne peut apparaître . L'effet des parois semble être important en ce sens qu'une organisation en plans parallèles est favorisée au voisinage d'une paroi plane ce qui donne lieu à des effets de bord.

CHAPITRE 03

PROPRIETES PHYSIQUE
SUSPENSIONS ET DEPOTS
DE SEDIME PELTIQUE
EN EAU CALME

CHAPITRE III : Propriétés physiques des suspensions et dépôts de sédiments pélitiques en eau calme.

III.1 : Origines des sédiments pélitiques étudiés

Les études effectuées au laboratoire ont porté sur des sédiments pélitiques ayant des origines et des compositions minéralogiques et granulo-métriques très variées :

- Origine marine.
- Origine estuarienne.
- Origine fluviale.
- Origine lacustre.
- Résidus miniers ou de carrière.
- Poudres artificielles.

III.2 : Comportement des particules élémentaires en eau calme :

Les particules élémentaires des sédiments pélitiques ont des dimensions et des formes très différentes, suivant leur composition minéralogique, Les mesures faites par microscope électronique montrent en particulier que les éléments argileux peuvent avoir des dimensions comprises entre quelques microns et moins de 0.1μ et des formes allant des bâtonnets pour les polygorskites et les halloysites à des lamelles hexagonales, pour les kaolinites et les hydromuscovites.

A l'état individuel, ces particules ont des vitesses de chute extrêmement faibles pouvant atteindre moins de $1\mu/s$. On les caractérise fréquemment par un diamètre équivalent à celui d'une sphère de même densité et présentant la même vitesse de chute dans l'eau.

III.3 :Floculation vitesse de chute des flocons :

Les vases, limons et barres sont constitués par un ensemble de particules élémentaires de dimensions et de nature très diverse, associées à différents sels en suspension dans les eaux naturelles, ces sédiments péloïdiques sont soumis dans la plupart des cas, à des phénomènes de floculation et forment des agrégats dont la vitesse de chute est très supérieure à celle des particules élémentaires.

La faculté de floculation et l'ampleur de celle-ci dépendent d'un certain nombre de facteurs, les uns étant liés aux caractéristiques de la particule, les autres à celles du milieu aqueux. D'une manière générale la floculation est d'autant plus importante que l'on augmente la concentration électrolytique, la valeur des ions, la température et que l'on diminue la dimension de l'ion hydraté, la constante diélectrique, le PH, le pouvoir d'absorption des ions.

La floculation dépend de plusieurs paramètres, parmi ces paramètres on peut citer :

...

1er. Influence du diamètre des particules élémentaires sur la floculation :

Le facteur maximal de floculation : $F = W_{f50\%} / W_{d50\%}$. [1]

Défini comme étant le rapport entre la vitesse moyenne de chute libre des flocons ($W_{f50\%}$), dans un milieu aqueux floculant et la vitesse moyenne de chute libre des particules élémentaires ($W_{d50\%}$) à l'état de floccule.

Varie comme l'inverse du diamètre équivalent (d) des particules élémentaires. Le facteur de floculation sera d'autant plus élevé que les particules seront plus petites.

Le facteur de floculation est donné par l'expression :

$$F \cong 250 d^{-1,8}$$

Quelle que soit la dimension des particules élémentaires, on constate également que la floculation n'est sensible sur les particules minérales d'un diamètre supérieur à une trentaine de microns.

....

B. Influence de la concentration en particules solides dans la suspension :

La floculation et la vitesse de chute des flocons sont très sensibles à la concentration de la suspension en particules solides. En milieu floculant le facteur de floculation augmente progressivement avec la teneur en sédiment sec dans la suspension, jusqu'à un seuil critique de concentration voisine de 15g/l.

C. Influence du milieu aqueux :

Il suffit de quantité très faible de sels floculants (ou d'eau de mer) pour que la floculation apparaisse, c'est ainsi que si l'on introduit dans une suspension de vase à 2g/l de sédiments dispersés dans l'eau distillée, des quantités croissantes de sels marins, on constate que les vitesses de chute augmentent progressivement pour atteindre la valeur maximale à partir d'une concentration en sels de 2%. Cette vitesse se maintient ensuite à une valeur à peu près constante, jusqu'à une salinité de 30% (eau de mer).

III.4 :Tassement des sédiments pélitiques :

Décantés par gravité sur les fonds, les flocons de vase naturelle vont s'écraser sous leur propre poids et perdre progressivement une partie de leur eau de structure.

Leur réseau va se resserrer fortement formant un matériau essentiellement variable dans le temps, par suite d'une élimination progressive de l'eau sous l'effet du tassement qui peut se poursuivre plusieurs années, au cours de ce tassement, la vase présentera des états physiques très différents suivant son «âge» on plus exactement de sa teneur en eau, liquide, visqueuse ou solide, cette même vase pourra prendre la consistance d'une véritable pierre après une dessiccation prolongée.

L'étude du tassement naturel de différents sédiments péltiques montre que la concentration moyenne d'un dépôt varie comme le logarithme du temps avec différents domaines de tassement : vitesse entravée, élimination de l'eau interstitielle, drainage et porosité, état de compression.

Dans ces domaines de tassement, la variation de la concentration T_s répond à l'expression :

$$T_s = \alpha \log t + \beta$$

t : est le temps (exprimé en général en heure).

α : un facteur qui dépend principalement du diamètre des particules.

β : un facteur lié au milieu aqueux.

Rappelons que la densité d'un dépôt ρ_m / ρ peut être rattachée à la teneur en sédiments secs T_s (en Kg/m^3 ou en g/l) par l'expression : [1]

$$\rho_m / \rho = 1 + \frac{(\rho_s - \rho) (T_s)}{\rho_s \cdot 1000}$$

ρ_s : la masse spécifique du sédiment en Kg/m^3 en general voisine de $2500 \text{ Kg}/\text{m}^3$

ρ : la masse spécifique du fluide en Kg/m^3 en general voisine de $1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$

On peut prendre en première approximation :

$$\rho_m / \rho = 1 + 0,6 \cdot 10^{-3} T_s$$

Le tassement dépend de plusieurs paramètres, parmi ces paramètres on peut citer : [1]

A. Influence de la nature et de dimension des particules :

La nature des sédiments : dimensions, formes, charges électriques... aura une grande influence sur le tassement des sédiments péltiques.

Après un mois de tassement, les couches superficielles de vase pourront présenter des concentrations très différentes dont le tableau ci-après donne un aperçu :

PROVENANCE	CONCENTRATION (g/l)
Limons Durance	900
Calcaire (poudre)	680
Kaolin technique	625
Majunga	480
Canakry	330
La Rochelle	320
Mahury	350
Boue kerkour rhi	250
Argile provins	180

B. Influence de la hauteur initiale du dépôt :

Un dépôt de sédiment péltiques tend vers un tassement d'autant plus rapidement que l'épaisseur initiale du dépôt sera faible par contre, la concentration finale du culot sera d'autant plus importante que la hauteur du dépôt soit plus grande.

C. Influence du milieu aqueux :

Le milieu aqueux ne modifie pas très fortement la concentration moyenne d'un culot de tassement, il apparaît cependant que pour certaines vases le tassement est plus faible en eau de mer qu'en eau douce fluviale.

D. Influence des conditions de sédimentations :

Les conditions de sédimentations des matériaux très fins auront une influence appréciable sur le tassement des mixtures des vases qui n'auront pas la même concentration moyenne après un temps de dépôt déterminé suivant l'épaisseur et les concentrations initiales des dépôts.

E. Influence des matières organiques :

En provoquant des réactions chimiques, la matière organique peut s'exercer sur la floculation (ou la dispersion) des suspensions argileuses. Cette action dépendra de la nature des argiles contenues dans les vases.

F. Influence du pourcentage des sables et des silts dans les vases :

Si les mixtures de vase ont une viscosité forte, le tassement s'effectue uniformément, dans ce cas la variation de la concentration globale en fonction du temps sera d'autant plus rapide que le dépôt contiendra du sable.

Le tassement d'une vase et sa consolidation en fonction du temps, dépendront du pourcentage du sable quelle contient, le tassement sera d'autant plus rapide que le dépôt contiendra d'éléments sableux.

G. Accélération du tassement des dépôts de vases :

Le tassement d'une vase peut être augmenté, soit par le drainage, soit par utilisation de produits chimique qui pourront diminuer ou accélérer la consolidation du dépôt. Il est également possible de modifier le tassement d'une vase ou d'une boue par le procédé électrique en agitant simultanément par les phénomènes d'électrophorese (attraction des particules chargées négativement à l'anode) et par les phénomènes d'électroosmose (attraction de l'eau à l'anode) avec cette méthode, on peut obtenir en quelques heures une concentration du culot deux fois plus importante que celle de que l'on ait pue avoir après un an de tassement naturel. Il est aussi possible de freiner le tassement et de maintenir pendant plusieurs jours des vases à l'état parfaitement fluide, cela se fera si on intervertit le sens du courant.

III.5. Rhéologie des matières en suspension :

La seule connaissance de la densité, de la teneur en eau de la concentration en sédiments secs d'une vase ou d'un limon est insuffisante pour se faire une idée précise de sa consistance, un complexe sol-eau pourra en effet être liquide, plastique ou solide, pour une même concentration, suivant la granulométrie de ses particules et leur minéralogie ainsi que de la composition des eaux interstitielles.

L'étude rhéologique des sédiments fins permet de déterminer des paramètres importants pour préciser le comportement de ces mixtures de vases ou de boues et définir par des valeurs numériques, les caractéristiques physiques d'un dépôt en cours de consolidation sans l'eau ou hors l'eau, il sera possible ensuite de rattacher les conditions de transport de mixtures d'éléments fins, sous l'action des courants ou de la houle ainsi que les écoulements gravitaires et les pentes d'équilibre des dépôts, aux valeurs rhéologiques mesurées en laboratoire ou sur le terrain à l'aide d'appareils relativement simples.

Ces mesures rhéologiques portent principalement sur la définition de la viscosité et de la rigidité initiale ainsi que sur la thixotropie ou dilatance du milieu que l'on peut mettre en évidence par l'étude de la variation des valeurs du cisaillement des dépôts en fonction de la vitesse d'un ratio immergé dans la suspension.

CHAPITRE 04

ETUDE EXPERIMENTALE
POUR LES DIFFERENTS
ECHANTILLONS DES VASES

Chapitre IV: étude expérimentale pour les différents échantillons de vases:

IV.1 : Introduction :

Nos expériences sont indispensables pour faire une étude sur le comportement hydrodynamique de vase dans une manière générale et elles nous aident dans notre étude du comportement des sédiments fins.

Dans ce cadre, notre étude expérimentale consiste à étudier les Paramètres agissant sur le comportement des matières en suspension à savoir la vitesse de chute, le taux de tassement.

IV.2 : Dispositifs expérimentaux :

Les expériences de la vitesse de chute et les tassement ont été effectuées dans des tubes transparents et gradués de 6 cm environ de diamètre et de 1 m de hauteur.

Ces tubes doivent être maintenues verticalement pour éviter toute inclinaison du dépôt (figure 5 ,photo 1) .

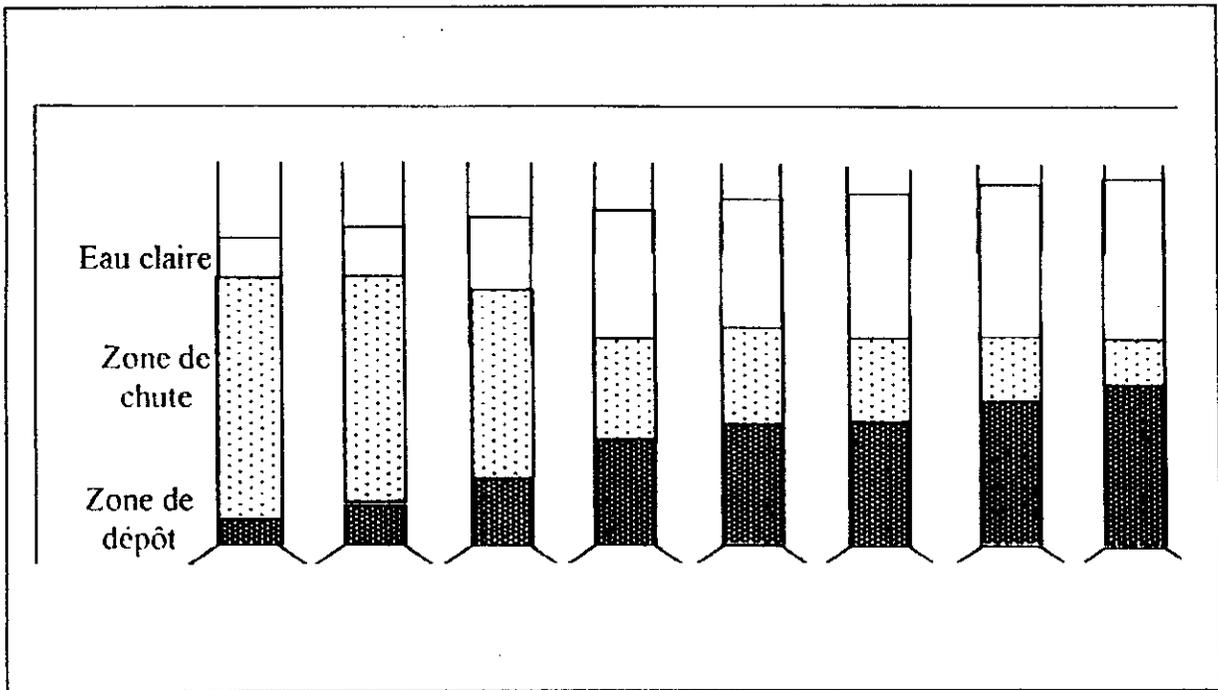


FIGURE 5 : le dispositif expérimental de la mesure de la vitesse de chute et les tassement

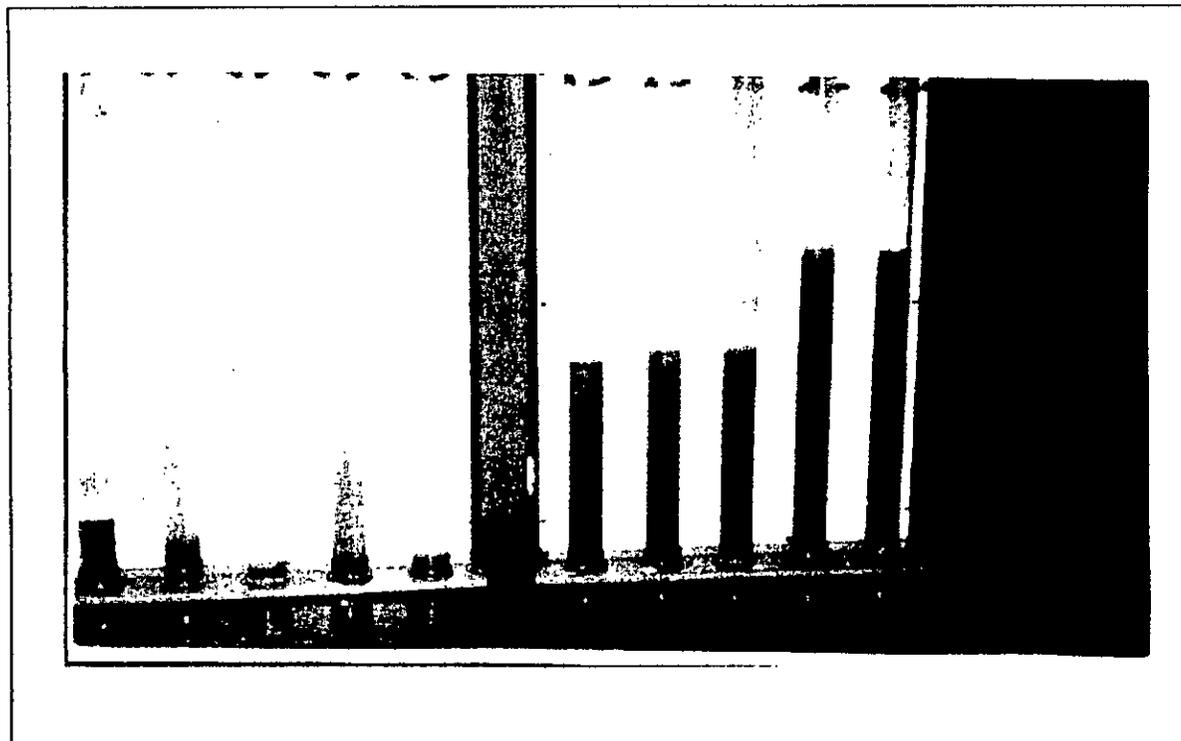


Photo :1 le dispositif expérimental

IV.3 Préparation de l'échantillon :

La vase prélevée est sous forme de blocs. On l'a broyé, en utilisant un broyeur, en utilisant des différents tamis dont la plus petite est celui de 250μ . On obtient des éléments très fins.

IV.4 Mode de travail :

IV.4.1 Expérience N°1 (détermination de la vitesse de chute) :

Des mixtures vase-eau distillée ont été versées dans des tubes gradués selon trois (03) paliers de concentration C :

- Premier palier (faibles concentrations) : 3, 6, 10 g/l
- Deuxième palier (moyennes concentrations) : 20, 50 g/l
- Troisième palier (fortes concentrations) : 100, 150, 200 g/l

Après avoir agité ces mixtures, elles ont été déposées dans le dispositif en prenant le temps initial et la hauteur initiale, la température est maintenue constante à 20°C .

Après un certain temps, on distinguera trois phases (Figure 6, page 28).

- Phase de dépôt.
- Phase de suspension.
- Phase de l'eau claire.

Pour chaque concentration, on a suivi l'évolution temporelle de Z_c , Z_{ch} , Z_d respectivement la cote de l'eau claire (Z_c), cote de zone de chute (Z_{ch}) et la zone de dépôt (Z_d). Les hauteurs : H_C, H_{CH}, H_D seront ainsi calculées.

Pour chaque concentration, trois essais ont été faits.

IV.4.2 Expérience N°2 (tassement) :

L'expérience N°2 commence par la disparition de la zone de chute, tel qu'il n'y aura que la zone de l'eau claire et la zone du dépôt (Figure 07), en mesurant le tassement de la zone de dépôt pour les concentrations de 50, 100, 150, 200 g/l.

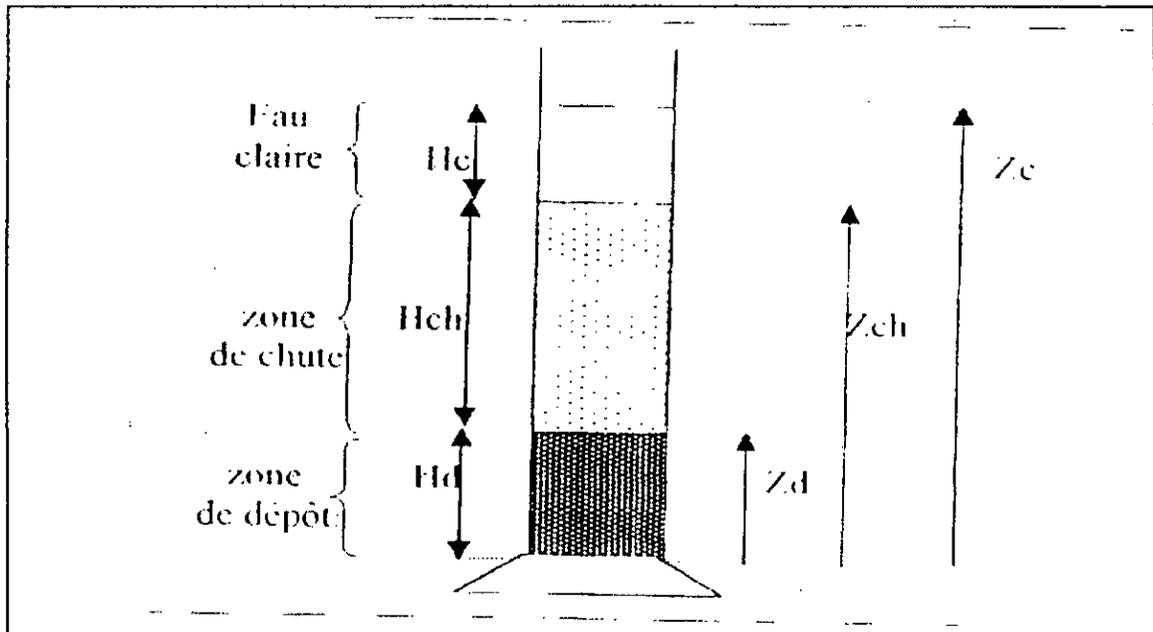


FIGURE 06 Les déferrantes phases

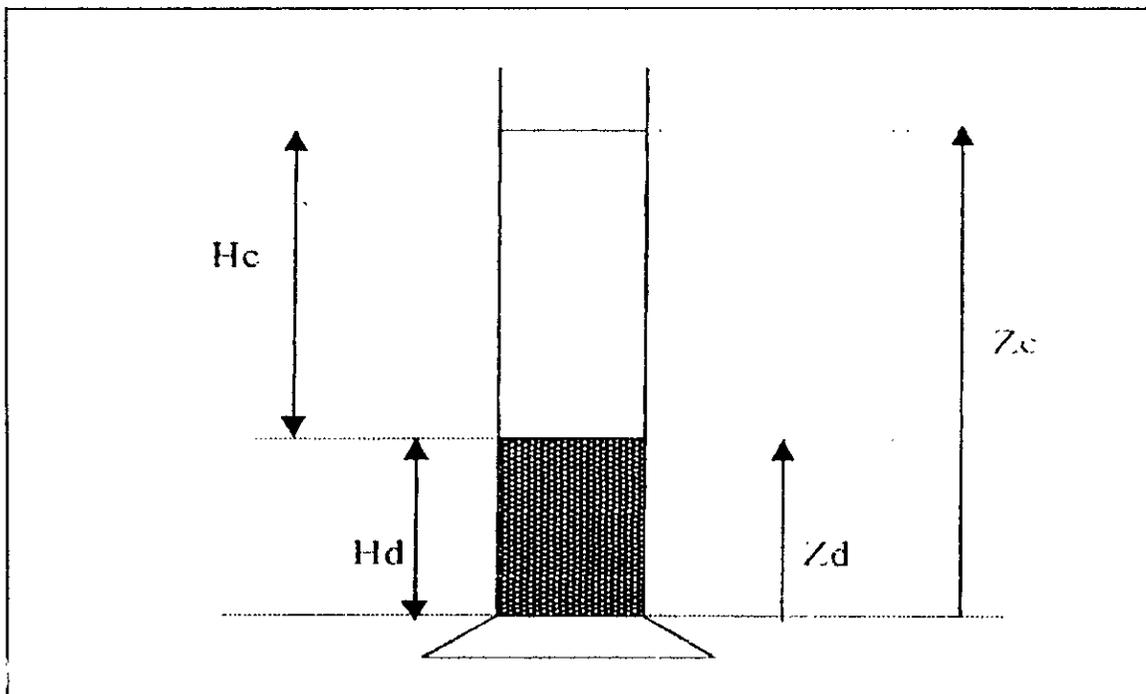
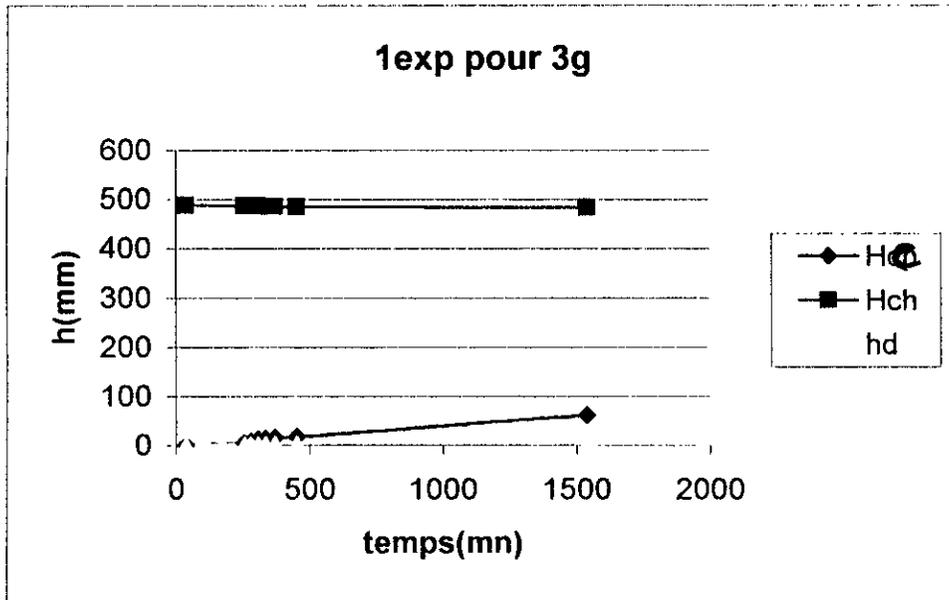


FIGURE 07 Disparition de la zone de suspension

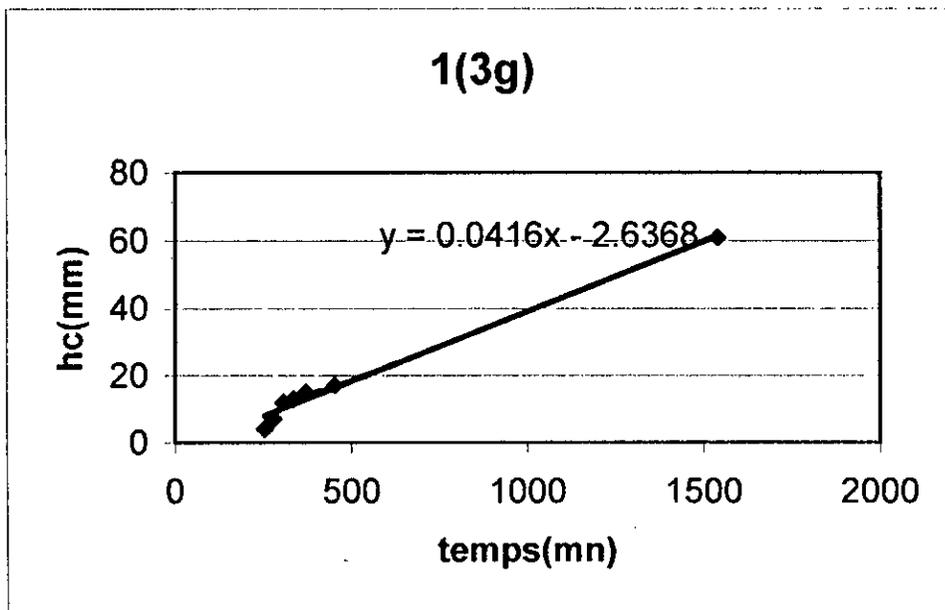
CHAPITRE 05

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

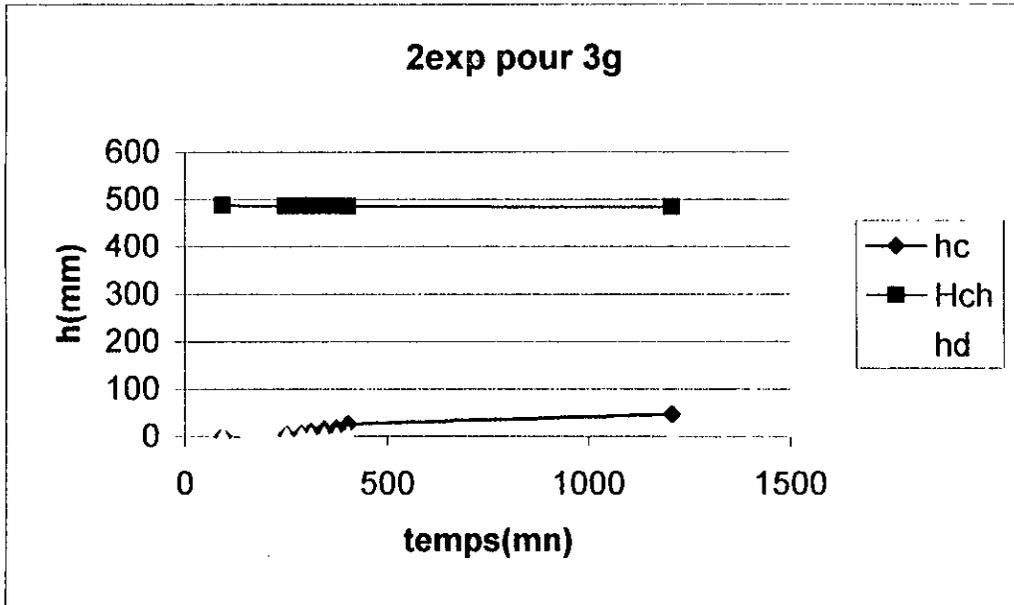
graphe N ° 01



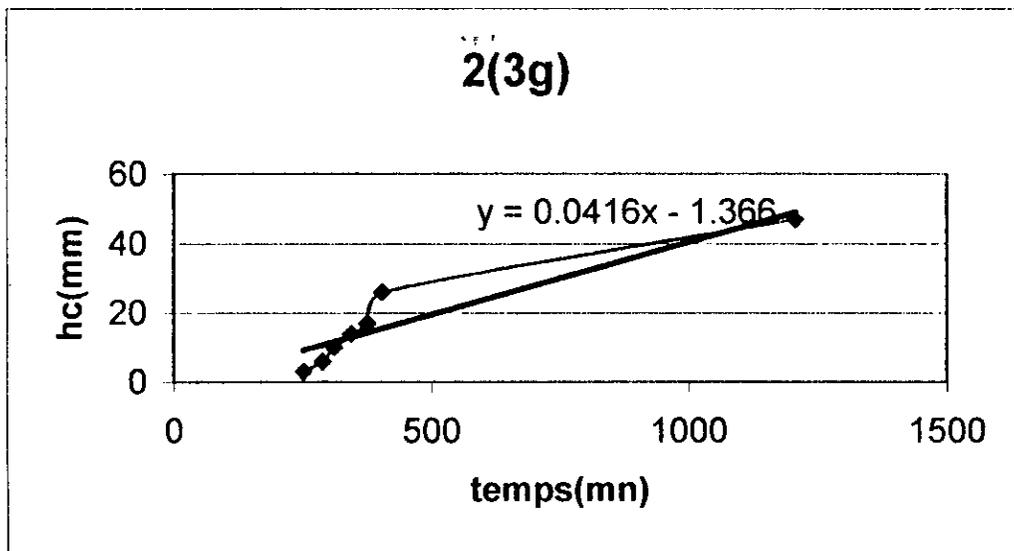
graphe N ° 02



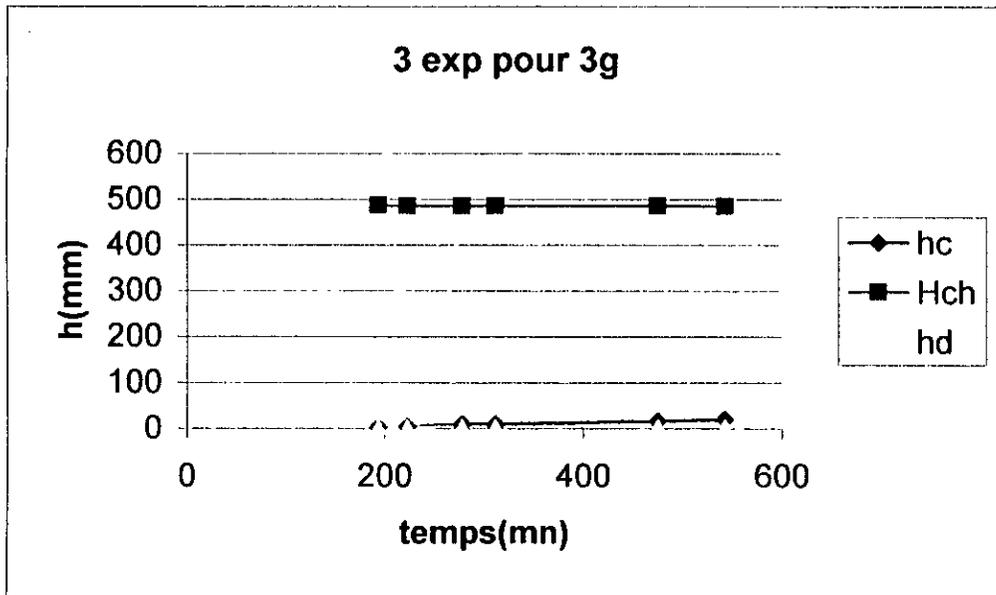
graphe N ° 03



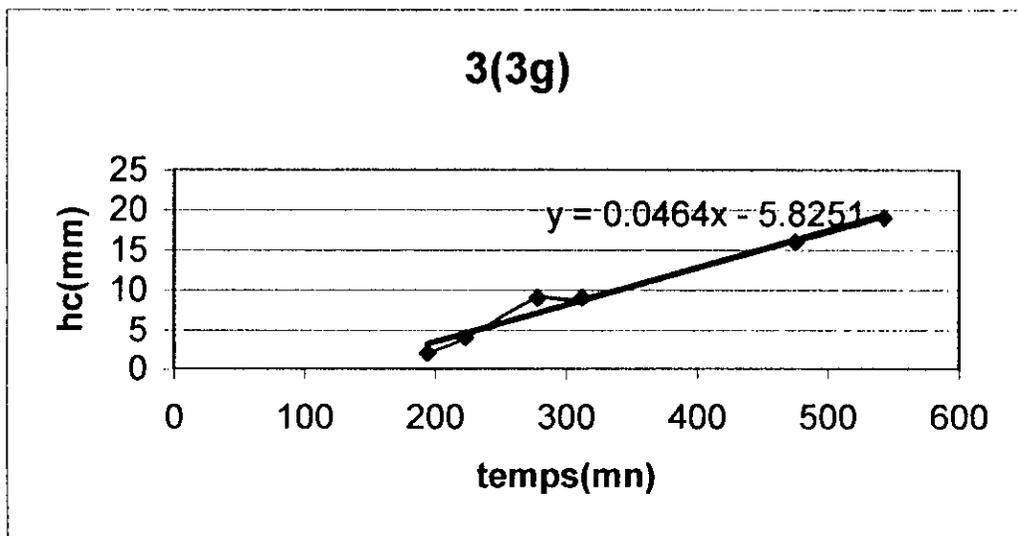
graphe N ° 04



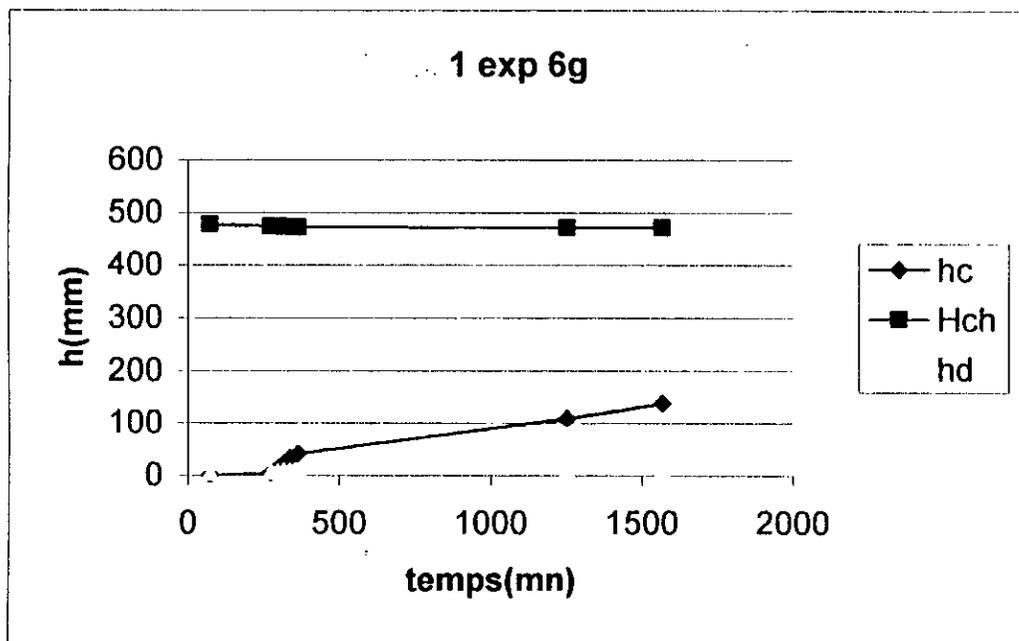
graphe N ° 05



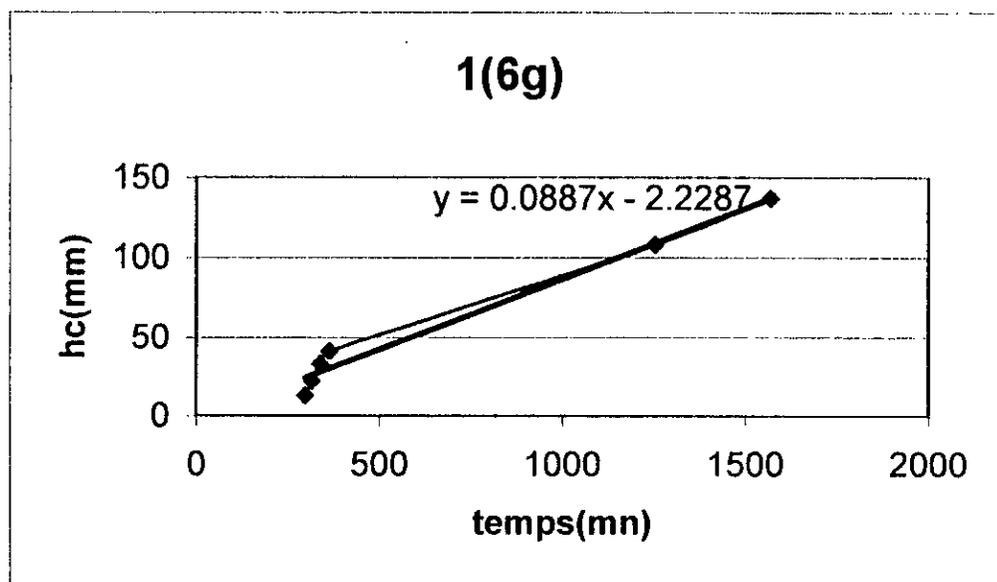
graphe N ° 06



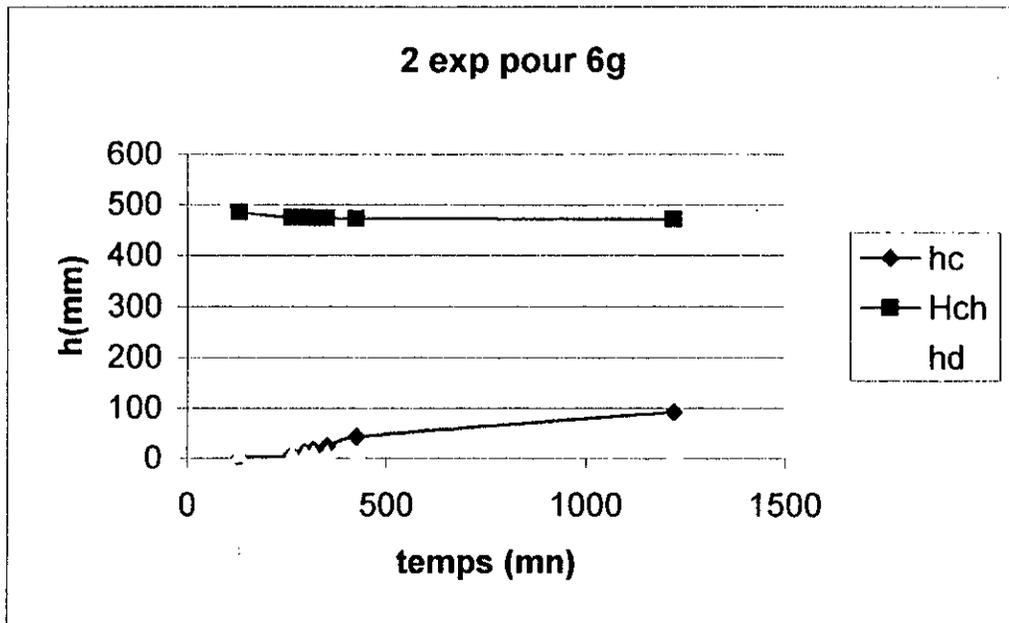
graphe N ° 07



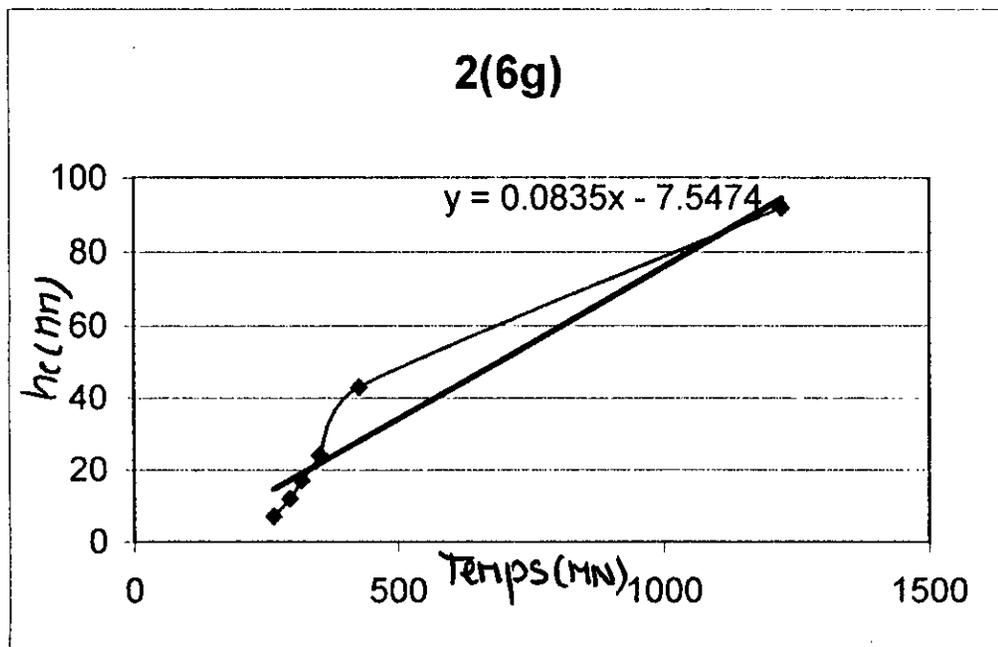
graphe N ° 08



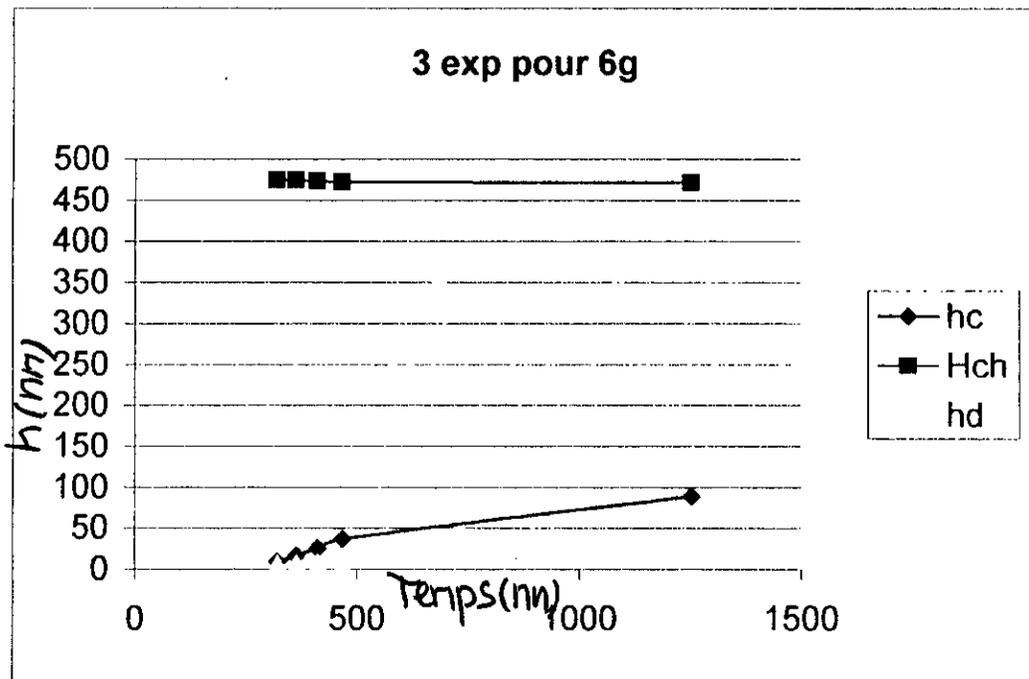
graphe N ° 09



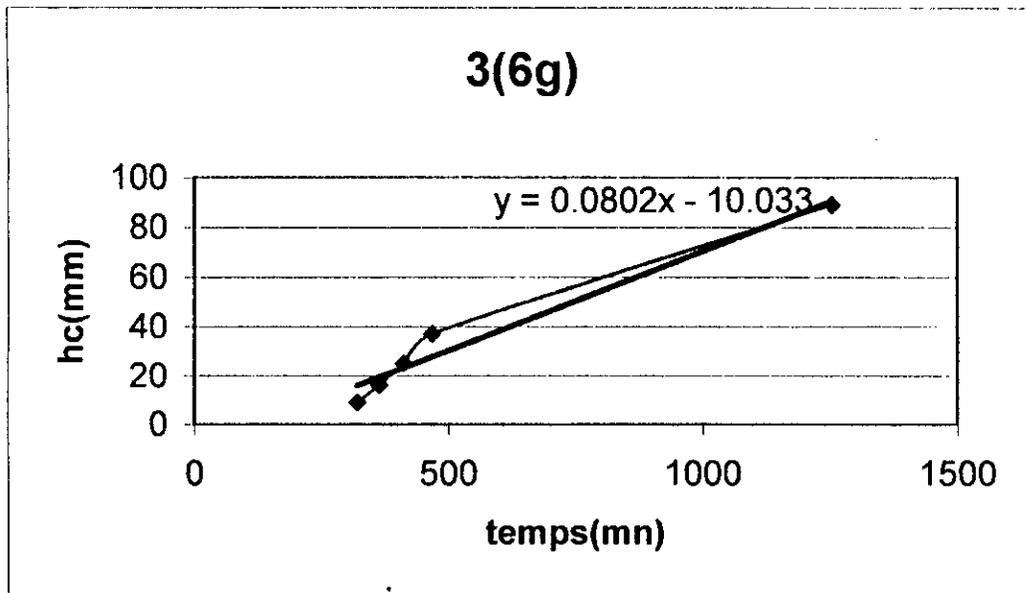
graphe N ° 10



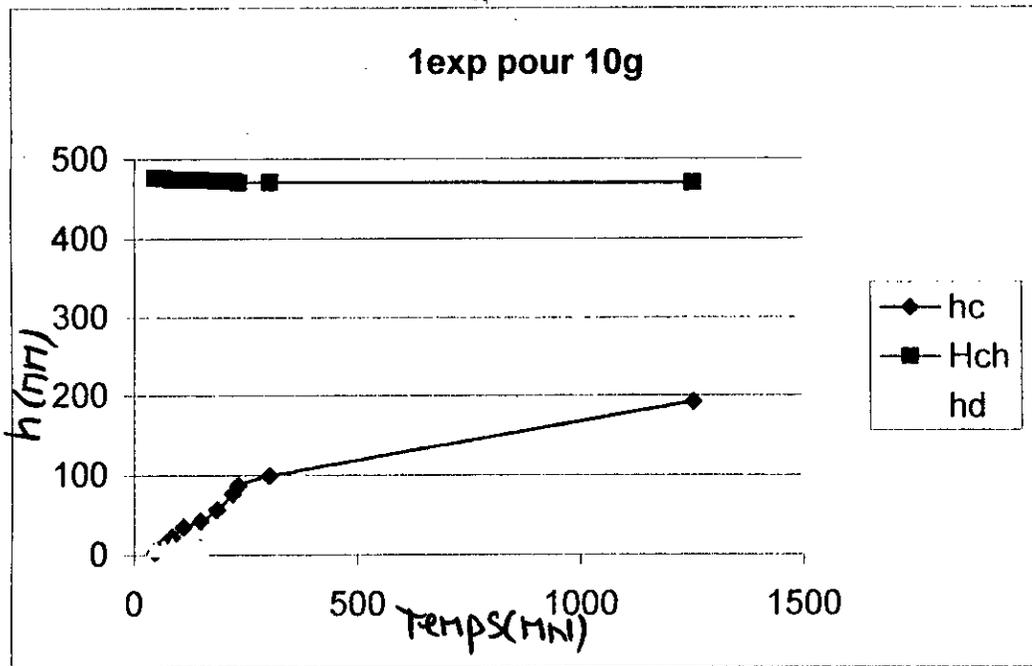
graphe N ° 11



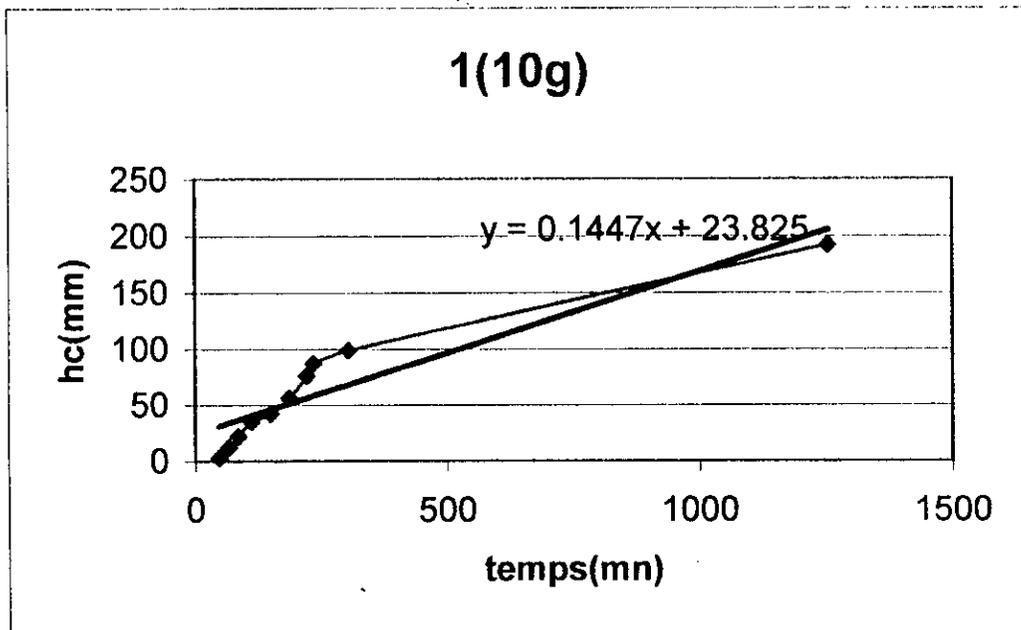
graphe N ° 12



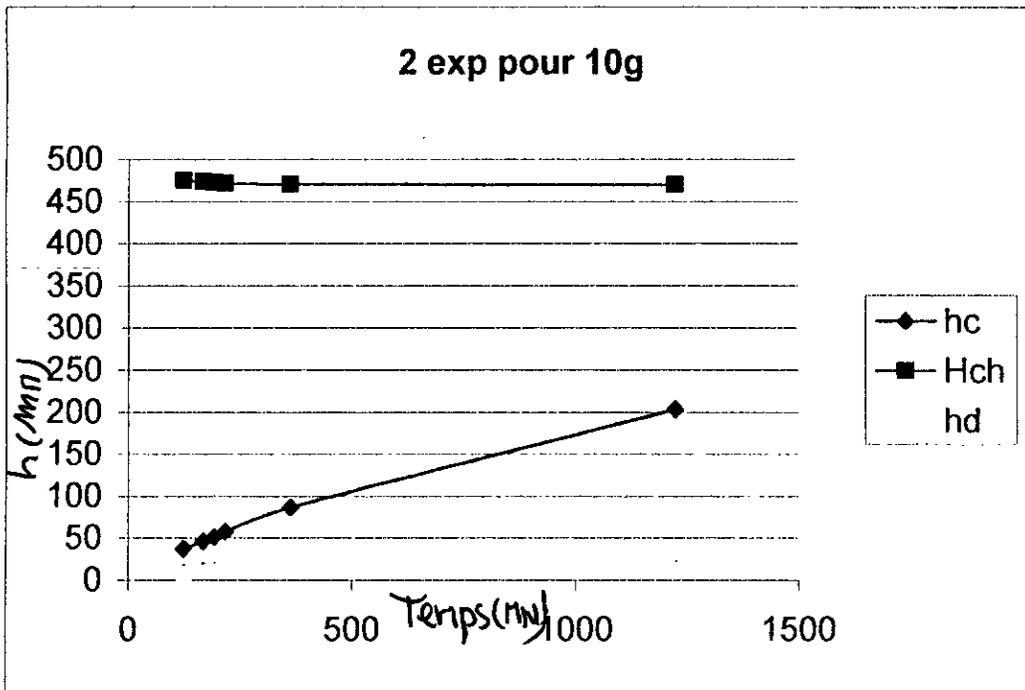
graphe N ° 13



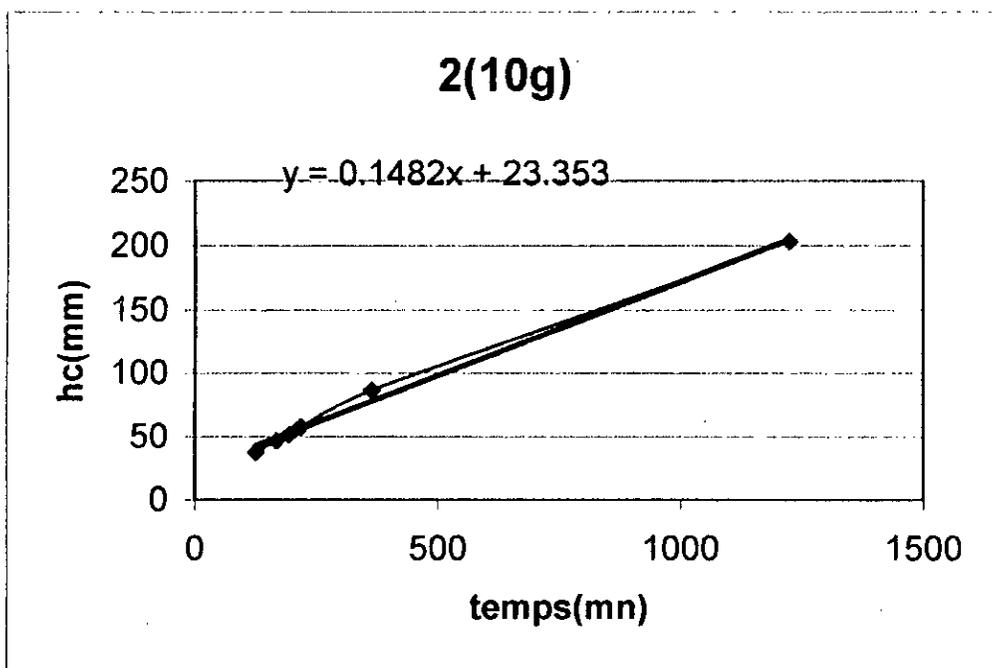
graphe N ° 14



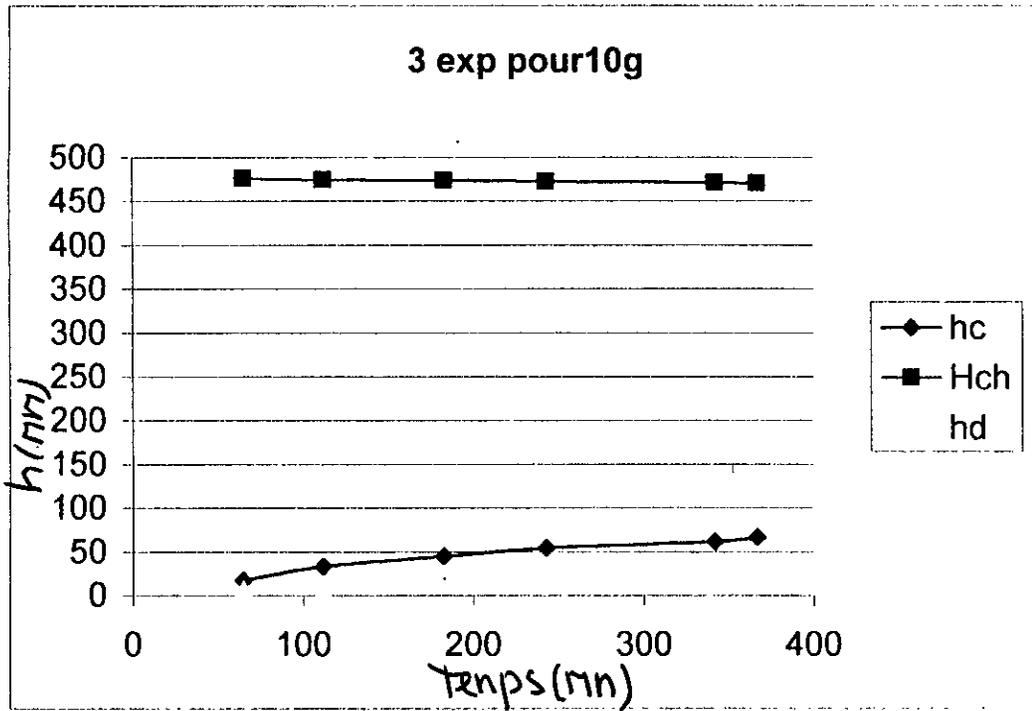
graphe N ° 15



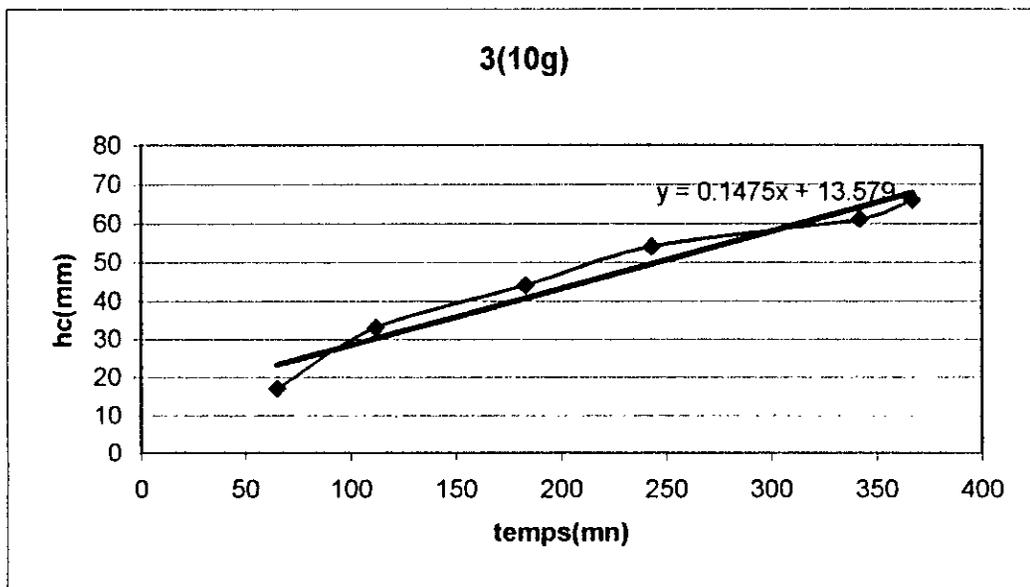
graphe N ° 16



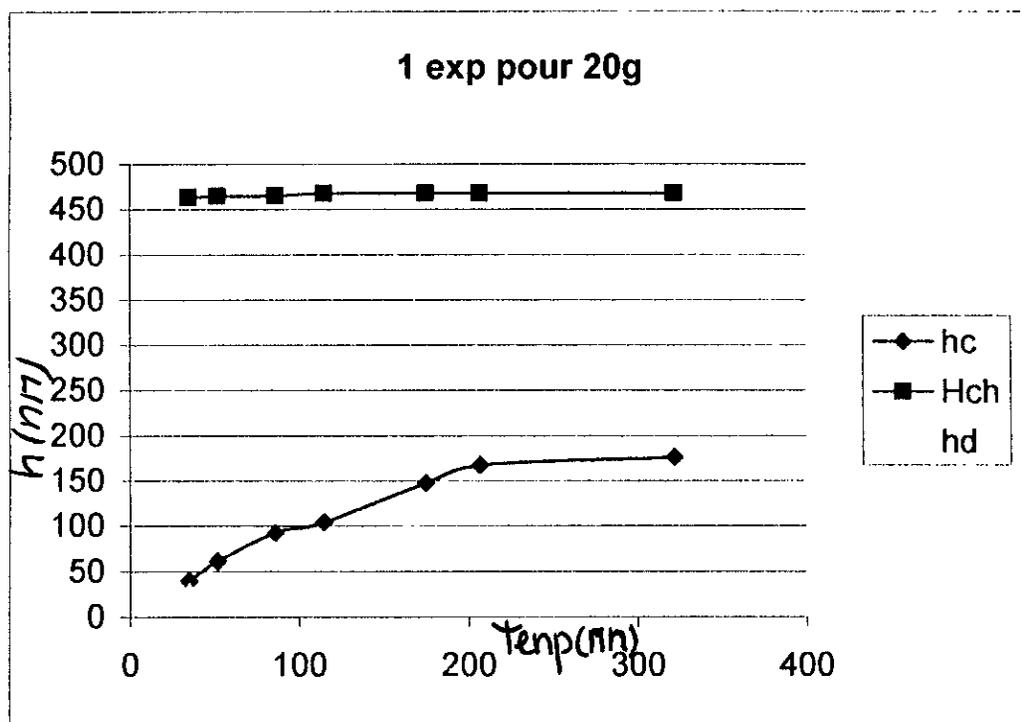
graphe N ° 17



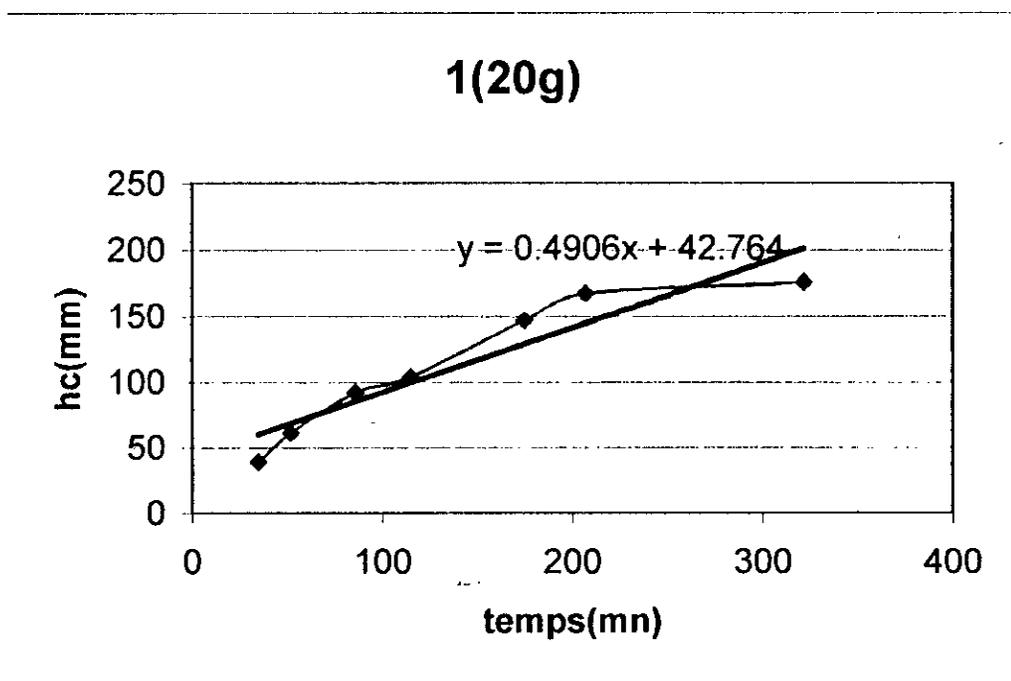
graphe N ° 18



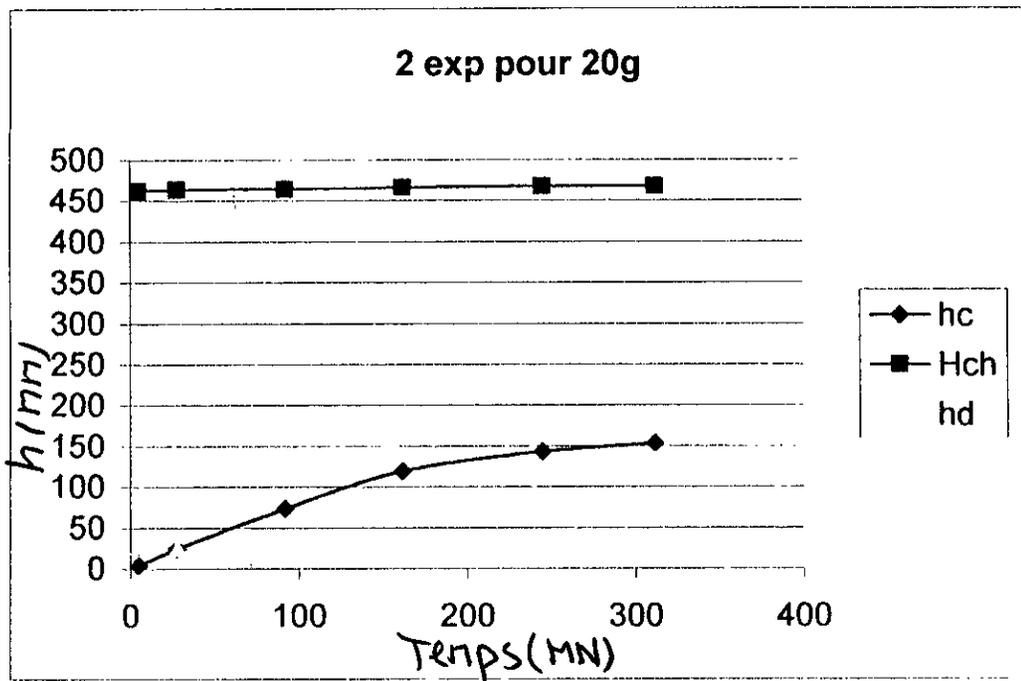
graphe N ° 19



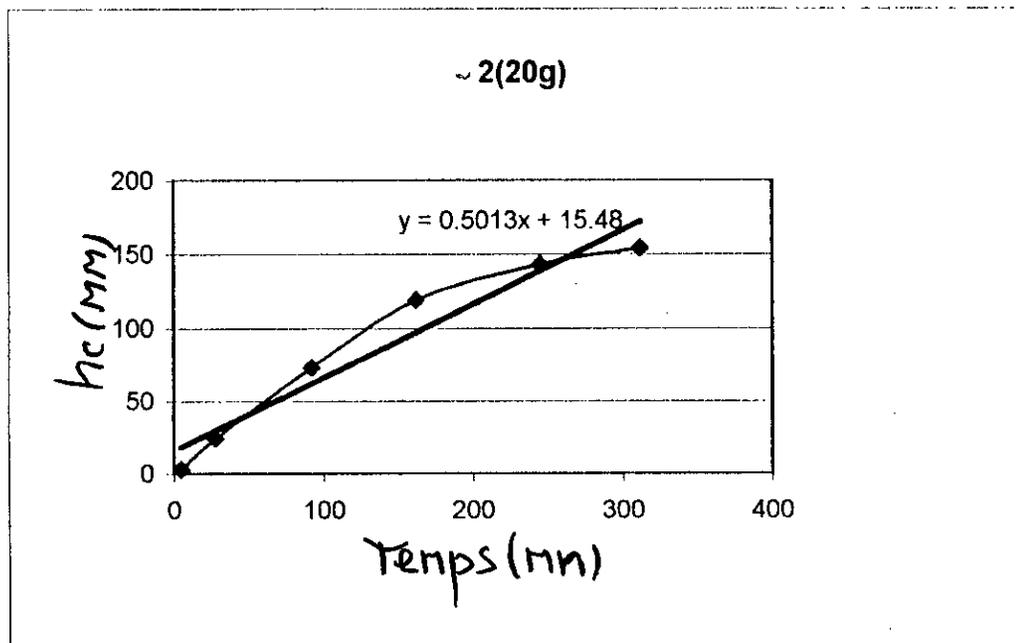
graphe N ° 20



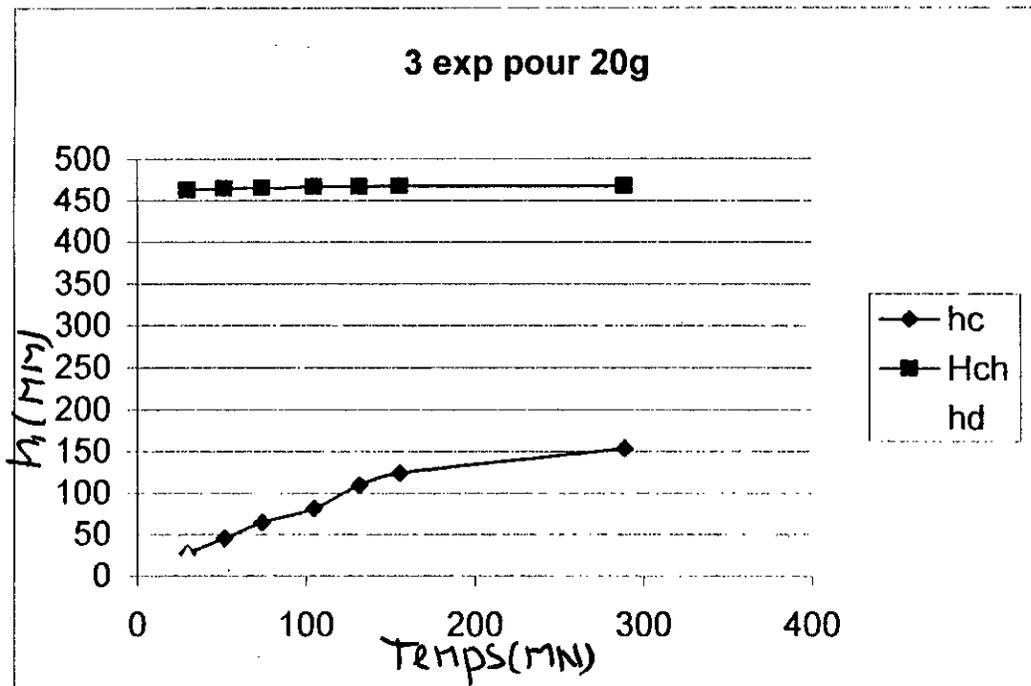
graphe N ° 21



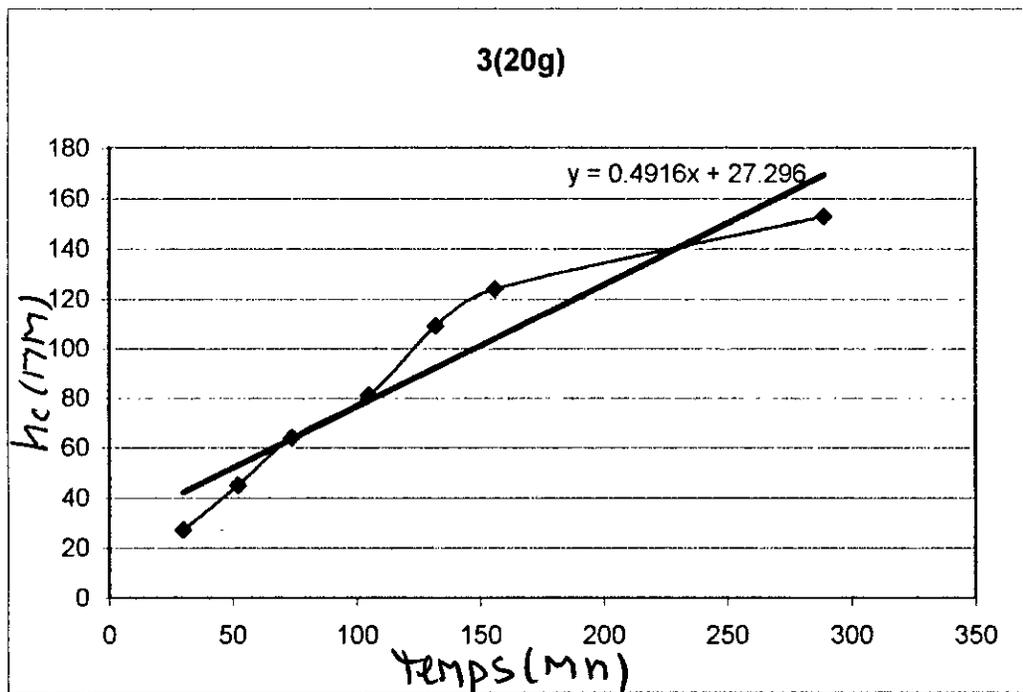
graphe N ° 22



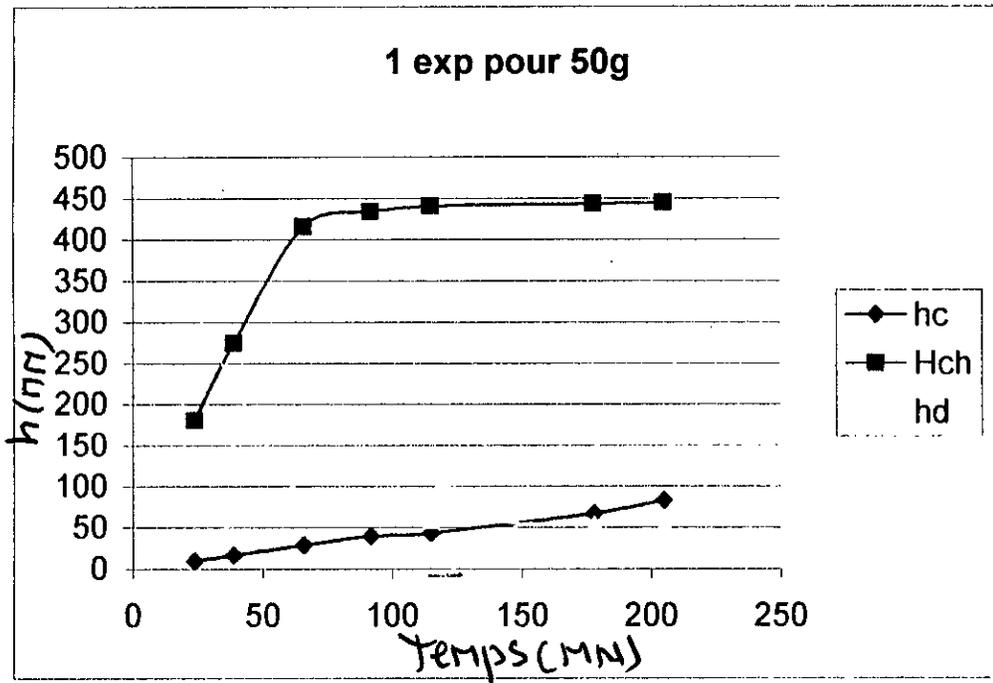
graphe N ° 23



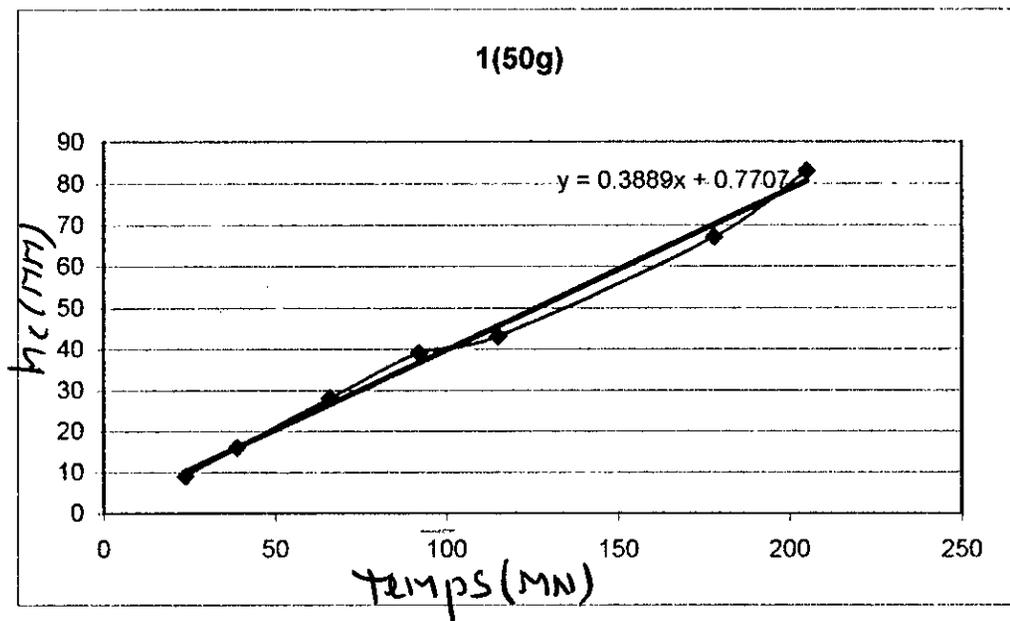
graphe N ° 24



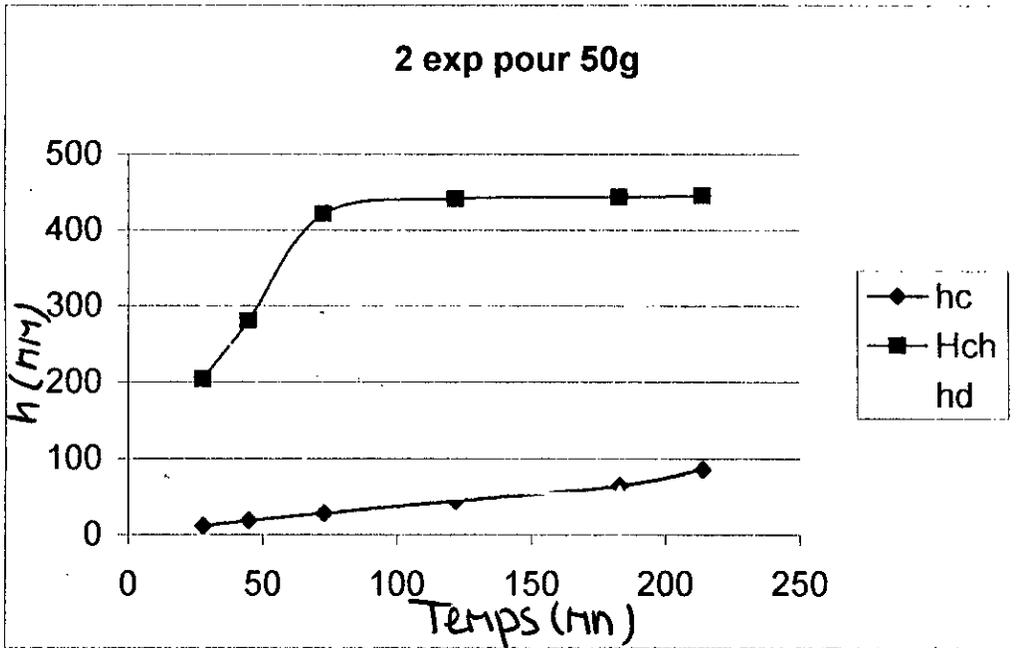
graphe N ° 25



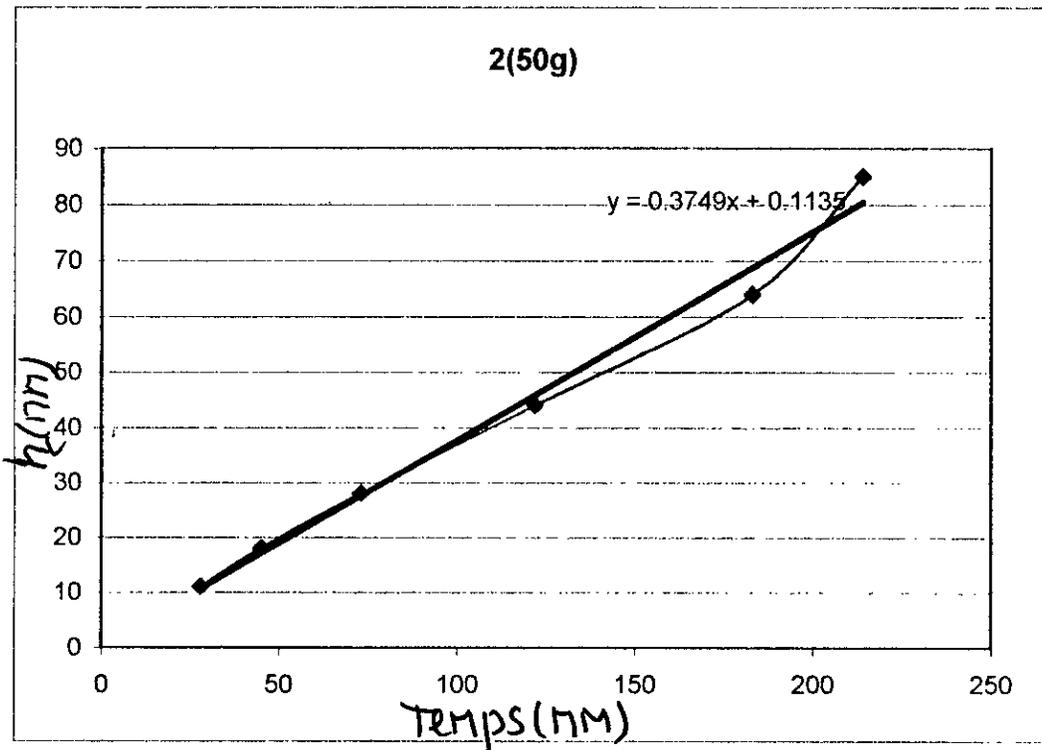
graphe N ° 26



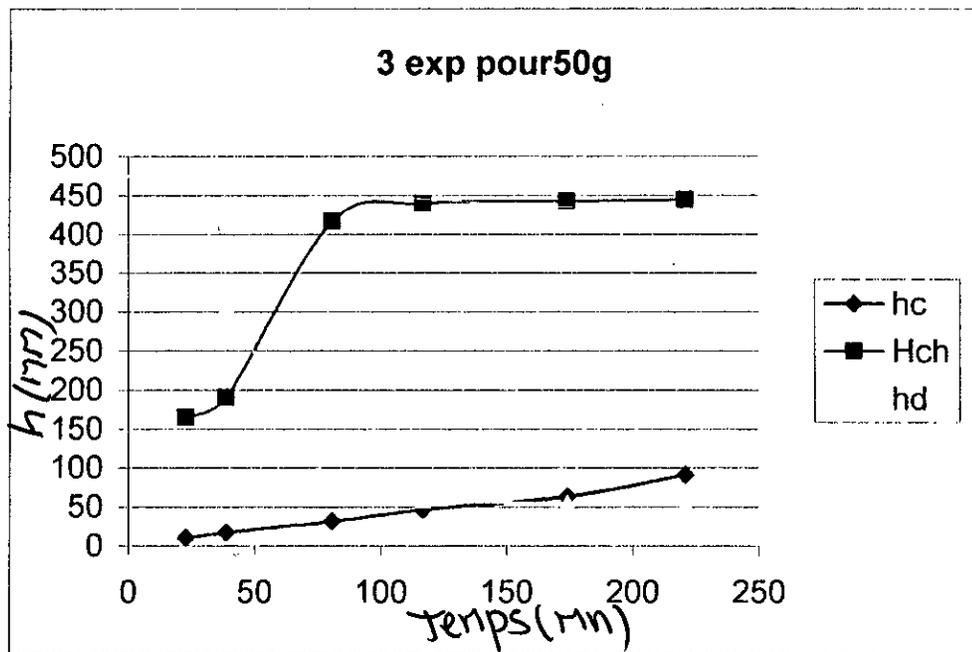
graphe N ° 27



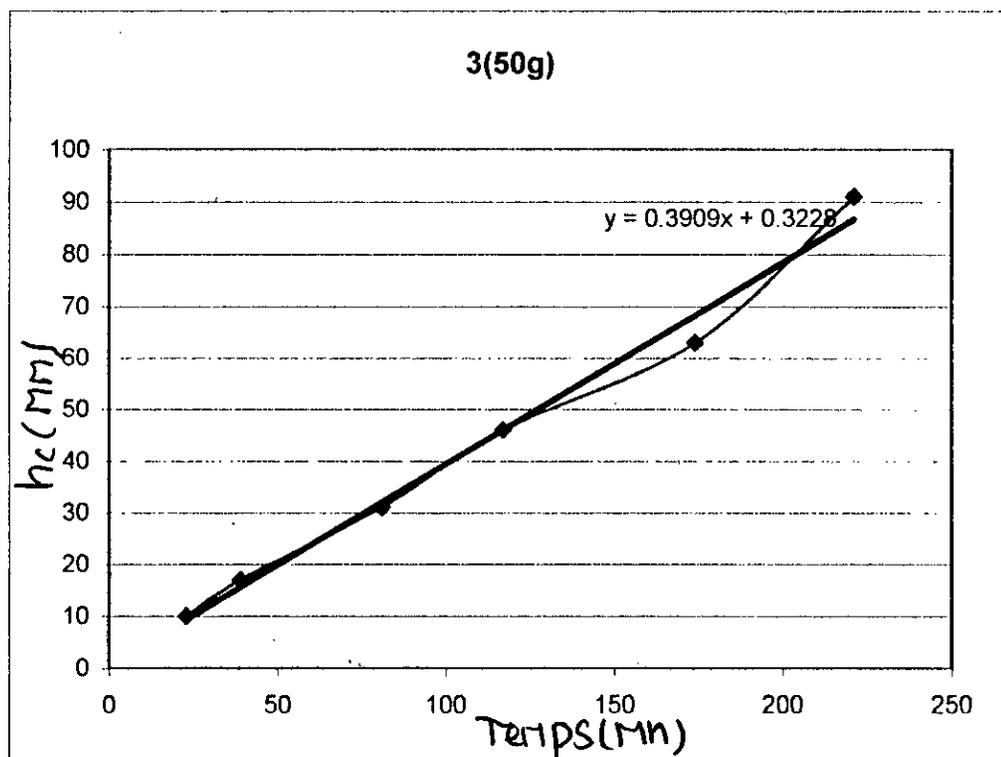
graphe N ° 28



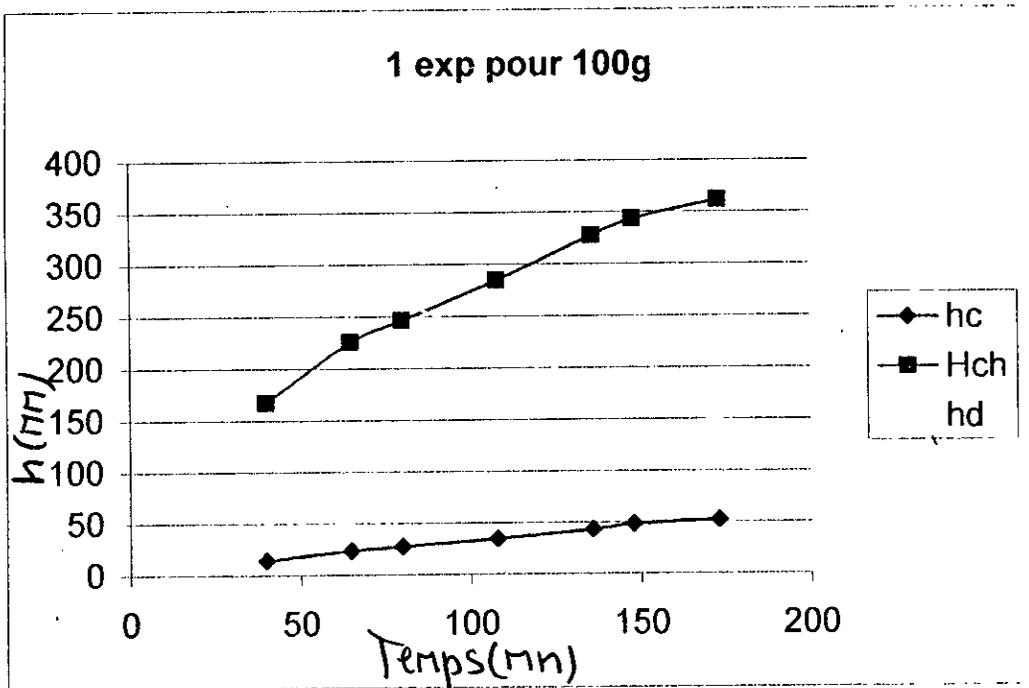
graphe N ° 29



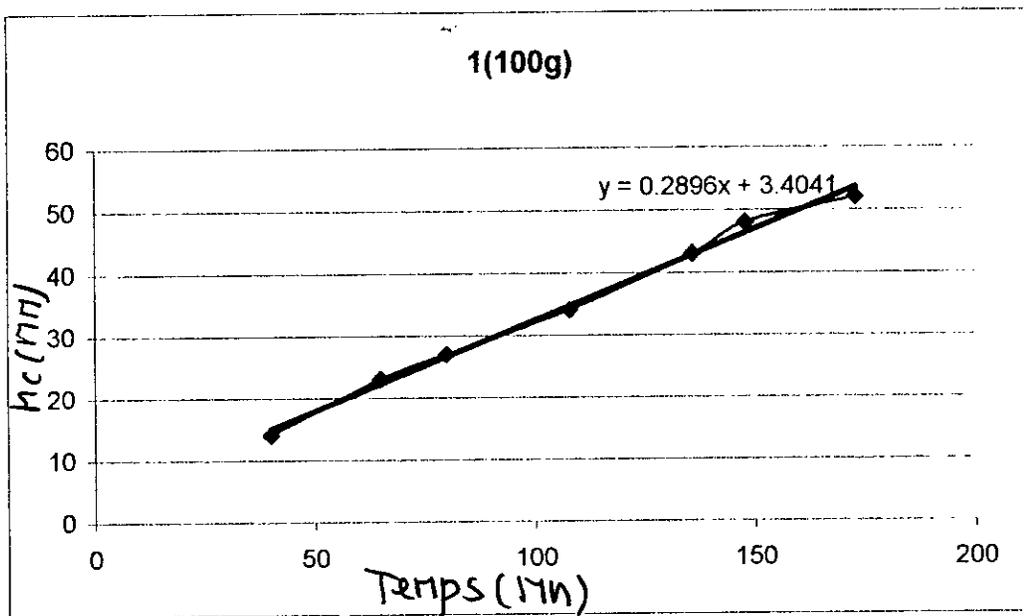
graphe N ° 30



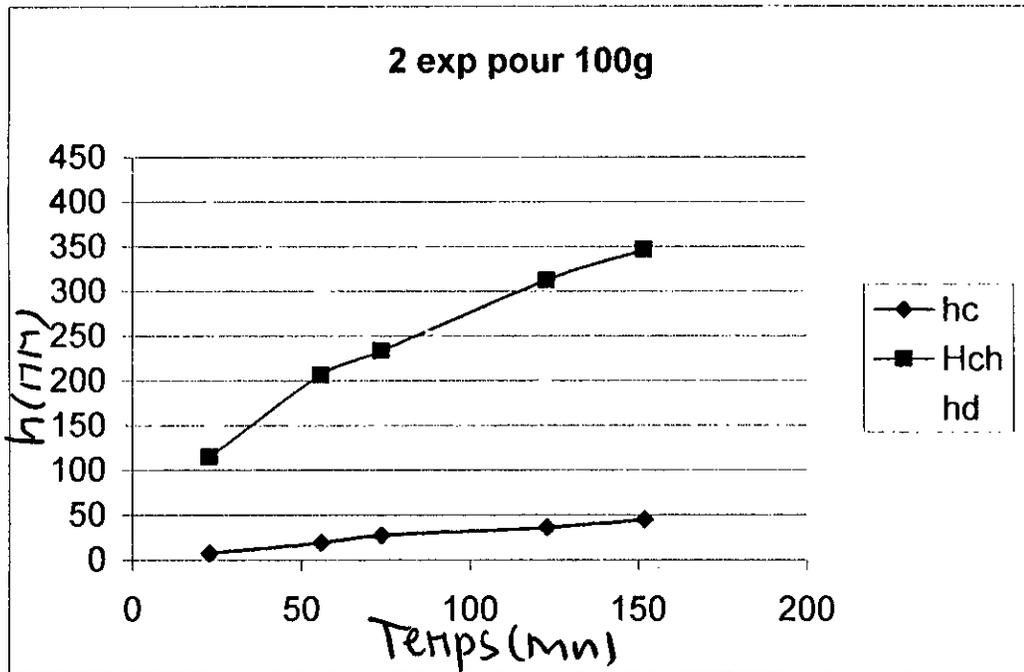
graphe N ° 31



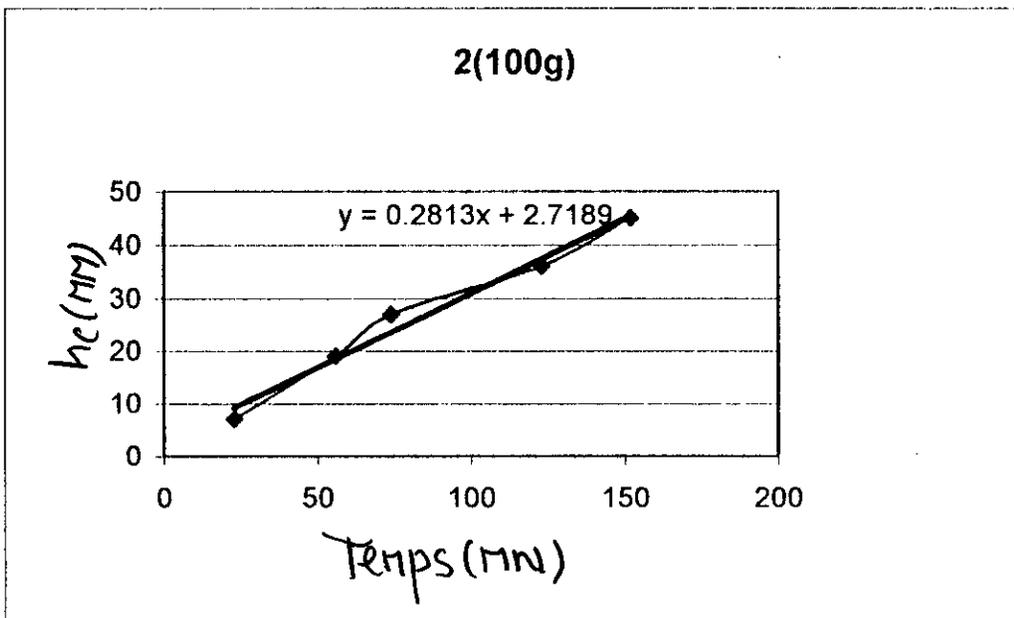
graphe N ° 32



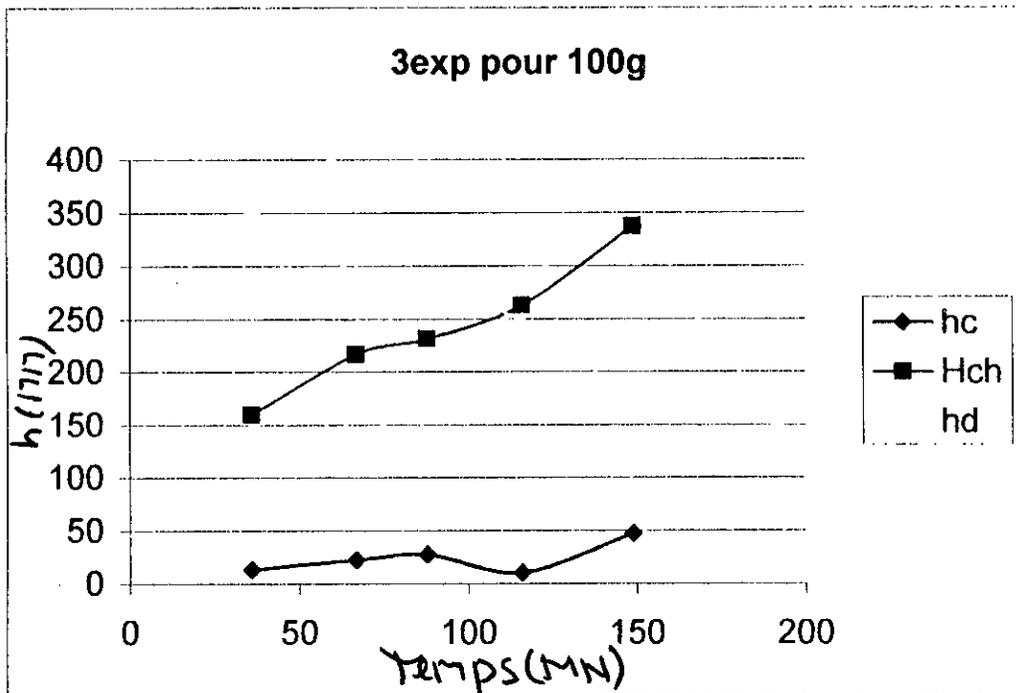
graphe N ° 33



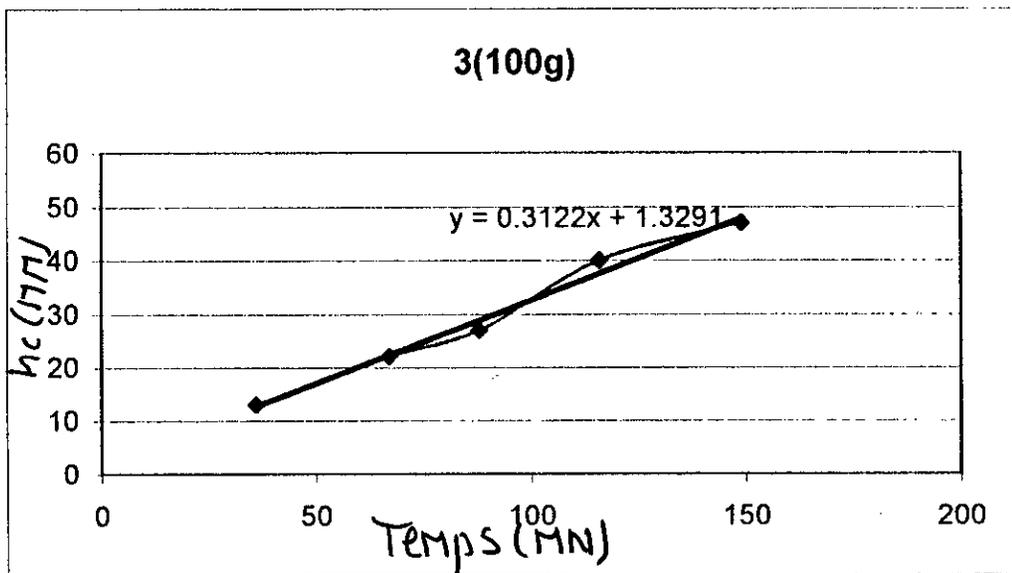
graphe N ° 34



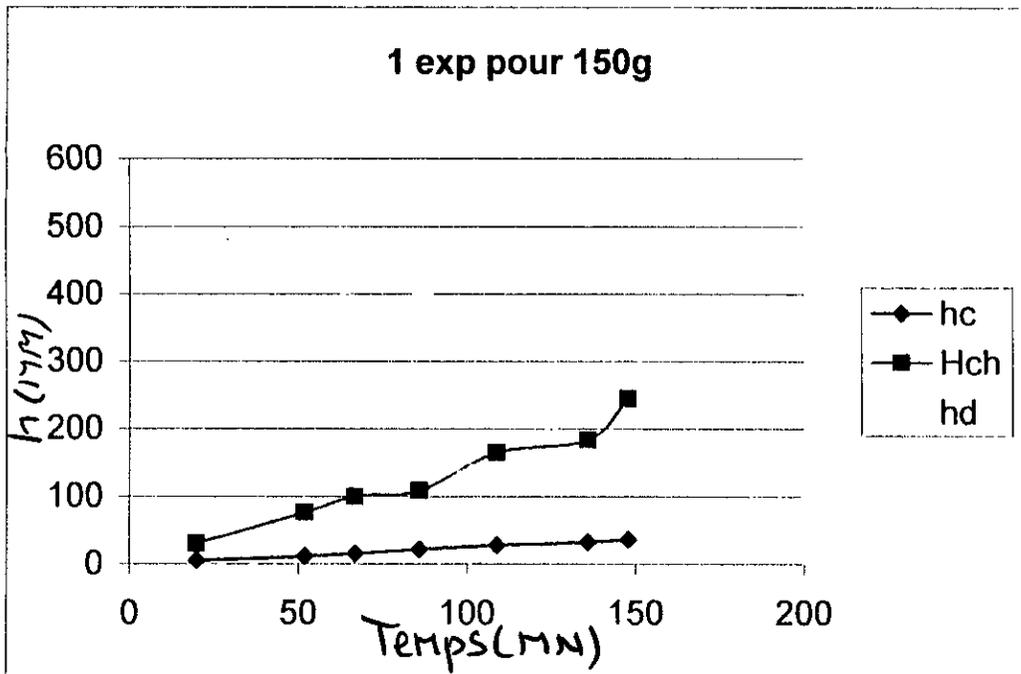
graphe N ° 35



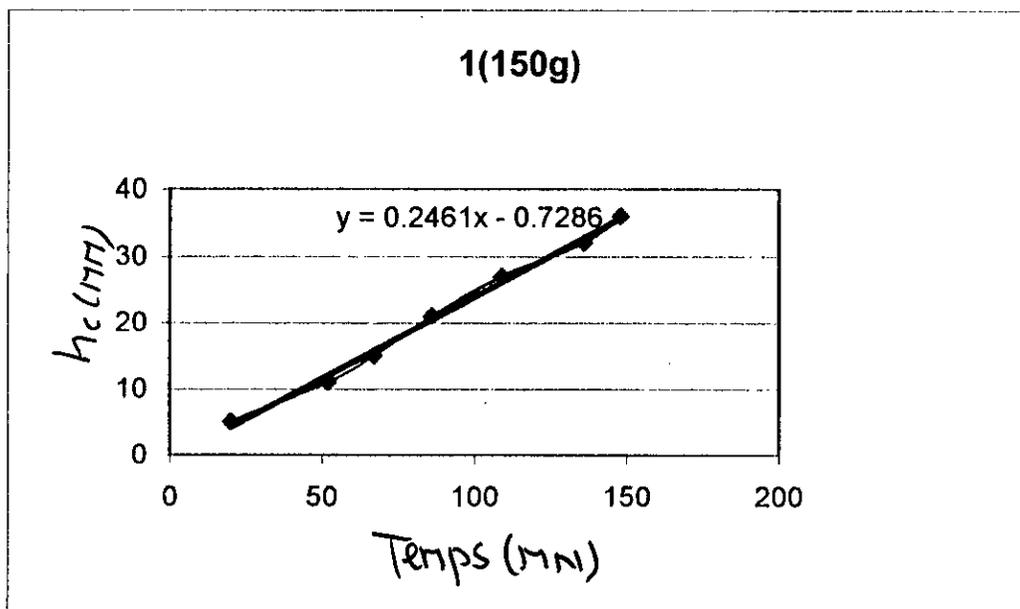
graphe N ° 36



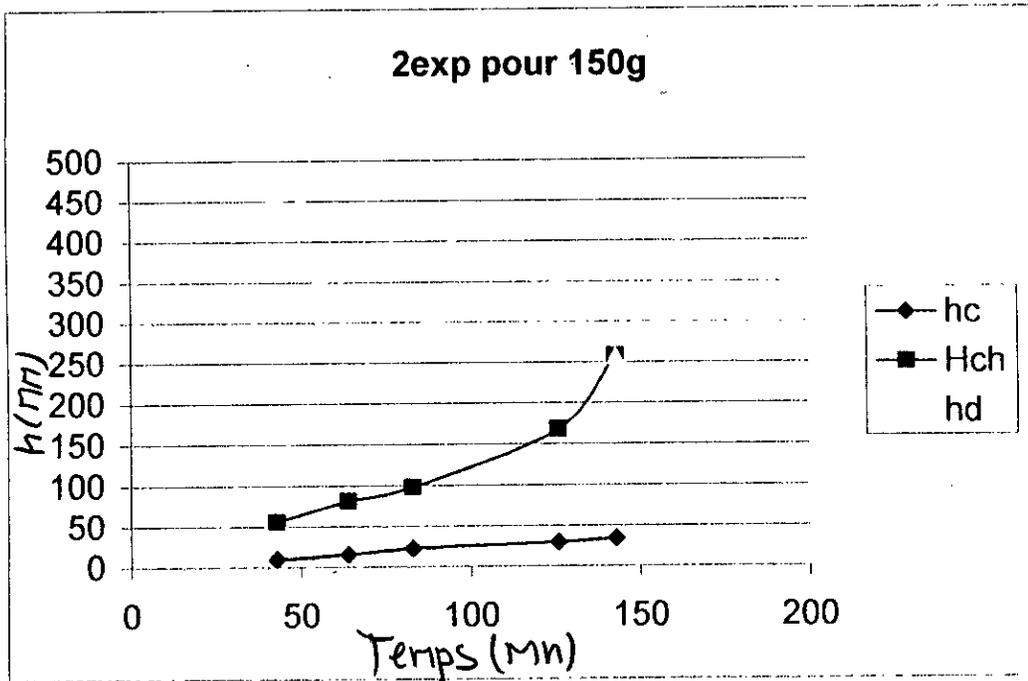
graphe N ° 37



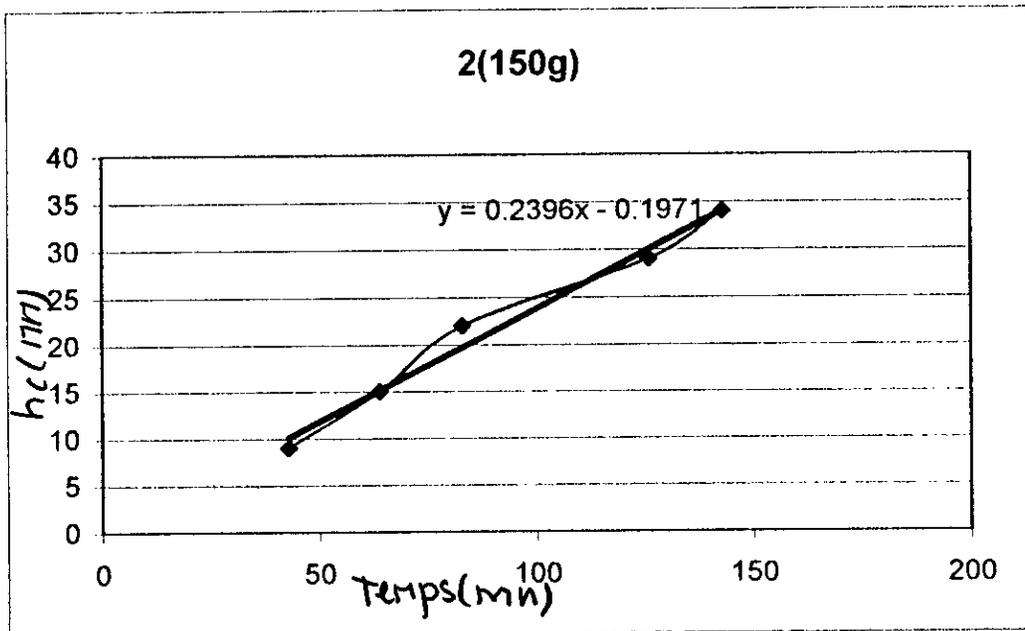
graphe N ° 38



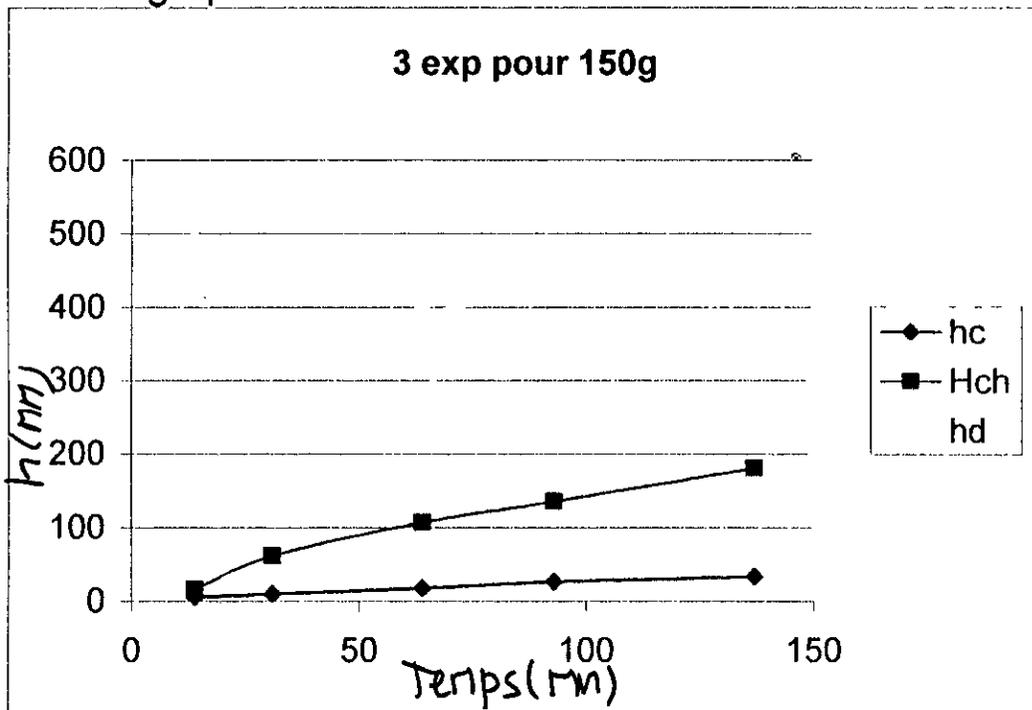
graphe N ° 39



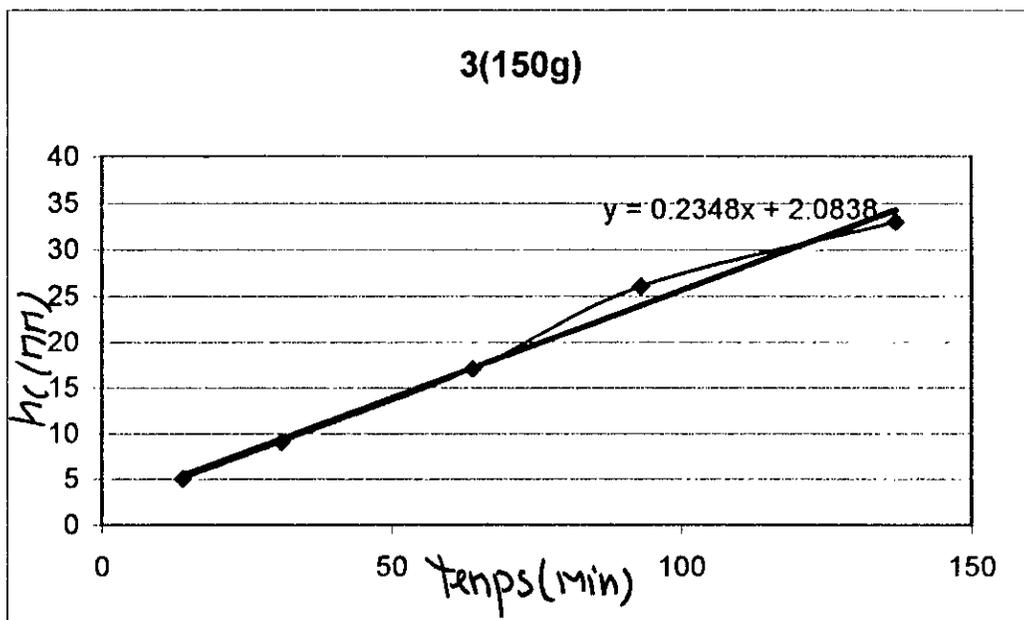
graphe N ° 40



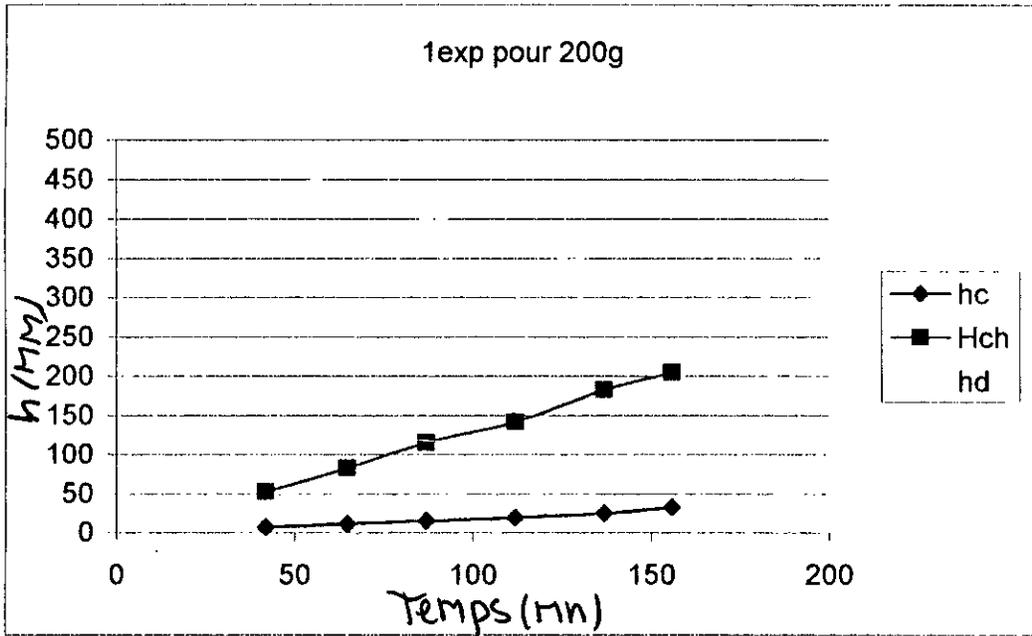
graphe N ° 41



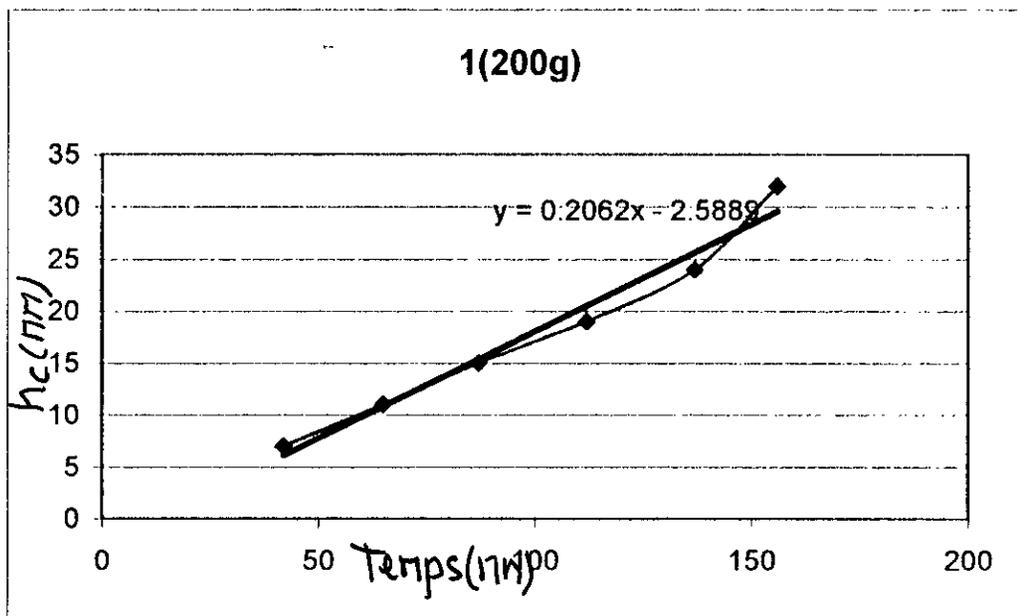
graphe N ° 42



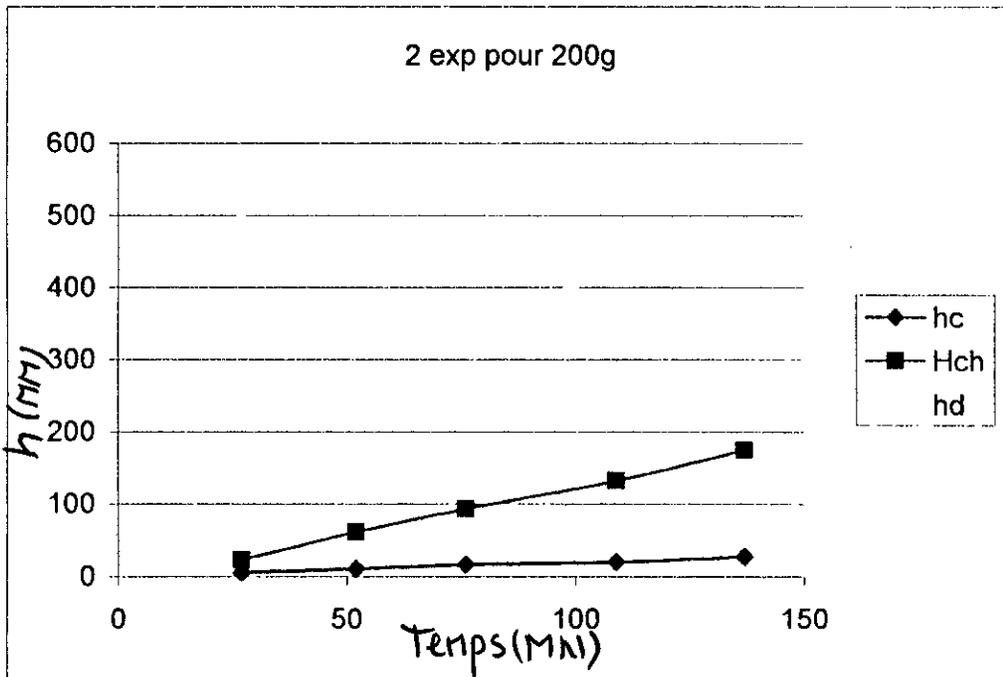
graphe N ° 43



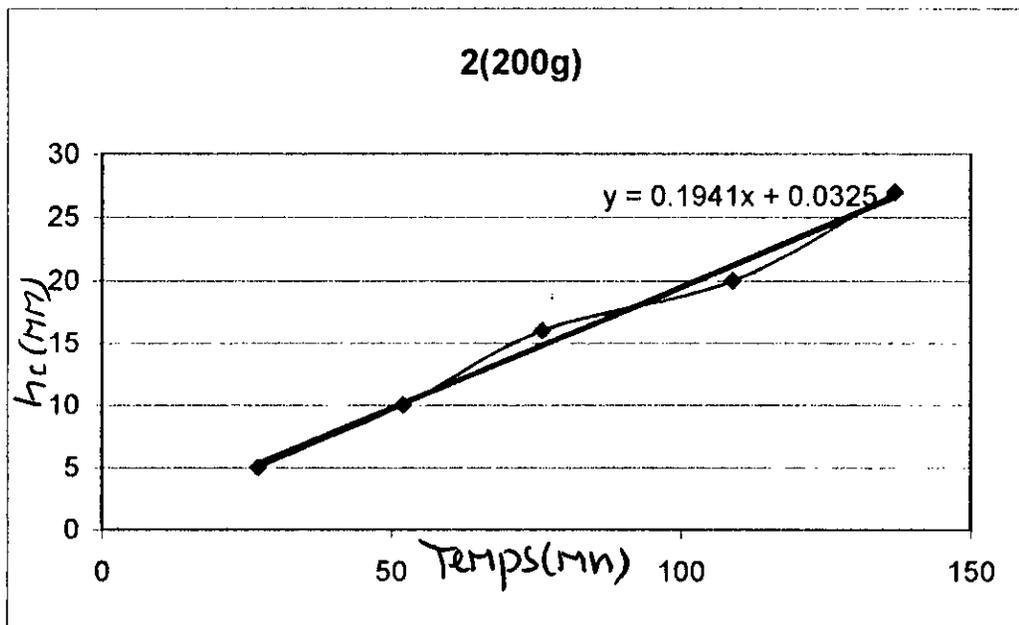
graphe N ° 44



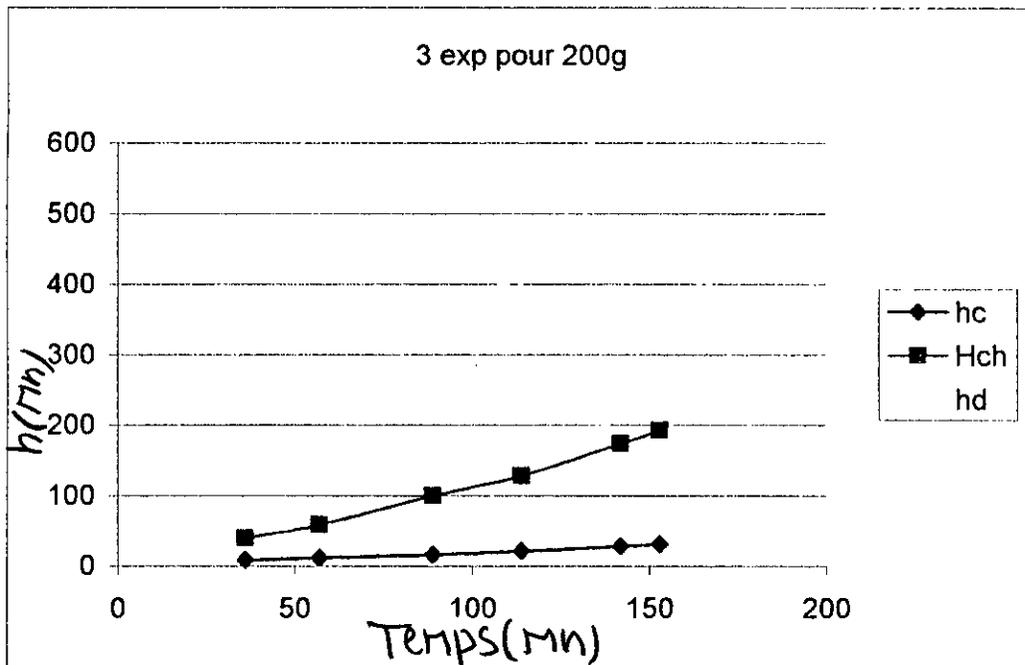
graphe N ° 45



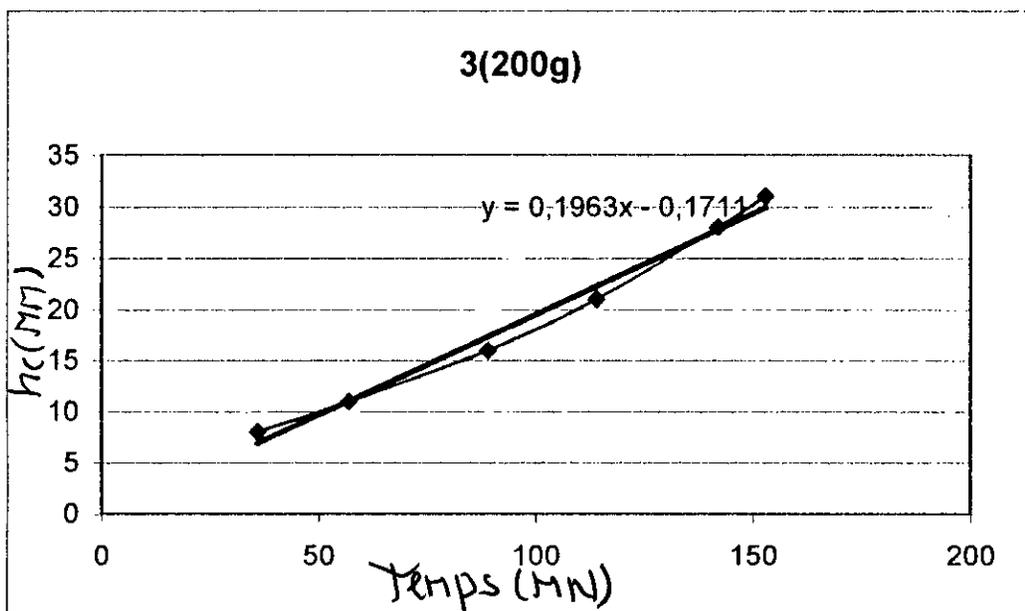
graphe N ° 46



graphe N ° 47



graphe N ° 48



Chapitre V : Résultats et interprétations :

Les graphes (1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31,33,35,37,39,41,43,45,47 des p 29 à 52) donnent Hc, Hch, Hd en fonction du temps.

V.1 : La Vitesse de chute :

On peut définir les vitesses des trois agitations de chaque concentration en calculant les pentes des graphes de Hc en fonction du temps.

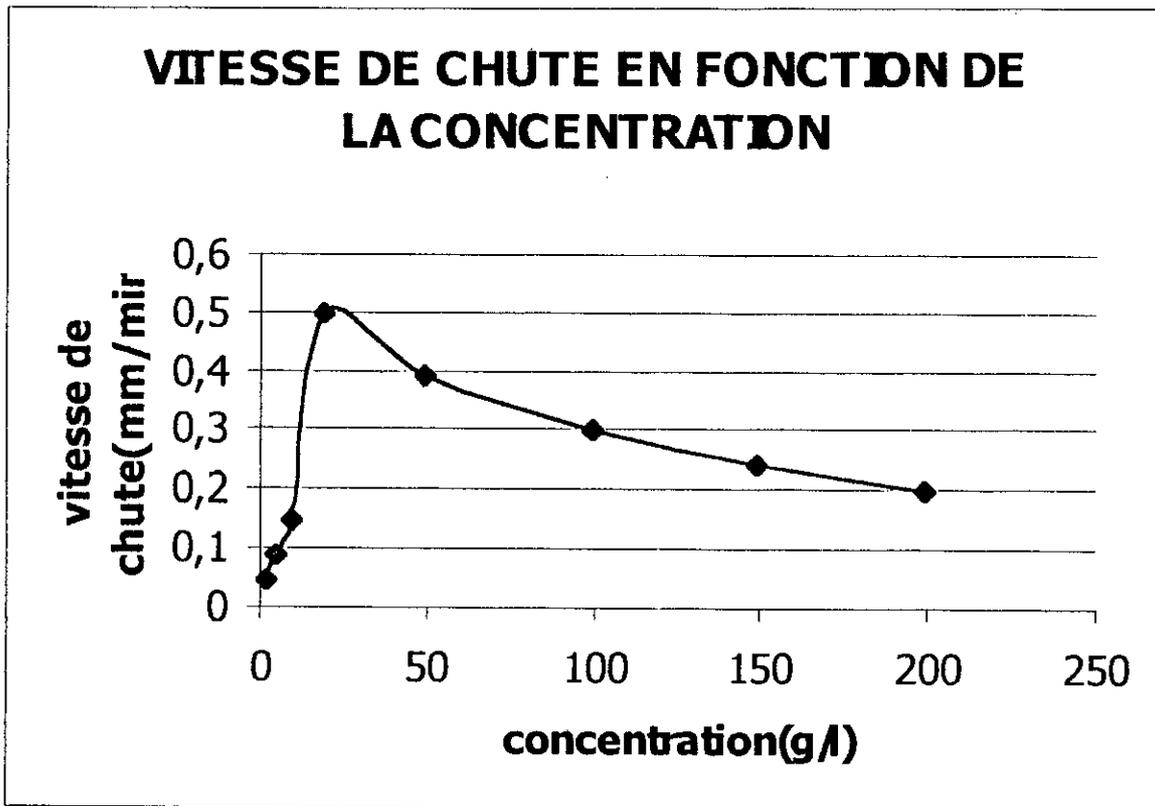
Pour définir la vitesse de chaque concentration, on calcule la moyenne des vitesses des agitations,

$$V_{\text{moy}} = (V1+V2+V3)/ 3$$

En utilisant les valeurs de ces vitesses moyenne, on peut tracer le graphe ci-après (graphe 02)

CONCENTRATION g/l	VITESSE (1) (MM/MIN)	VITESSE(2) (MM/MIN)	VITESSE(3) (MM/MIN)	VITESSE MOY (MM/MIN)
3	0.0416	0.0416	0.0464	0.0432
6	0.0887	0.0835	0.0802	0.0841
10	0.144	0.148	0.147	0.146
20	0.49	0.5	0.49	0.493
50	0.388	0.374	0.39	0.384
100	0.289	0.281	0.312	0.297
150	0.246	0.239	0.234	0.239
200	0.206	0.194	0.196	0.198

<<Tableau des valeurs expérimentales des vitesses de chute moyennes >>



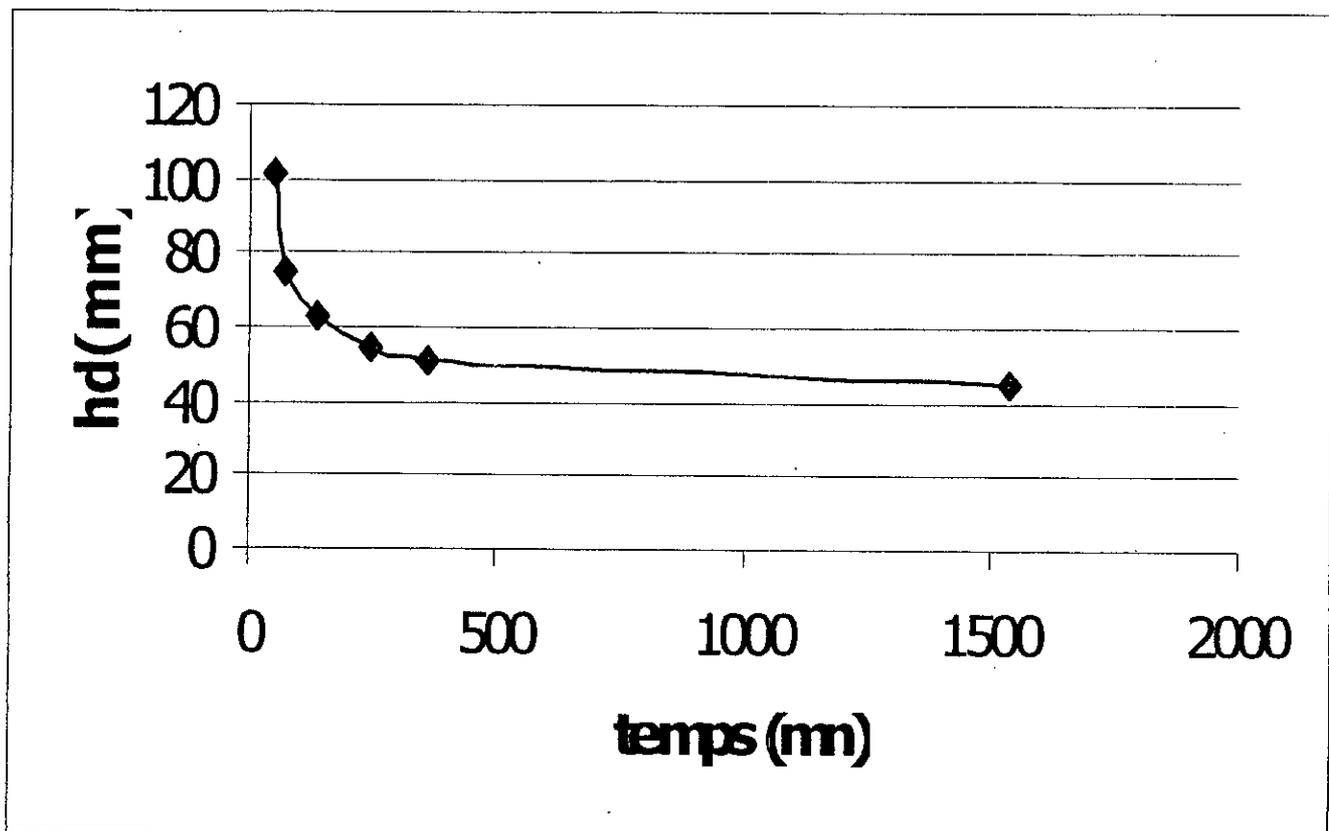
Graphe : (02)

V.2 -Tassement en fonction du temps :

D'après les résultats de nos expérience on peut tracer les graphes de Hd en fonction du temps pour chaque concentration (50, 100,150 ,200 g/l).

V.2.1 : Pour une concentration de 50 g/L :

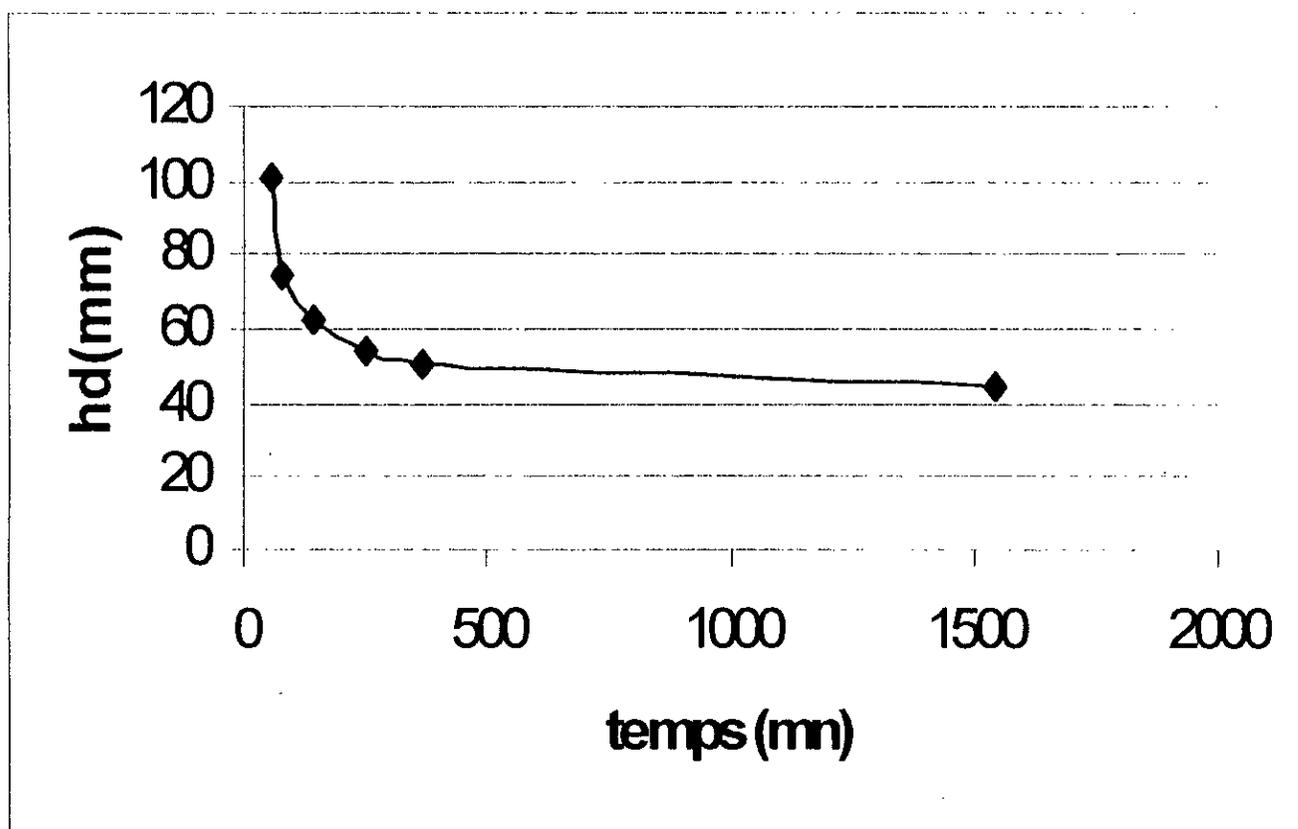
TEMPS (MIN)	57	80	143	251	370	1543
HD(MM)	101	74	62	54	51	45



Graphe . (03)

V.22 pour 100g :

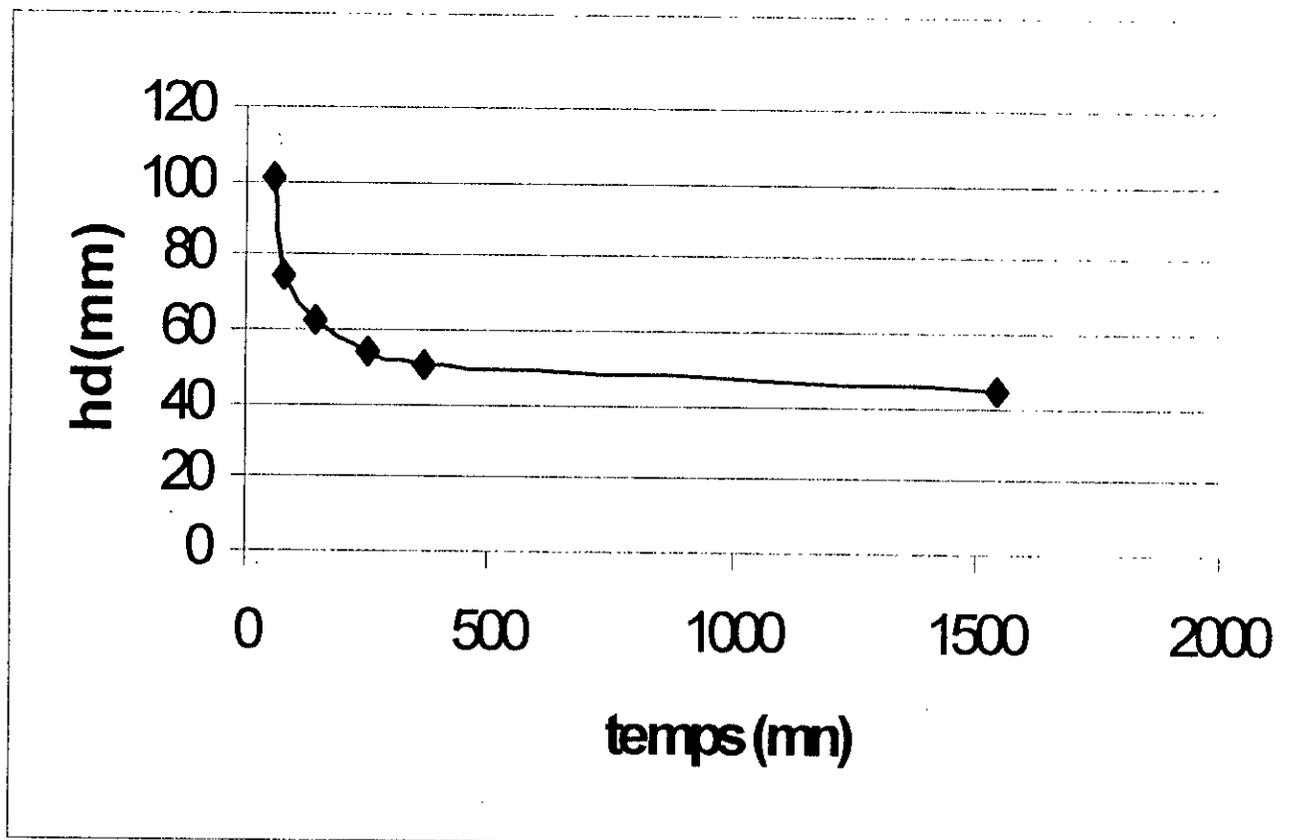
TEMPS (MIN)	89	145	219	267	1327	1600
HD(MM)	219	143	124	120	92	91



GRAPHE . (04)

V.2.3 – pour 150 g :

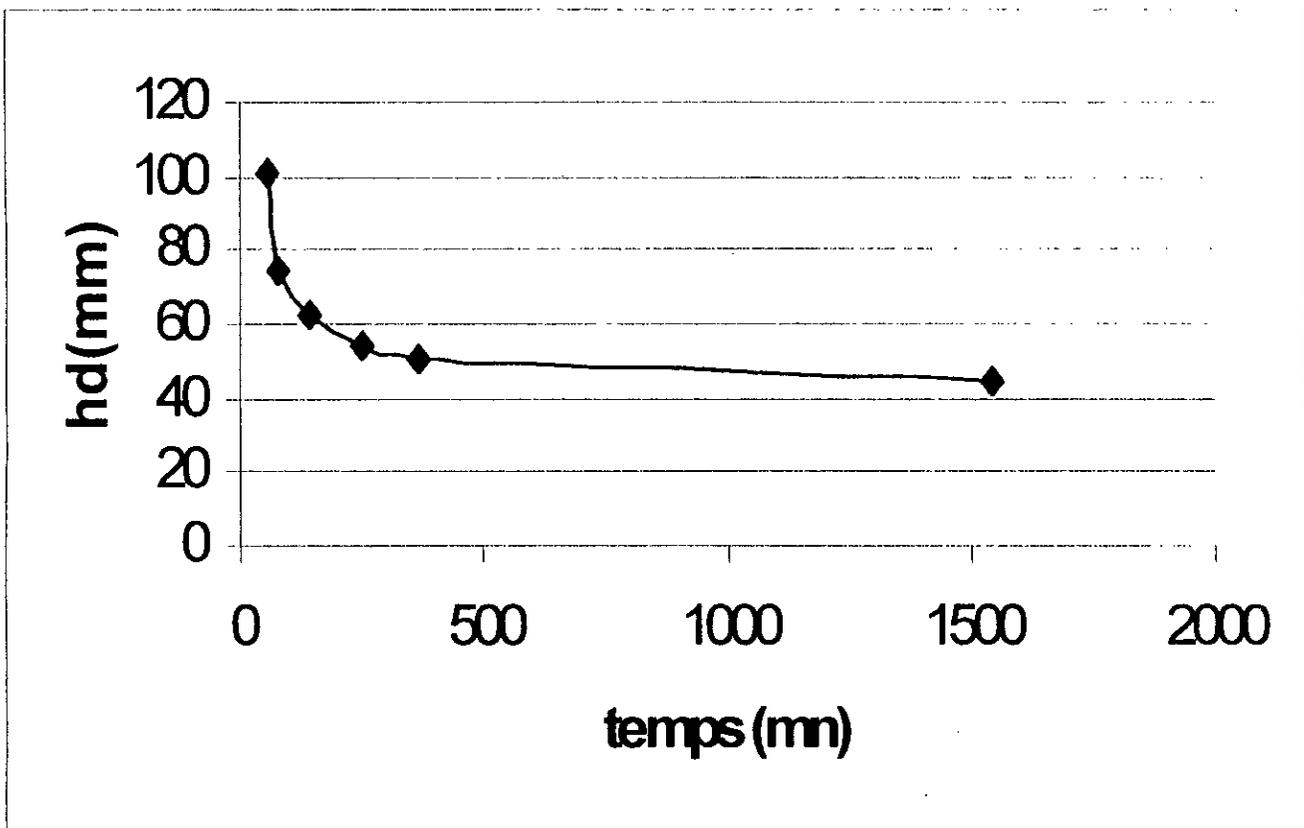
TEMPS (MIN)	139	255	369	1543	2863	2949
HD(MM)	331	209	181	134	125	124



GRAPHE . (05)

V.2.4 – pour 200g :

TEMPS (MIN)	138	262	368	1540	1642	2883
HD(MM)	412	319	237	172	167	160



GRAPHE . (06)

V.3 : Influence de la concentration sur la vitesse de chute :

V.3.1 : Influence de la concentration sur la vitesse de chute :

Les résultats expérimentaux ont porté graphiquement pour trois paliers de variation de concentration. Le premier palier (faible concentration) concerne les concentrations inférieures ou égale 10g/l (3, 6, 10 g/l). Le deuxième palier (moyenne concentration) concerne les concentrations inférieures ou égale 50g/l (20, 50 g/l). Et le dernier palier de forte concentration supérieure à 50g (100, 150, 200 g/l).

Le choix de ces paliers est dicté d'une part par les moyens expérimentaux disponible au laboratoire et d'autre pour couvrir la variation réelle de concentration au cours de l'évolution de la crue ou transport solide de sédiment par suspension s'effectue en fonction de son intensité et sa durée. L'eau boueuse de la crue se mélange à l'eau calme de la retenue pour devenir par la suite au cours du temps une eau de mélange homogène de particule en suspension.

Ces particules solides commencent leur décantation surtout en période de la décrue par un transport moindre en sédiment.

a-Premier palier (faibles concentrations) :

Les graphes de ce palier montrent que l'apparition de la zone claire(h_c) se fait après un temps supérieur à celui de la zone de dépôt, ceci s'explique par le faible effet de la floculation due à la répartition dispersée des éléments péltiques.

b-Deuxième palier (moyennes concentrations) :

Dans ce palier l'intervalle de temps entre l'apparition des deux zones (clarification et dépôt) est moins long que le premier vu l'augmentation de la concentration et par la suite la floculation.

c- Troisième palier (fortes concentrations) :

Dans ce groupe on remarque que le dépôt est supérieur à la zone de clarification, ceci est dû à l'évacuation des eaux interstitielles par un flux liquide dirigé vers le haut, et un autre flux solide dirigé au sens contraire (du haut vers le bas) .

V.3.2 : Interprétation :

Avant d'analyser le graphique de la variation de vitesse de chute en fonction de la concentration, faisant d'abord une interprétation du mode expérimentale pour fixer les relations entre l'évolution spatiale et temporelle des trois zones qu'on avait appelé zone de chute, d'éclaircissement et dépôt et dont leur interface de séparation sont repéré par leur cote Z_i (Z_c, Z_{ch}, Z_d). Ces zones d'ailleurs sont le siège en de déplacement ou suspension et de décantation des sédiments.

On remarque sur le graphe qui représente la vitesse de chute en fonction de la concentration, qu'il y a une relation proportionnelle entre cette vitesse et la concentration dans le premier (faibles concentrations) jusqu'à un seuil critique, ou elle prend des valeurs maximales peut être dix fois supérieures à celle de la concentration 3g/l.

Par contre au-delà du seuil critique de floculation (15 g/l environ), la vitesse de chute devient entravée et diminuée.

On remarque que pour les grandes concentrations la vitesse de chute tend à diminuer progressivement en fonction de la teneur en sédiments.

Pendant le temps (dt) le dépôt déposé sur une hauteur $Z_d(t+dt)$, c'est à dire les suspensions se trouvent à l'instant t entre le profil horizontal d'altitude $Z_d(t+dt)$ et le profil $Z=Z_d(t+dt) + V_c dt$ à l'instant (t).

$$dZ_d = (c/1-p) dZ_d + (c V_c / 1-p) dt$$

$$dZ_d [1-p-c] = c V_c dt$$

D'où :

$$dZ_d/dt = c V_c / 1-p-c$$

pour c très petit

$$dZ_d / dt \text{ est voisin de } (c/ 1-p) V_c.$$

Pour c grand,

on peut avoir un amas immédiat, la valeur limite est telle que :

$$c / (1-p-c) = 1 \quad \text{donc} \quad 2c=1-p \quad c=1-p/2$$

application numérique :

$$p = 50 \% \quad c=25 \%$$

$$p = 60 \% \quad c=30\%$$

On voit la nécessité de revenir sur la notion de la de la concentration, ici il s'agit de volume Apparent.

$$\Omega_{\text{tot}} = \Omega_{\text{lq}} + \Omega_{\text{sol}}$$

$$\text{Est-ce que } c = \Omega_{\text{sol}} / \Omega_{\text{tot}} \text{ ou } c = \Omega_{\text{sol}} / \Omega_{\text{lq}}$$

A la confection du mélange on prend $c_1 = \Omega_{\text{sol}} / \Omega_{\text{lq}}$ avec :

$$\Omega_{\text{sol}} = m_s / P_s$$

dans la décantation c' est plutôt $C_2 = \Omega_{\text{sol}} / \Omega_{\text{tot}} = \Omega_{\text{sol}} / (\Omega_{\text{sol}} + \Omega_{\text{lq}})$

$$c_2 = c_1 / (1 + c_1)$$

Au cours de la décantation, il faudra tout de même vérifier par acquit de conscience si le volume total ne varie pas avec par exemple différence d'adsorptions des molécules d'eau sur les particules de poudres et risque d'évaporation.

Y a-t-il mouvement sensible de l'eau lors du dépôt des fortes concentrations ?

-il faut réellement raisonner en système diphasique .

Dans la tranche $[Z_d(t), Z_d(t+dt)]$ a la fin il y a une partie p d'eau et une partie $(1-p)$ de solide, or au début il y a une partie C_2 de solide et une partie $(1-C_2)$ de liquide.

Si, $C_2 = 1-p$, en à un gel mouc ;

Si, $C_2 > 1-p$, c'est impossible ;

Si, $C_2 < 1-p$, il y a déplacement d'eau vers le haut.

$$(1 - C_2) - p$$

ou :

$(1 - C_2)$: le volume d'eau initial ;

p : le volume d'eau final ;

La variation du volume d'eau a été telle que :

$$[1 - c_2 - p] dZ/dt = \Phi \text{ flux d'eau vers le haut à travers le profil } Z_d(t + dt).$$

Ce flux volumique d'eau est égal et opposé au flux volumique solide qui est :

$$\zeta = c_2 V_c$$

D'où : $\zeta = c_2 V_c$ ce qui était évident à prouver.

Il y a donc une contre vitesse fluide ascendante à $Z_d(t + dt)$ et au-dessus jusqu'à la zone de clarification ou on retrouve le problème symétrique.

Dans la tranche clarifiée dZ_c , il y a perte de volume solide, $c_2 dZ_c$ et augmentation dans la même proportion de la quantité d'eau.

Donc la vitesse relative de glissement des particules sur le fluide dans la zone en chute viendra d'un flux liquide vers le haut $c_2 V_c$ auquel correspond une vitesse moyenne entre les grains de :

$$V_a = c_2 V_c / (1 - c_2)$$

La vitesse de chute relative est donc :

$$V_g = V_c + c_2 / (1 - c_2) V_c = V_c / (1 - c_2)$$

Ceci est important pour calculer le nombre de Reynolds et évaluer la viscosité d'après la formule de Stokes.

EXEMPLE :

$C_2 = 0.1$; $V_g = 1.11 v_c$, là ce n'est pas encore trop grave.

CONCLUSION :

La vitesse de clarification est toujours V_c , mais la vitesse relative est : $V_g = V_c / (1 - c_2)$

La vitesse de dépôt est :

$$dZ/dt = c_2 / (1 - p - c_2) V_c$$

Le rapport entre la vitesse de dépôt et la vitesse de clarification est donc :

$$c_2 / (1 - p - c_2)$$

La remontée du plan de dépôt peut donc être plus rapide que la descente du plan de clarification.

par exemple si $p=0.5$ et $c_2=0.1$

$$r = (1/Vc)(dZ/dt) = 0.1/0.3 = 0.33$$

mais si $p=0.5$ et $c_2=0.3$

$$r = (1/vc) (dZ/dt) = 0.3/0.2 = 1.5$$

En fait, la porosité du dépôt p va varier certainement avec la concentration et avec le temps (à cause du tassement).

Si le dépôt est peu tassé par exemple $p=0.9$ alors le constate est plus grand entre les vitesses de clarifications et de dépôt.

Par exemple avec $c=0.05$:

$$r = (1/Vc)(dZ/dt) = 0.05/(1-0.9-0.05) = 1$$

On peut tracer le graphe du rapport « r » en fonction de p et c_2 avec « r » comme paramètre.

A la quantité déposée, qui correspond aux suspensions qui était dans la zone clarifiée et dans la zone maintenant occupée par le dépôt :

$$1-p = c_2(Z_c + Z_d)/Z_d$$

$$1-p = c_2 + c_2 Z_c/Z_d$$

$$p = 1 - c_2 - c_2(Z_c/Z_d)$$

$$\text{si } Z_c = Z_d, p = 1 - 2c_2$$

On retrouve toujours la même formule mais ce n'est pas étonnant, avec des vitesses constantes, prendre des vitesses ou des hauteurs revient au même puisqu'il suffit de multiplier par le temps.

CONCLUSION

Conclusion

L'envasement des barrages s'effectue essentiellement par l'apport solide constitué de particules fines maintenues en suspension, et transportées par le débit de la crue.

Ce mélange « sol-eau » dans la retenue, ayant un comportement très variable dans l'espace et dans le temps de cet écoulement diphasique, nécessite des études très précises pour connaître ces différentes caractéristiques hydrodynamiques et se faire une idée sur le comportement des éléments péloïdiques de ce mélange.

La seule connaissance de la densité, de la teneur en eau et de la concentration de ces sédiments est insuffisante pour se faire une idée précise sur sa consistance. Un complexe « sol-eau » pourra en effet être liquide, plastique ou solide pour une même concentration, suivant la granulométrie de ces particules et leur minéralogie ainsi que la composition des eaux interstitielles.

La connaissance de ces paramètres est nécessaire à l'amélioration des moyens de lutte contre l'envasement, en particulier le dispositif de soutirage. Ce dernier exige une étude très poussée de ces matières en suspension, et leur comportement dans les milieux aqueux.

Ainsi ces paramètres qui sont : la vitesse de chute des matières en suspension, le taux de tassement du dépôt, sont évalués en fonction de la concentration qui constitue la variable primordiale dans cette étude.

La vitesse de chute varie d'une manière croissante en fonction de la concentration jusqu'à un seuil critique ($C=15\text{g/l}$) pour décroître rapidement. Ce phénomène peut avoir une première interprétation liée à ce qui a été expliqué précédemment.

En ce qui concerne le taux de tassement du dépôt, l'étude expérimentale permet de suivre son évolution en fonction du temps, et pour différentes concentrations. Cette évolution suit une loi logarithmique.

Avec d'autres moyens (matériels), l'étude du taux de tassement peut améliorer la recherche des constantes de cette loi.

La connaissance de ces paramètres (vitesse de chute, taux de tassement) intervenant aussi bien dans des phénomènes de soutirage qui doit s'effectuer avec le minimum de perte d'eau, que dans les modèles physique et mathématique du mécanisme hydrodynamique de l'envasement. Ce dernier établi, basé sur la résolution mathématique des équations dynamique et de transport fait appel au préalable à la connaissance de la force de frottement qui est liée aux paramètres précédents.

ANNEXES

La première expérience pour 3g

Les unités : TC (minutes)

ZC, ZCH, ZD, HC, HCH, HD (mm)

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
37	488	488	1	0	487	1
255	488	484	2	4	486	2
280	488	481	2	7	486	2
307	488	476	2	12	486	2
336	488	475	2.5	13	485.5	2.5
372	488	473	3	15	485	3
453	488	471	3.5	17	484.5	3.5
1540	488	427	5	61	483	5

Deuxième expérience pour 3g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
94	488	488	1	0	487	1
252	488	485	2	3	486	2
289	488	482	2	6	486	2
312	488	478	2	10	486	2
345	488	474	2	14	486	2
376	488	471	2	17	486	2
405	488	462	3	26	485	3
1207	488	441	4	47	484	4

Troisième expérience pour 3g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
194	488	486	2	2	486	2
223	488	484	2.5	4	485.5	2.5
278	488	481	3	9	485	3
312	488	481	3	9	485	3
475	488	472	3.5	16	484.5	3.5
543	488	169	4	19	484	4

Première expérience pour 6g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
74	482	482	5	0	477	5
275	482	477	8	5	474	8
298	482	469	8	13	474	8
317	482	460	9	22	473	9
339	482	449	9	33	473	9
365	482	441	10	41	472	10
1254	482	374	11	108	471	11
1569	482	345	11	137	471	11

Deuxième expérience pour 6g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
131	482	482	7	0	485	7
265	482	475	8	7	474	8
296	482	470	8	12	474	8
318	482	465	9	17	473	9
352	482	458	9	24	473	9
426	482	439	10	46	472	10
1222	482	390	11	92	471	11

Troisième expérience pour 6g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
322	482	473	8	9	474	8
364	482	466	8	16	474	8
412	482	457	9	25	473	9
468	482	445	10	37	472	10
1254	482	493	11	89	471	11

Première expérience pour 10G

TC	ZC	ZCH	ZD	HD	HCH	HD
48	484	481	8	3	476	8
67	484	472	9	12	475	9
86	484	462	11	22	473	11
112	484	449	11	35	473	11
150	484	442	11	42	473	11
187	484	428	12	56	472	12
222	484	408	13	76	471	13
235	484	397	14	87	470	14
305	484	385	14	99	470	14
1254	484	222	15	192	469	15

Deuxième expérience pour 10G

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
125	484	447	10	37	474	10
168	484	438	11	46	473	11
194	484	433	12	51	472	12
218	484	427	13	57	471	13
364	484	398	14	86	470	14
1225	484	281	15	203	469	15

Troisième expérience pour 10G

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
65	484	467	8	17	476	8
112	484	451	10	33	474	10
183	484	440	11	44	473	11
243	484	430	12	54	472	12
342	484	423	13	61	471	13
367	484	418	14	66	770	14

Première expérience pour 20G

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
35	488	449	25	39	463	29
52	488	427	24	61	464	28
86	488	396	23	92	465	23
115	488	384	21	104	467	21
175	488	341	21	147	467	21
207	488	321	21	167	467	21
322	488	312	21	176	467	21

Deuxième expérience pour 20g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
5	488	3	27	3	461	27
28	488	464	25	24	463	25
92	488	415	24	73	464	24
162	488	369	22	119	466	23
245	488	345	21	143	467	21
312	488	335	21	153	467	21

Troisième expérience pour 20g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
30	488	461	26	27	462	26
52	488	443	24	45	464	24
74	488	424	23	64	465	23
105	488	407	22	81	466	22
132	488	379	22	109	466	22
156	488	364	21	124	467	21
289	488	335	21	153	467	21

Première expérience pour 50g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
24	497	488	317	05	180	317
39	497	481	223	16	214	223
66	497	469	82	28	415	82
92	497	458	64	39	433	64
115	497	454	57	43	440	57
178	497	430	54	67	443	54
205	497	414	53	83	444	53

Deuxième expérience pour 50g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
28	497	486	294	11	203	294
45	497	479	217	18	280	217
73	497	469	76	28	421	76
122	497	453	56	44	441	56
183	497	433	54	64	443	54
214	497	412	52	85	445	52

Troisième expérience pour 50g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
23	497	487	333	10	164	333
39	497	480	307	17	190	307
81	497	466	81	31	416	81
117	497	451	58	46	439	58
177	497	434	55	63	442	55
221	497	406	53	91	444	53

Première expérience pour 100g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
40	510	496	343	14	167	343
65	510	487	285	23	225	285
80	510	483	264	27	246	264
108	510	476	226	34	284	226
136	510	467	183	43	327	183
148	510	462	167	48	343	167
173	510	458	149	52	361	149

Deuxième expérience pour 100g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HC
23	510	503	396	7	114	396
56	510	591	304	19	206	304
74	510	483	277	27	233	277
13	510	474	198	36	312	198
152	510	465	164	45	346	164

Troisième expérience pour 100g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
36	510	497	351	13	159	351
67	510	488	294	22	216	294
88	510	483	279	27	231	279
116	510	470	248	40	262	248
149	510	463	173	47	337	173

Première expérience pour 150g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
20	514	509	484	5	30	484
52	514	503	438	11	76	438
67	514	499	415	15	99	415
86	514	493	406	21	108	406
109	514	487	350	27	164	350
136	514	482	331	32	183	331
148	514	476	270	36	244	270

Deuxième expérience pour 150g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
43	514	505	459	9	55	459
64	514	499	434	15	80	434
83	514	492	417	22	97	417
126	514	485	346	29	168	346
143	514	480	257	34	257	257

Troisième expérience pour 150g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
14	514	509	498	5	16	498
31	514	505	453	9	61	453
64	514	497	408	17	106	408
93	514	488	379	26	135	379
137	514	481	334	33	180	334

Première expérience pour 200g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
42	520	513	468	7	52	468
65	520	509	438	11	82	438
87	520	505	405	15	115	405
112	520	501	379	19	141	379
137	520	496	338	24	182	338
156	520	488	316	32	204	316

Deuxième expérience pour 200g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
27	520	515	497	5	23	467
52	520	510	459	10	61	459
76	520	504	427	16	93	427
109	520	500	388	20	132	388
137	520	493	346	27	174	346

Troisième expérience pour 200g

TC	ZC	ZCH	ZD	HC	HCH	HD
36	520	512	481	8	39	481
57	520	509	462	11	58	462
89	520	504	421	16	99	421
114	520	499	393	21	127	393
142	520	492	347	28	173	347
153	520	489	328	31	192	328

Références bibliographiques

[1] C.Mignot

Propriétés physiques des différents sédiments très fins et leur comportement sous les actions hydrodynamiques

La houille blanche N° 07/1968

[2] B. Remini

Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique de soutirage

Thèse doctorat d'état ENP 1997

[3] G. Hadri, A. Benganem

Etude expérimentale de rhéologie des matières en suspension

PFE ENP 1999

[4] A. Simonin

Hydrodynamique et rhéologie des colloïdes

1992 I.M.F.T

[5] C. Mignot

Tassements et rhéologie des vases

La houille blanche N° 01/1989

[6] Ramette

Hydraulique fluviale

J.E D.F 1981

[7] K. Ruiba, A. Derradji Benhadid

Envasement des retenues, Etude d'un dispositif de récupération de sédiments décantés

PFE ENP 1993

[8] M. Bessenasse

Soutirage par vanne de fond : Etude hydraulique et physique

Thèse de magister ENP 1991

[9] M. Djeddou, B. Remini

Contribution à la valorisation de la vase dans le domaine de matériaux de construction
(cas de barrage de FOUM ELGHERZA)

communication université de Blida le 22/11/1998

[10] Guobaa Ridha , Rabehi Med

Etude bathymétrique de la partie neveralgique et la queue du barrage de
FOUM ELGHERZA

PFE1992 centre universitaire de biskra