

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département d'hydraulique.

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
العلمية
Ecole Nationale Polytechnique
Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en hydraulique.



Etude expérimentale de la rhéologie

des matières en suspension

Vase du barrage de Foum El Cherza

Proposé par :

Mr. BERKANI
Melle ZERFA

Etudié par :

Mr HADRI Ghalem
Mr BENGHANEM AEK

Dirigé par :

Mr. BERKANI
Melle ZERFA

PROMOTION
Juin 1999

Dédicaces

A celle qui a su me consoler durant les moments les plus difficiles de ma vie estudiantine : ma mère

A celui qui ma guidé par ses précieux conseils : mon père

A mes sœurs : Fadila, Zohra, Hayet et Souhila

A mes frères : Seghir, Zahir et Mouhamed

A toute ma famille

A tous mes amis

A Tahar CHAOUI

*A SDARA saad, BENOUELHA Salim et SAADALLAH
Kamel*

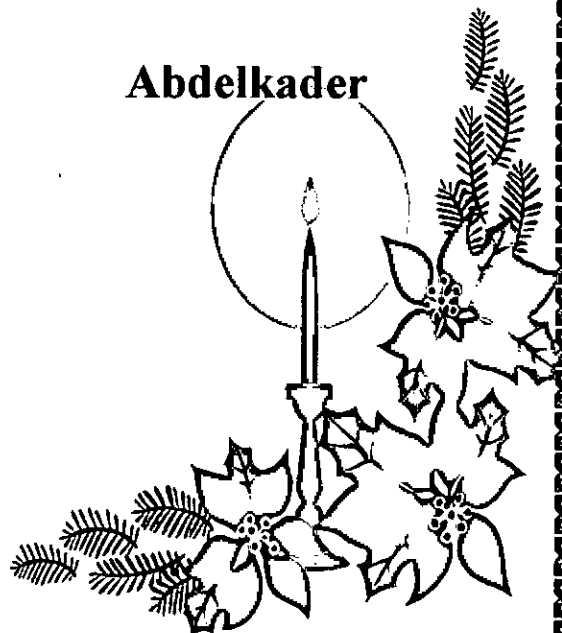
A mon binôme Ghalem

A l'ensemble de mes collègues étudiants(tes)

A tous les membres de l'association ELMAARIFA

Je dédie ce modeste travail

Abdelkader

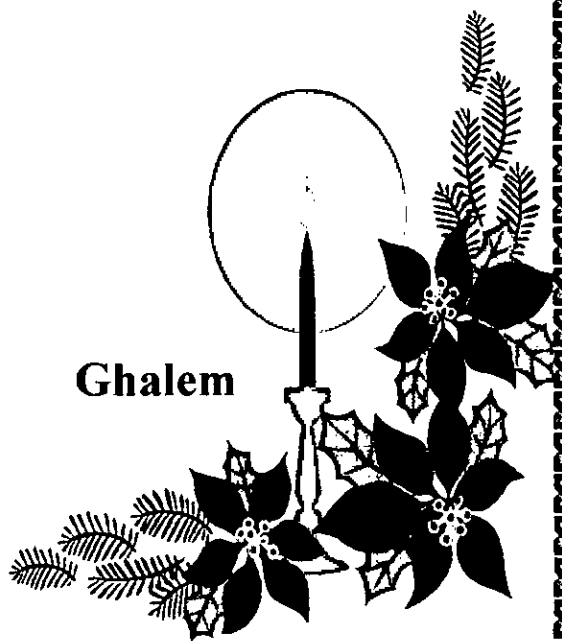


Dédicaces

A ma mère et à mon père
A mon très cher frère Mouhamed
A toutes mes sœurs sur tout la petite ANISSA
A toute ma famille
A tous mes amis
A Kadi Derdouche
A Lounes, Zerrouk, Mourad, Kheireddine, Belkheir, Samira
A mon binôme Abdelkader
A l'ensemble de mes collègues

Je dedie ce modeste travail

Ghalem



Remerciements



Nous exprimons notre sincère reconnaissance à monsieur BERKANI Docteur-ingénieur et maître de conférence à l'ENP pour nous avoir inspiré le sujet de notre travail , et de nous avoir guidé et orienté dans notre présente étude avec compétence et bienveillance , qu'il veuille trouver ici l'expression de notre profonde gratitude .

Nous tenons aussi notre gratitude à M^{elle} Zerfa qui n'a jamais manqué de nous aider avec la grande sympathie.

Nous sommes 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

Nous saurions oublier l'ensemble de personnel de l'antenne de l'ANB de la wilaya de Biskra pour la serviabilité et la compréhension qu'ils nous ont manifesté.

Nous tenons aussi notre gratitude a monsieur Achour , le directeur de l'institut d'hydraulique de l'université de Mohamed kheider « Biskra » pour son très bon accueil et ces conseils

Comme nous adressons notre vif remerciement à ceux qui nous ont aidés à élaborer notre étude : surtout les membres de l'association EL MAARIFA et, Tahar Chaoui, Nouredine Guerrouzi, Saïd Hachmaoui.

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 .

و قد 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
Index	
Liste des figures	
Introduction.	
Chapitre I : Les mécanismes de l'envasement	03
I.1. Le phénomène de l'érosion.....	04
I.1.1. Définition.....	04
I.1.2. Mouvement des particules.....	04
I.1.2.1. Caractéristiques des sédiments.....	04
I.1.2.2. Mouvement de la particule sous l'effet de l'eau.....	05
I.2. Le transport solide.....	06
I.2.1. Définition.....	06
I.2.2. Les modes de transport solide.....	06
a. Le transport par charriage.....	06
b. Le transport par saltation.....	07
c. Transport par suspension.....	07
I.3. L'envasement des retenues.....	08
I.3.1. Différents modes de l'envasement.....	08
I.3.2. Conclusion.....	11
Chapitre II : Etat de l'envasement du barrage de FOUM EL GHERZA.....	12
II.1. Situation et caractéristiques du barrage.....	12
II.2. Historique du barrage.....	12
II.3. Le bassin versant.....	12
II.4. Paramètres influents sur la formation des vases.....	14
II.4.1. La géologie du bassin versant.....	14
II.4.2. La couverture végétale.....	14
II.4.3. Caractéristiques climatiques.....	15
II.4.4. Les apports.....	16
II.4.4.1. Les apports liquides.....	16
II.4.4.2. Les apports solides.....	17
II.4.5. L'envasement de la retenue.....	18
II.4.6. Caractéristiques granulométrique et minéralogique	
de la vase.....	20
II.4.7. Moyens de lutte contre l'envasement.....	21
Chapitre III : Etude théorique des matières en suspension.....	24
III.1. Diversité des sédiments en suspension.....	24
III.1.1. Généralités.....	24
III.1.2. La granulométrie de la vase étudiée.....	24
III.1.3. Vitesses de chute et floculation des particules.....	25
III.1.3.1. Particules élémentaires et les eaux liées par les	
forces électriques.....	25

III.1.3.2. La floculation.....	26
III.2. Tassements des vases.....	27
III.2.1. Généralités.....	27
III.2.2. Loi du tassement.....	27
III.2.3. Influence des différents paramètres sur le tassement....	28
III.2.3.1. Nature et dimension des particules.....	28
III.2.3.2. Influence du milieu aqueux.....	28
III.2.3.3. Influence des conditions de sédimentation.....	29
III.2.3.4. Influence des matières organiques.....	29
III.2.3.5. Influence du pourcentage des sables et des silts	
dans les vases.....	29
III.2.3.6. Accélération du tassement du dépôts.....	29
III.3. Rappels théoriques sur le comportement rhéologique des	
vases.....	29
III.3.1. Fluide newotonien.....	30
III.3.2. Fluide plastique Bingham.....	31
III.3.3. Fluide de Casson.....	31
III.3.4. Fluide pseudo-plastique.....	33
III.3.5. Fluide plastique complexe.....	33
Chapitre IV. Etude expérimentale des matières en suspension.....	34
IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Dispositifs expérimentaux.....	34
a. Vitesse de chute et tassement.....	34
b. La viscosité.....	35
IV.3. Essais.....	36
IV.3.1. Préparation de l'échantillon.....	36
IV.3.2. Mode de travail.....	37
a- Vitesse de chute et tassement.....	37
b. Viscosité.....	37
Chapitre V: Résultats et interprétations.....	39
V.1. Les vitesses de chute.....	39
V..1. Les faibles concentrations.....	40
V..2. Les moyens concentrations.....	49
V..3. Les fortes concentrations.....	54
Etude de la vitesse de chute.....	63
. Etude de la viscosité.....	64
V.2. Evolution des tassement en fonction du temps.....	65
Interprétation des résultats.....	67
Conclusion.....	73
Annexes	

Index



d	<i>Diamètre des sédiments</i>
W	<i>Vitesse de chute des sédiments</i>
ρ_s	<i>Masse spécifique des particules secs</i>
ρ	<i>Masse spécifique de l'eau</i>
ν	<i>Viscosité cinématique</i>
WD50	<i>Vitesse moyenne de chute libre des flocons dans un milieu défloculant</i>
WF50	<i>Vitesse moyenne de chute libre des flocons dans un milieu flocculant</i>
T	<i>Temps de tassement</i>
Cv	<i>Variation de la concentration</i>
Ts	<i>Taux de tassement</i>
K	<i>Coefficient de perméabilité</i>
η	<i>La viscosité dynamique</i>
S	<i>Gradient de vitesse</i>
τ	<i>Effort de cisaillement</i>
Zd	<i>Côte du dépôt</i>
Zch	<i>Côte de la suspension</i>
Zc	<i>Côte de l'eau claire</i>
Hc	<i>Hauteur de l'eau claire</i>
Hch	<i>Hauteur de la zone de suspension</i>
Tc	<i>Temps cumulé</i>
C	<i>Concentration</i>
P	<i>Porosité</i>
Ω_{sol}	<i>Volume des particules solides</i>
Ω_{totl}	<i>Volume total</i>
Ω_{liq}	<i>Volume liquide</i>
ϕ_L	<i>Flux liquide</i>
ϕ_S	<i>Flux solide</i>
Vg	<i>La vitesse relative</i>

Liste des figures



Figures	titres	Page
Fig.1	Organigramme du processus de l'envasement	03
Fig.1.1	Les forces appliquées sur la particule	06
Fig.1.2	Les modes de transport solide	07
Fig.1.3	Distribution des sédiments	07
Fig.1.4	Profil d'un delta typique dans le réservoir	10
Fig.1.5	Organigramme de distribution des sédiments	09
Fig.2.1	Bassin versant de Foug El Gherza(pluviométrie annuelle	10
Fig.2.2	Bassin versant de Foug El Gherza(pluviométrie mensuelle	15
Fig.2.3	Variation annuelle du débit liquide de Oued El biod	17
Fig.2.4	Variation annuelle de la concentration des sédiments dans Oued El biod	17
Fig.2.5	Etapas approximatives du comblement de la retenue du barrage de Foug El Gherza	19
Fig.2.6.	Pratique de la technique de soutirage au niveau du barrage de Foug El Gherza	23
Fig.3.1.	Granulométrie de la vase étudiée	25
Fig.3.2.	Graphique montrant les différentes phases des tassements	27
Fig.3.3	Comportement rhéologique des différents fluides sous l'effet de la teneur en eau	32
Fig.4.1.	Le dispositif expérimental	35
Fig.4.2	Le viscosimètre	36
Fig 4.3	Les différentes phases	37
Fig 4.4.	Disparition de la zone de suspension	37

Introduction



L'envasement des retenues de barrages en Algérie, atteint des valeurs très élevées et pose ainsi des graves problèmes pour le maintien et la préservation du potentiel hydraulique mobilisé à un prix de revient élevé. Les conséquences les plus graves à retenir sont la réduction de la capacité du barrage, la dégradation de la qualité de l'eau, l'obturation des organes de vidanges et l'accumulation de la vase sur le par amont du barrage qui met en danger la stabilité de l'ouvrage .

Les moyens de lutte contre ce phénomène peuvent être schématiquement résumés en deux aspects : aspect préventif et aspect dévasement .

Le premier aspects consiste à empêcher les sédiments d'être arrachés par abrasion et transportés par les eaux de ruissellement, il s'agit du traitement du bassin versant et du lit majeur du cours d'eau.

Le second aspect est lié d'une part au dragage mécanique, et d'autre part à l'évacuation des sédiments par vidange de fond par soutirage en profitant de l'existence des courants de densité en période des crues.

Pour l'amélioration de ce dernier aspect, il est nécessaire de connaître le comportement hydrodynamique des matières en suspension.

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 de 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.

A cet effet, notre étude s'intéresse d'une façon expérimentale à l'étude rhéologique des sédiments à fin de déterminer des paramètres dynamiques pour préciser le comportement de ces mixtures et définir, par des valeurs numériques, les caractéristiques physiques d'un dépôt.

Cette étude expérimentale s'est limitée, en fonction des moyens disponibles dans le laboratoire, à la détermination de deux paramètres caractéristiques de la suspension à savoir la vitesse de chute et la viscosité en fonction de la concentration.

Ces deux paramètres permettent l'étude hydrodynamique de la formation du delta de vase.



Grand

LES MÉCANISMES DE L'ENVASEMENT

Chapitre I : les mécanismes de l'envasement :

Avant d'aborder les mécanismes de l'envasement, on donnera un aperçu sur les différents étapes de ce phénomène qui se résument par l'érosion, le transport solide et le dépôt décrits suivant le schéma ci-dessous :

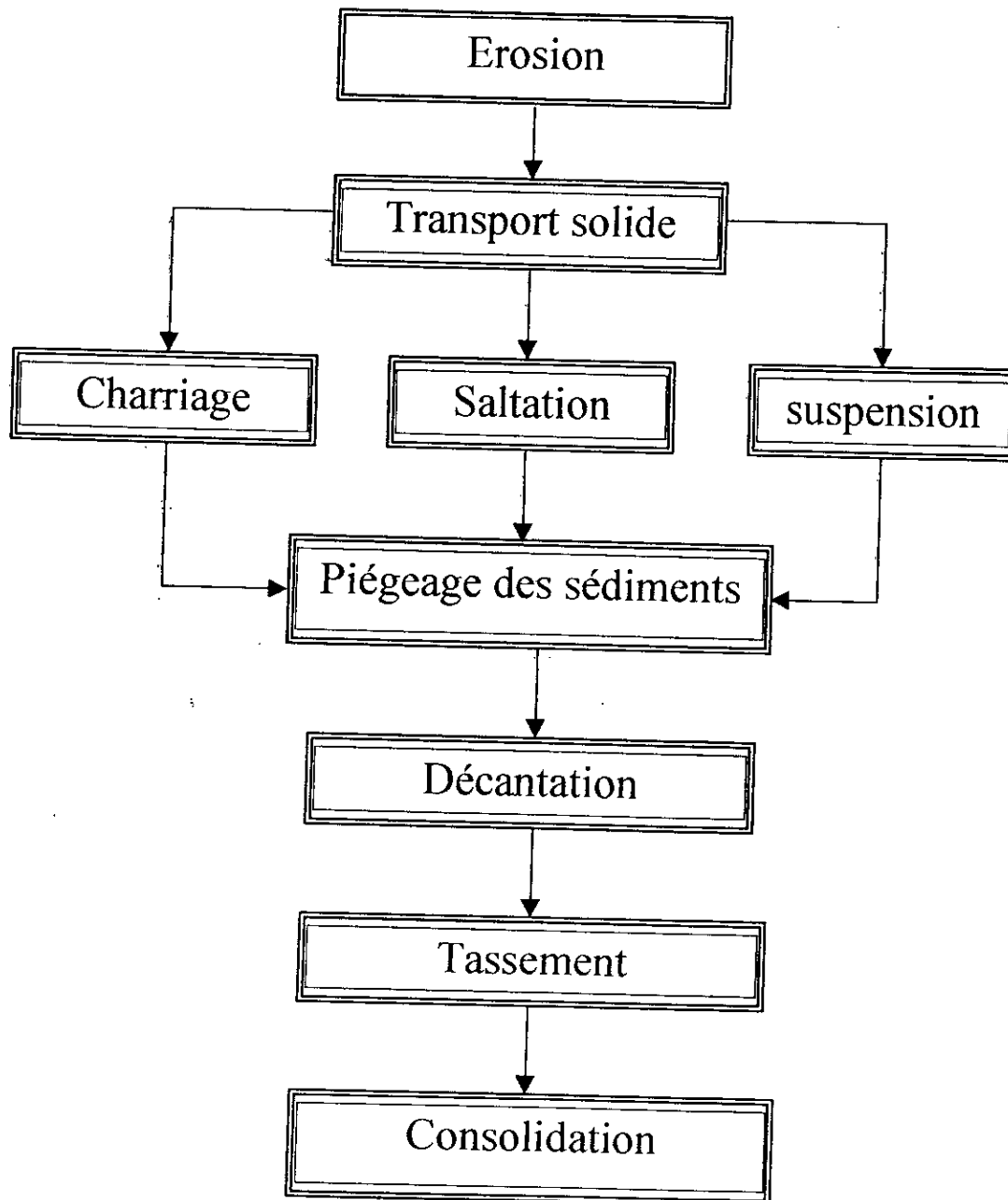


Fig 1.1 : Organigramme du processus de l'envasement d'une retenue

I-1 Le phénomène de l'érosion :

I-1 -1 Définition :

Soumise à différents facteurs climatiques, géologiques, hydrogéologiques et sociologiques, la surface de la terre constituée de roches et de sols différents a tendance à s'altérer en s'effritant et se décomposant en particules de dimensions différentes, ceci étant alors le phénomène de l'érosion.

Ce phénomène est très intense en Algérie à cause des différentes conditions à savoir :

- a- Un climat Méditerranéen caractérisé par des fluctuations thermiques très variées et des pluies très irrégulières et torrentielles pouvant atteindre une grande fréquence.
- b- Un relief accidenté.
- c- Une couverture végétale présentée dans les hautes altitudes (1000m) et presque inexistante ailleurs.
- d- Une lithologie aux formations sensibles à l'érosion hydrique (prédominance des marnes, d'argile ; 75%) [9].
- e- Un développement socio-économique caractéristique aux pays en voie de développement avec l'impact de la colonisation (3 Mha de forêts détruites).
- f- Un régime hydrologique très irrégulier ,des ondes caractérisées par des crues éphémères et violentes.

I-1- Mouvements des particules :

I-2-1 Caractéristiques des sédiments :

a- Tailles des sédiments :

La taille des particules transportées varie de 2 cm (très gros rochers) jusqu'à moins de 0.0005 mm (Argile très fine).

Les dimensions suivantes sont d'usage courant :

- Diamètre au tamis : c'est la taille de la maille du tamis à travers la quelle la particule peut passer.

- Diamètre équivalent ou de sédimentation : c'est le diamètre d'une sphère de même densité que la particule et qui aura la même vitesse de chute dans un fluide donné, et à la même température ;
- Diamètre nominal : c'est le diamètre d'une sphère de même dimension que les particules ;
- Dimensions tri-axiales : ce sont trois dimensions selon les axes orthogonaux choisis de telle façon qu'elles expriment la plus petite et la plus grande dimension de la particule ;
- Ces sédiments d'origine naturel sont généralement composés de particules des tailles variées qu'on peut caractériser par une courbe de fréquences cumulées.

b- Formes des particules :

La forme de la particule a une influence sur le volume de transport solide, cette forme est définie par les paramètres suivants :

- Rapport surface-volume : le rapport entre la surface de la particule à la surface d'une sphère de même volume ;
- Sphéricité : c'est la racine cubique du rapport du volume de la particule au volume de la sphère circonscrite ;
- Coefficient de courbure : c'est le rapport entre le rayon de courbure moyen des forces de la particule au rayon du plus grand cercle, inscrit dans une section de cette particule ;

c- Masse volumique de la particule :

Le mouvement d'une particule dépend du rapport de la force tractrice au poids de la particule. La force tractrice dépend de la forme de la particule, le poids de cette dernière dépend de sa taille et sa masse volumique.

I-2-2 Mouvement de la particule sous l'effet de l'eau :

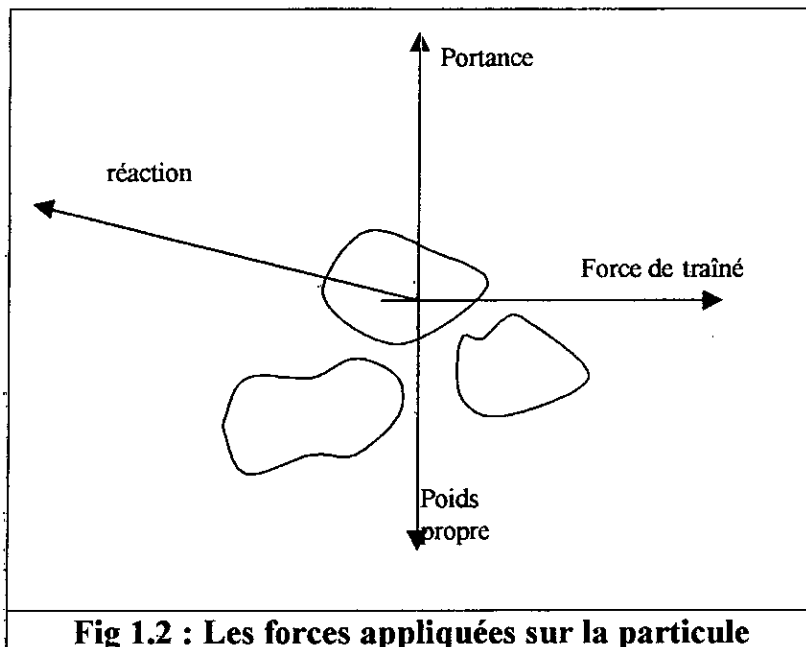
Sur la base de l'équilibre entre les forces appliquées sur la particule (fig. 1.1), on peut avoir le seuil de sa mise en mouvement.

La particule est soumise à son poids propre immergé (poussée d'Archimède), et aux forces hydrodynamiques exercées par l'écoulement (traînée, portance), et aux forces de contact tant qu'elle est encore sur le fond.

La particule sera soulevée dès que la résultante sera dirigée vers le haut elle roulera sur le grain adjacent si le moment en "A" le permet.

Si la vitesse de l'eau dans une couche très voisine du fond est faible, les matériaux solides se déposent au fond du lit.

Si la vitesse est grande, le débit d'entraînement (sur tout par charriage), se produit dans une couche très voisine du fond, cette vitesse sera appelée " vitesse du seuil du mouvement ".



I-2 Le transport solide :

I-2-1 Définition :

L'érosion et le transport solide sont deux phénomènes qui se succèdent, une fois l'érosion déclenchée et en présence de l'eau, c'est le transport des particules qui se produit.

Ce transport dépend essentiellement de la vitesse de l'écoulement et de la granulométrie.

I-2-2 Les modes de transport solide:

Le transport des sédiments par l'écoulement, peut être sous forme de transport, par charriage (roulement ou glissement), par saltation, ou par suspension selon les caractéristiques physiques des sédiments et les conditions hydrauliques. Fig (1.2)

a- Transport par charriage :

Il concerne les plus gros éléments, ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement, saltation et aussi par suspension lorsque le débit liquide est très important.

b- transport par saltation :

Les particules transportées par saltation peuvent faire partie alternativement de la charge en suspension et de la charge de fond.

c- transport en suspension :

Il concerne les éléments fins du transport solide, qui sont maintenus en suspension par la turbulence de l'eau créée par les matériaux du lit. la quantité des matériaux en suspension dépend uniquement des quantités des éléments très fins qui proviennent de l'érosion.

Les concentrations des éléments en suspension des Oueds Algériens dépassent souvent 100g/l. surtout par les premières pluies d'Automne.

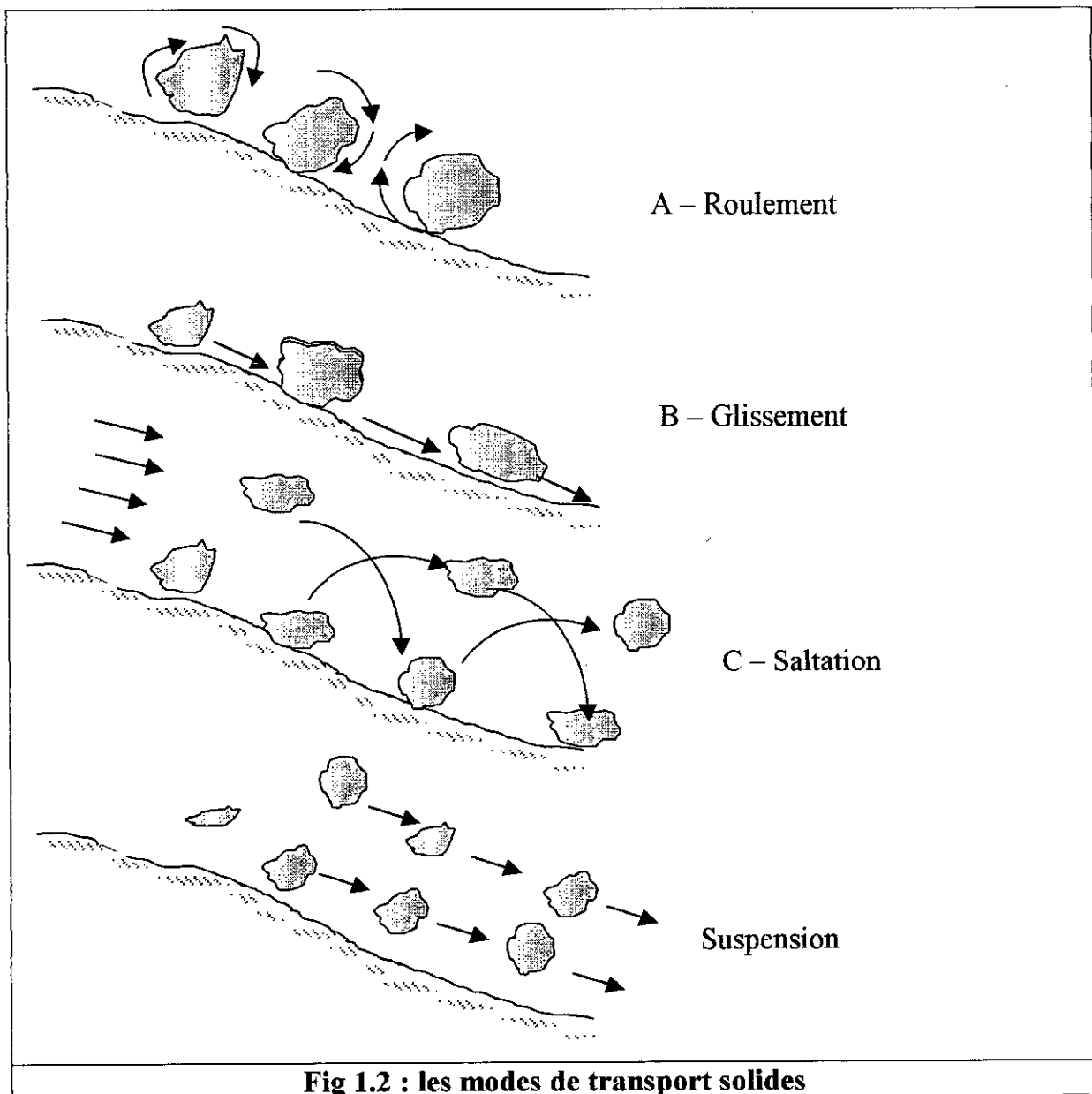


Fig 1.2 : les modes de transport solides

I-3 l'envasement des retenues :

L'érosion, le transport solide et l'envasement sont des phénomènes naturels qui coexistent depuis des millions d'années.

Le ruissellement des eaux transporte des quantités importantes des sédiments, L'installation des ouvrages hydrauliques tels que les barrages sur une section du cours d'eau, est un obstacle pour les deux apports (liquide et solide). Les sédiments transportés vont se décanter progressivement dans les retenues des barrages.

Le dépôt continue de ces quantités solides dans la cuvette du barrage fait que la capacité de celui-ci initialement estimée, sera réduite, et donc sa durée de vie sera minimisée.

I-3-1 Différents modes de l'envasement :

Il existe trois modes de l'envasement possible des retenues (fig 1.5) :

➤ Envasement par courant de densité :

Après l'arrivée des eaux du cours d'eau dans les eaux claires, ils seront traînés dans la zone de remous en se débarrassant rapidement des particules grossières et conservant les plus fines en suspension

Si la retenue présente les conditions suivantes :

- Les crues de l'Oued principal transportent une quantité importante de sédiments, c'est le cas des premières pluies des mois de septembre et octobre.
- L'Oued présente une forte pente (jusqu'à 18% à Oued Berd D'IGHIL AMDA).
- La forme géométrique de la retenue est de forme " CANAL".

Si on a les conditions précédentes alors le courant de densité se forme en tête de la retenue et se propage sans difficultés dans le fond de la retenue arrivant jusqu'à la partie aval de la cuvette formant une masse boueuse surmontée par l'eau claire. Cette masse se consolidera peu à peu au cours du temps.

➤ Envasement par charriage des particules grossières et décantation des particules fines :

Si on a les conditions suivantes :

- Faible concentration des éléments solides.
- Faible pente du lit de l'Oued principal (écoulement fluvial).
- Retenue du type "Lac".

Dans ce cas l'envasement se fait de la manière suivante :

Les eaux de la rivière arrivant dans les eaux claires de la retenue sont freinées dans la zone de remous, où elles perdent leurs matériaux grossiers, qui vont former un Delta à la queue de la retenue.

Ce Delta, de surface limitée mais de hauteur relativement grande, présente une pente raide (talus naturel des sédiments) à sa limite aval. Ce Delta va avancer vers le pied du barrage au cours du temps.(Fig.1.4).

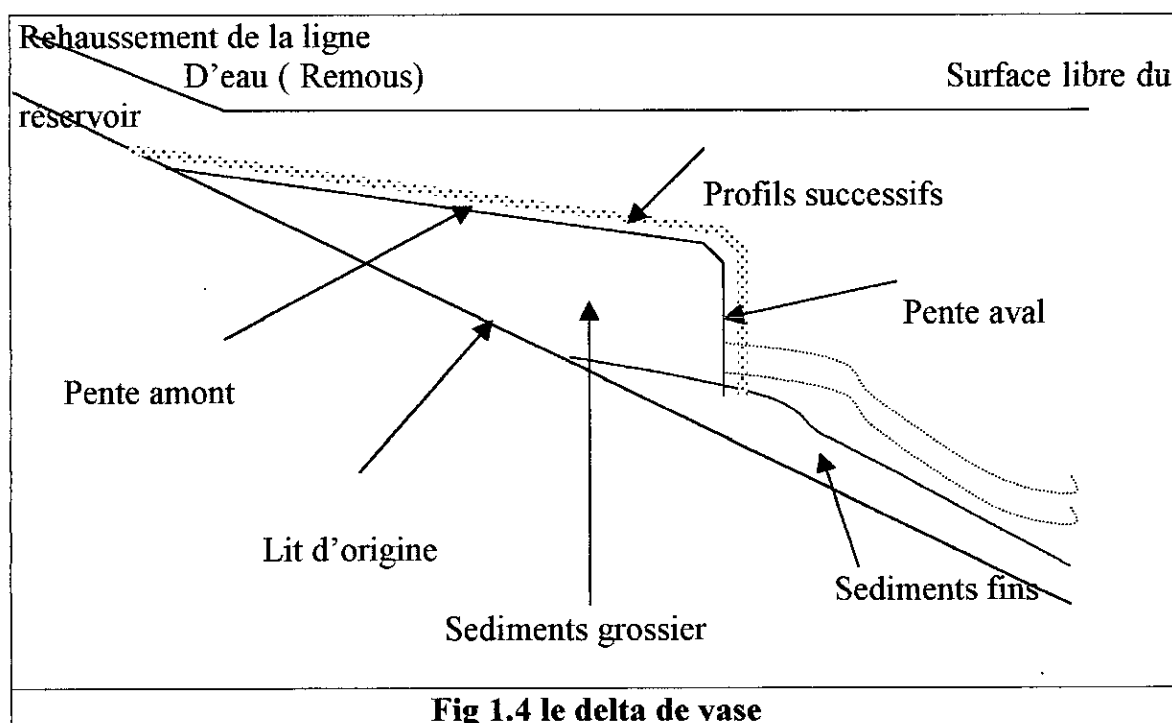
Les sédiments fins, vont se décanter au fur et à mesure avec une vitesse de chute importante à cause de la floculation qui est due essentiellement à la salinité des eaux qui peut atteindre (0.5g/l).

Après avoir décanté, ces particules vont se consolider, en perdant leurs eaux interstitielles en absence des mouvements importants dans la retenue.

➤ **Retenues envasées par rouleaux de recirculations :**

Les petites retenues sont beaucoup plus brassées, et les phénomènes ne sont pas aussi distincts. Le classement granulométrique est moins net, et l'envasement est plus uniforme sur toute la retenue.

Généralement pour ce type de retenues, les conditions de formation de courant de densité ne sont pas réunies, et dans ce cas l'envasement se fait par rouleaux de recirculations. (fig 1.4)



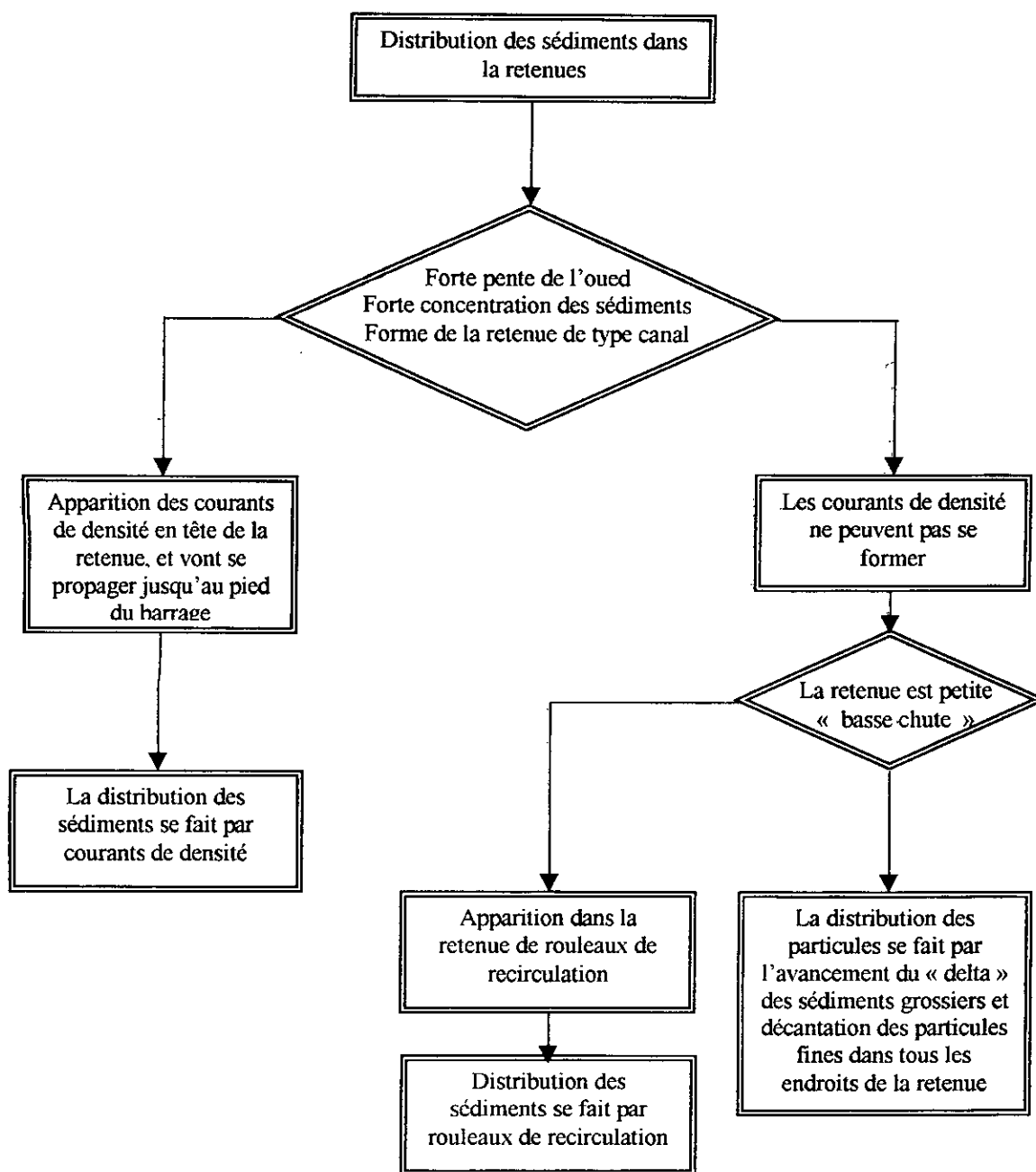


Fig 1.5. organigramme de la distribution des sédiments

Conclusion

On a vu que l'envasement des barrages se fait par trois modes , soit par courant de densité , par avancement du Delta de vase où par les rouleaux de recirculations .

Dans les trois cas , l'envasement s'effectue par l'apport du débit solide constitué de particules fines maintenues en suspension par turbulence .

L'étude de ces matières en suspension est donc indispensable pour faire une idée précise sur les mécanismes hydrodynamiques de l'envasement. ce qui est nécessaire pour le dévasement par différentes méthodes tel que le soutirage.

L'efficacité de ce dernier est liée à la concentration des matières en suspension.

Dans notre étude on s'intéresse au comportement rhéologique de ces matières en suspension en étudiant l'évolution des différents paramètres (les vitesses de chutes , les tassements , la viscosité) en fonction de la concentration.

Nos essais ont été faite sur la vase du barrage de Foug EL Gherza dans la wilaya de Biskra.

Donc il est nécessaire de présenter des données générales sur ce barrage.

Chapitre I

**Etat d'envasement du
barrage de Foum El Gherza**

Chapitre II : Etat d'envasement du barrage de FOUM EL GHERZA

II.1. Situation et caractéristiques du barrage :

Le barrage de FOUM EL GHERZA est situé à 18 Km de la ville de Biskra et à environ 600 Km au sud-est d'Alger. Il permet l'irrigation des palmiers de Sidi Okba au sud-ouest de Seriana, et Thoudra.

Les caractéristiques du barrage sont données dans le tableau suivant :[3]

Type	Voûte
Année de mise en eau	1950
Cours d'eau principale	Oued El Biod
Hauteur au-dessus de la plus basse fondation	75 m
Hauteur au-dessus du niveau du sol	65 m
Volume de la digue	40 000 m ³
Capacité totale du réservoir	47 Hm ³
Destination principale	Irrigation
Surface irriguée	2000 hectares
Destination secondaire	Production électrique
Sensé produire	2.5 kWh/an
Langueur de la crête	126 m

II.2. Historique du barrage :

En projet depuis 1920, le barrage de FOUM EL GHERZA entre dans le cadre des projets entrepris par l'administration coloniale. Il a été mis en eau en 1950, et vidé en 1951, suite à une anomalie dans le système de prise d'eau. Remis en eau, il s'avère non étanche (à titre d'exemple en 1961, les fuites étaient de l'ordre de 7 à 12 Hm³ / an).

Le barrage de FOUM EL GHERZA a été construit par la société BATIGNOL L.T.S. NEYPRIC, le coût de la réalisation était de 20 millions FF.

II.3. Le bassin versant :

Le bassin versant de l'oued El Biod est situé dans le versant sud de la partie orientale de l'Atlas saharien. Oued El Biod prend sa source dans les montagnes des AURES.

Le réseau hydrographique est formé de plusieurs affluents descendants des pentes de Ments- Chelia (2328 m), et de Djebel Echmoul (2070 m).

Les principaux affluents sont :

- En rive gauche : Oued ZELLATOU et oued Thniat El Abed.
- En rive droite oued El Atrous.

Le bassin versant de Oued El Biod peut être divisé en deux parties sensiblement égales :

- Une zone montagneuse boisée depuis sa source jusqu'au défilé de TIGHANIMINE.
- Une zone désertique de TIGHANIMINE jusqu'à FOUM EL GHERZA.

Les roches dominantes du bassin versant sont essentiellement les grès, les marnes, les calcaires et les gypses.

II.4. Paramètres influents sur la formation des vases :

Pour mieux savoir les causes de l'envasement du barrage, nous allons présenter brièvement la géologie, la climatologie et l'hydrologie du bassin versant.

II.4.1 La géologie du bassin versant :

Le bassin versant d'oued El Biod peut être subdivisé en deux parties :

- La partie comprise entre Djebel Chelia jusqu'au gorges de TIGHANIMINE : est occupée par des formations qui contiennent généralement des marnes, gypses, calcaires et grès.
- La partie inférieure qui s'étend de TIGHANIMINE aux gorges de FOUM EL Gherza qui est occupée par des formations qui contiennent des marnes blanches et rouges, des calcaires, des sables, des gypses et des grès.

II.4.2. Couverture végétale :

La résistance du bassin versant à l'érosion hydrique et fonction de sa couverture végétale. Cette dernière a un rôle vital de protection dans la mesure où elle protège le sol de point de vue mécanique contre les écoulements fluviaux en diminuant leurs forces vives et en favorisant l'infiltration des eaux, aussi que le rôle que joue le feuillage qui diminue l'impact des précipitations sur le sol en diminuant leur énergie cinétique.

La résistance contre l'érosion hydrique est d'autant plus efficace que la couverture végétale est plus dense.

La configuration végétale du bassin versant de l'oued El Biod a été dégradé suite à plusieurs causes, en particulier, le taux faible de boisement qui est estimé à 50 % ainsi que le défrichissement en montagnes, sans oublier l'impact de la guerre de libération.

En générale, la répartition végétale du bassin versant de l'oued El Biod se présente comme suit :

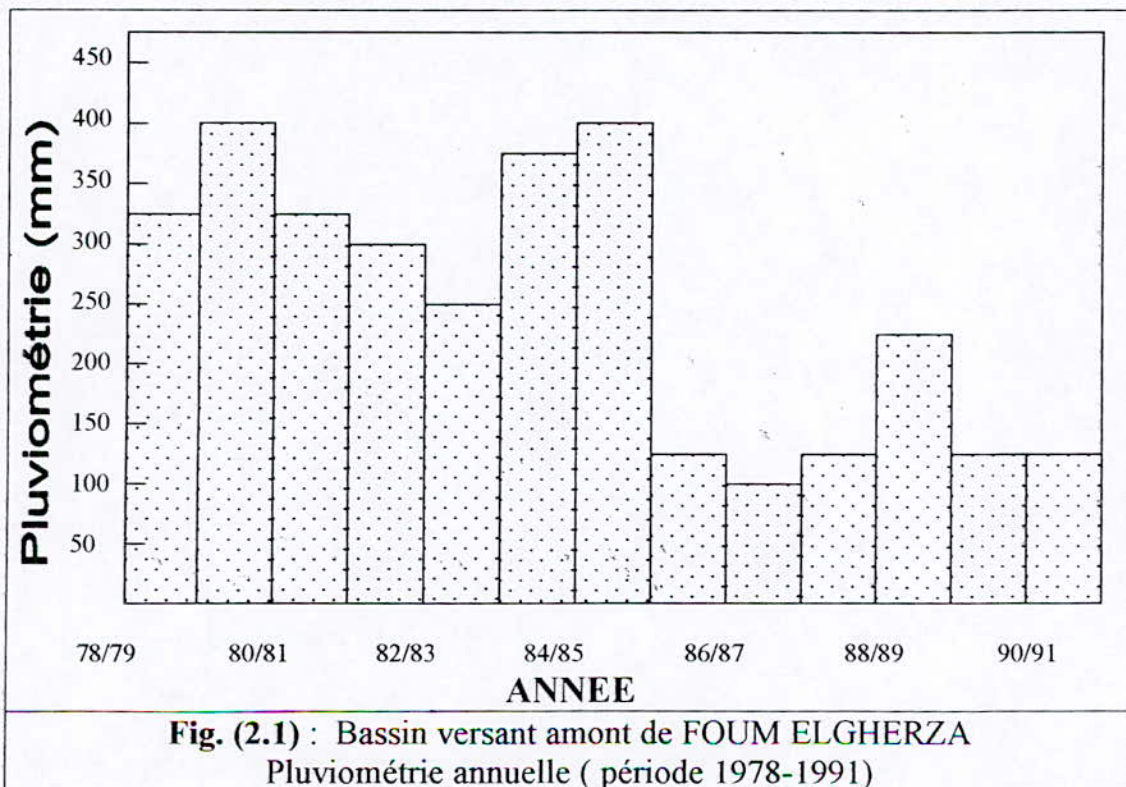
Une partie couverte représentant 42% de la superficie totale : soit 54767 hectares comprise entre Djebel Chelia et les gorges de TIGHANIMINE d'une part, et sur les montagnes de Amar – Kheddou et Djebel Takhmout d'autre part, puis une zone qu'on peut quantifier de semi-aride ou aride représentant 58 % de la superficie totale du bassin versant soit 74949 hectares. [3]

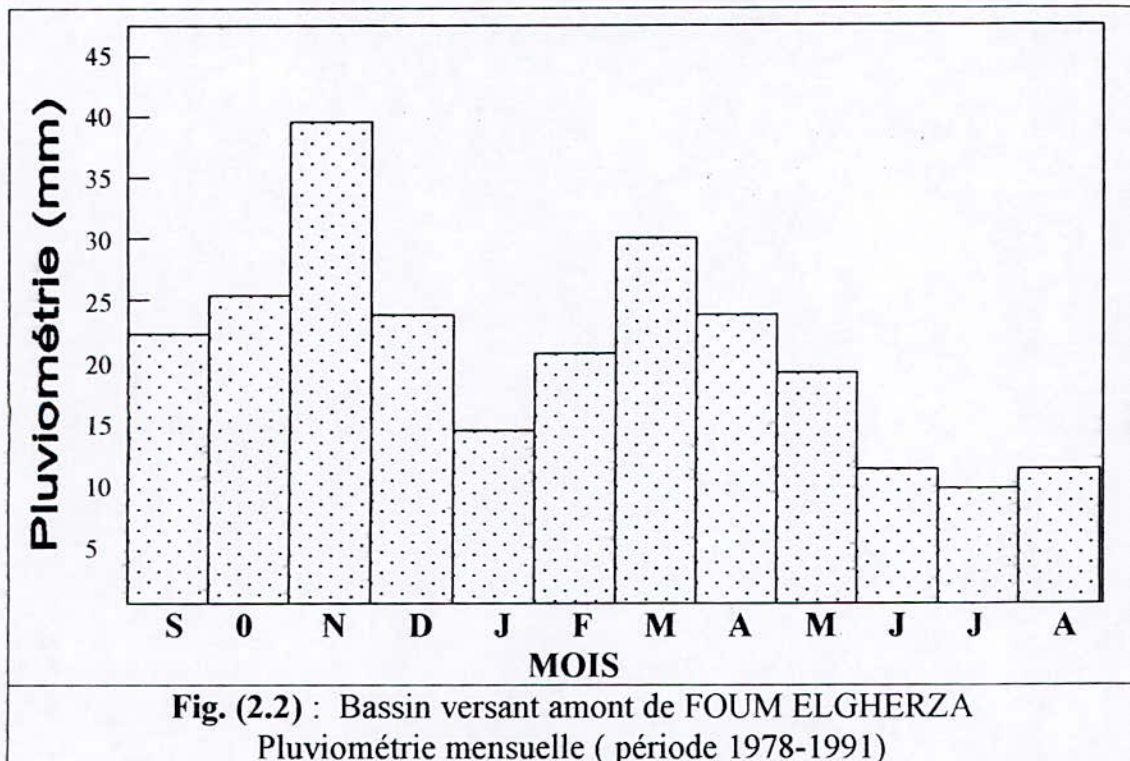
II.4.3. Caractéristique climatiques :

Le bassin versant s'étend sur une superficie de 1300 Km², pour un périmètre de 200 Km, la température moyenne est de 22,9° C, la pluviométrie moyenne annuelle est de 250 mm, mais elle se caractérise par une grande irrégularité.

Les variations annuelles se situent entre 86 et 420 mm (fig.2.1) [4]

Des pluies orageuses se produisent assez fréquemment en juin et Août, mais elle est en moyennes peu abondantes. (Fig. 2.2). [4]





II.4.4. Les apports :

II.4.4.1. Les apports liquides :

Les crues d'oued El Biod sont liées aux précipitations orageuses ayant une double origine puisque provenant, soit d'orages locaux en été, soit des dépressions sahariennes au printemps et plus souvent encore en automne.

Les variations des apports liquides annuelles provenant de l'oued El Biod sont résumées sur la fig.(2.3) [4], les crues de l'oued sont très violentes et soudaines.

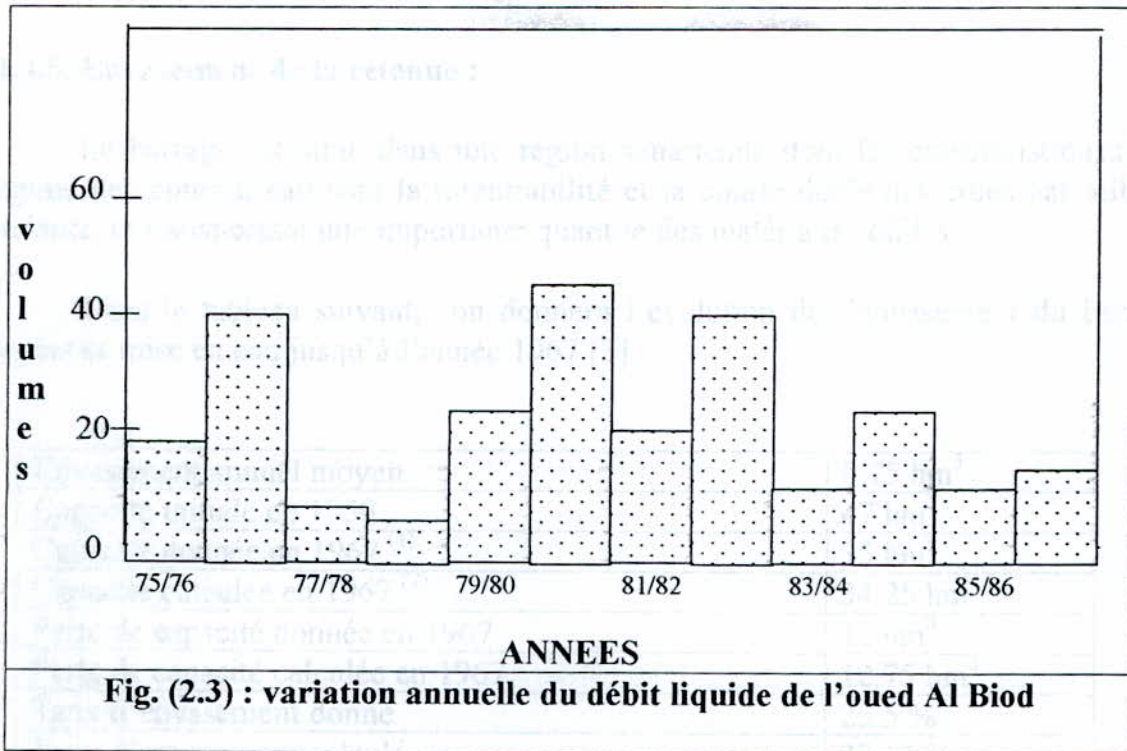


Fig. (2.3) : variation annuelle du débit liquide de l'oued Al Biod

II.4.4.2. Les apports solides :

Les matières solides transportées ne sont pas apportées d'une façon contenue au cours de l'année, mais liées aux crues : forte teneur en octobre et décembre, tandis-que les mois de mars et juin peuvent charrier jusqu'à 1/5^{eme} des apports solides. A titre d'exemple la concentration moyenne durant l'année 1979 / 1980 a été 32 g / l (fig.(2.4)).[4].

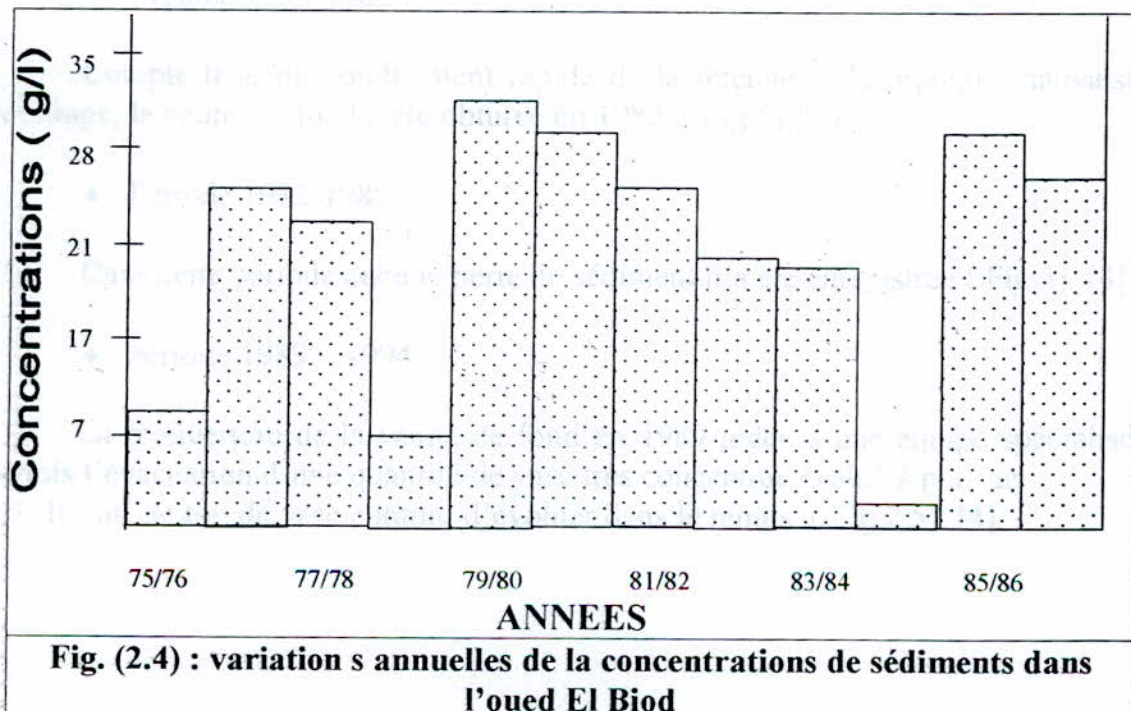
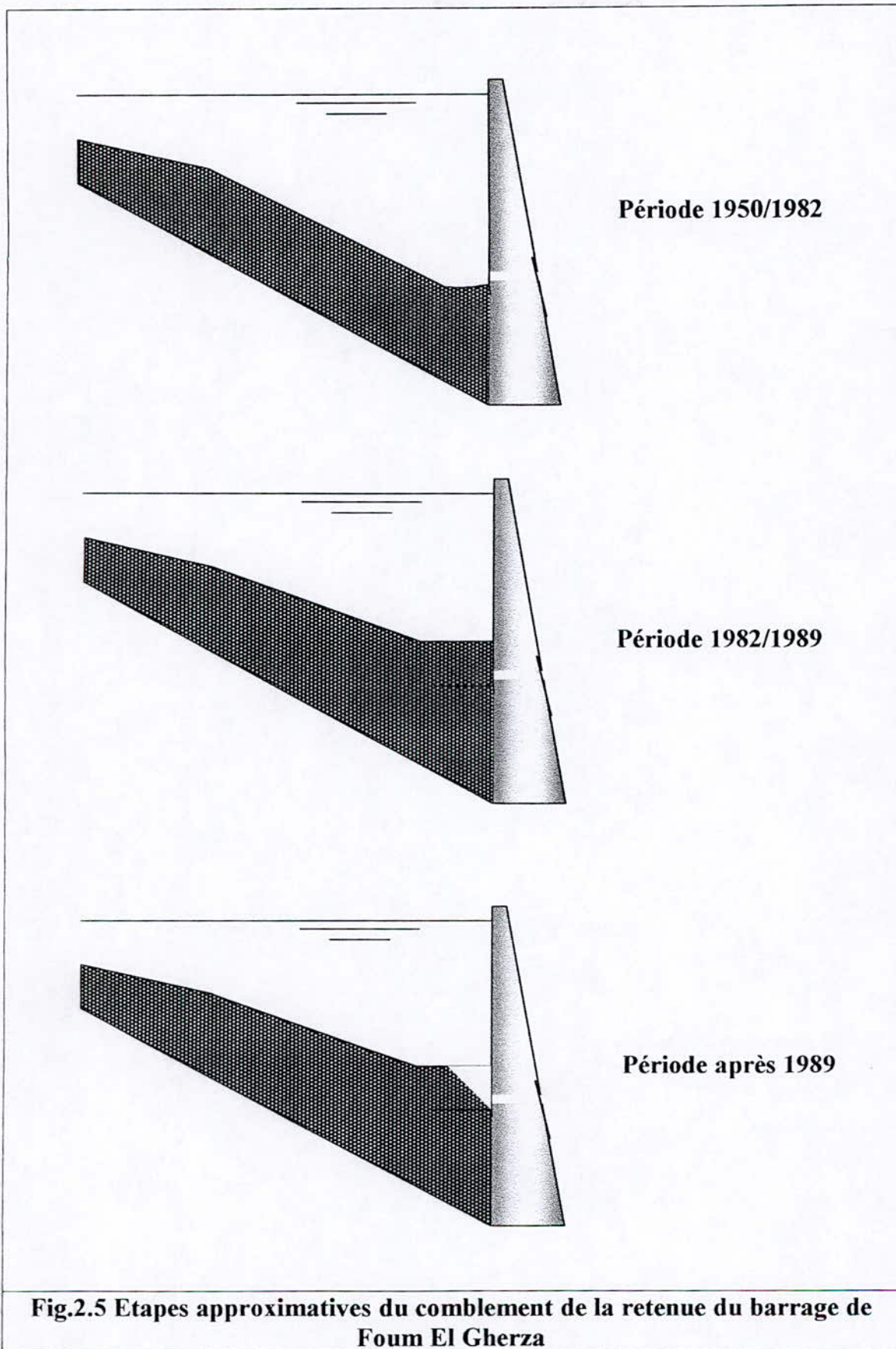


Fig. (2.4) : variation s annuelles de la concentrations de sédiments dans l'oued El Biod



II-4-6 Caractéristiques granulométriques et minéralogiques de la vase :

On présente dans cette partie une étude expérimentale qui a été faite sur la vase du barrage de Foug El Gherza par une équipe de recherche [6].

a-Étude granulométrique :

Pendant très longtemps (et encore quelque fois aujourd'hui), les sols ont été décrits uniquement à imprécises telles que TMsable grenuTM, [√]Argiles tenacesTM, [√]roches décomposéesTM, etc. sans aucune référence à des valeurs précises caractérisant leur propriétés physiques et mécaniques.

Il faut naturellement renoncer à de telles appellations sans grandes significations.

Le comportement de la vase (mixture sol-eau) dépend à la fois des caractéristiques du fluide, celles des particules solides.

Le but de l'analyse granulométrique est d'étudier la taille de ces particules, et mesurer l'importance relative de chacune des fonctions de sol bien défini.

Comme l'échantillon utilisé est un sol argileux l'étude a été faite par l'une des techniques les plus évoluées au monde, et par l'utilisation du " granulomètre à laser " (intervalle d'analyse : 0.05 μ m -3500 μ m), sur 04 échantillons.

Les résultats de cette analyse sont représentés dans le tableau suivant:

Echantillons	W _L	W _P	I _P	A _C
1	54	38	16	0.821
2	52	32	20	1.119
3	53	34	19	1.38
4	45	32	18	0.826

D'après les valeurs des limites d'Atterberg, et les indices qui en découlent, on peut dire que les échantillons étudiés sont constitués de (Kaolinite, illite), elle possède une forte capacité d'échanges d'ions, et une perméabilité faible.

Les valeurs d'activités des échantillons étudiés obtenus s'accordent avec la classification théorique de Skempton qui établit que les minéraux argileux tel que (Kaolinite, illite), calcite et quartz ont une moyenne activité.

b-Etude des caractéristiques chimiques et minéralogiques de la vase :

L'étude des sols argileux et , plus particulièrement , celle de la fraction contenant l'argile , présente un intérêt pratique considérable on sait que les propriétés d'un sol dépendent plus de la nature minéralogique des particules que la taille de celle-ci , la courbe granulométrique n'est donc pas suffisante pour permettre , la prévision du comportement du sol étudié.

- Les analyses minéralogiques dont leurs résultats sont d'ordre semi-quantitatif et même quantitatif, en faisant appel à un ensemble de méthodes physiques d'analyses telles que la **diffraction de rayon X (D.R.X)**, la **spectrométrie infrarouge (I.R)** et l'**absorption atomique (A.A)**.

1- Diffraction des rayons X :

La diffraction des rayons X montre que nos échantillons sont des mélanges de montmorillonite, Kaolinite , illite ,chlorite , et des minéraux composés de mélange d'illite-montmorillonite (connus sous le terme d'argile interstratifiée), avec la présence d'impuretés tel que la calcite , le quartz , et la dolimine.

2- Spectroscopie à infrarouge (I.R) :

Les spectrogrammes infrarouges des échantillons ont été réalisés à partir de pastilles **KBr** contenant 1% de vase . Sur la majorité des spectres analysés par le système expert les plus fortes probabilités sont les probabilités de la montmorillonite , l'illite , et les micas . cependant on note l'absence de toute remarque sur la Kaolinite vu que la présence est en faible quantité.

3- Spectroscopie à absorption atomique (A.A):

l'analyse quantitative des échantillons par la spectroscopie à l'absorption atomique montre que les échantillons sont en majeure partie constituée de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , et CaO .

II.4.7. Moyens de lutte contre l'envasement de la retenue :

Le moyen le plus utilisé pour la lutte contre le phénomène de l'envasement est l'évacuation des courants de densité par l'ouverture de la vanne de fond. Cette technique a permis d'évacuer environ $0.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ durant l'année 1989-1990. Or de fait de la rapidité de l'envasement, cette vanne a été bloquée au bout de 7 ans (1982-1989).

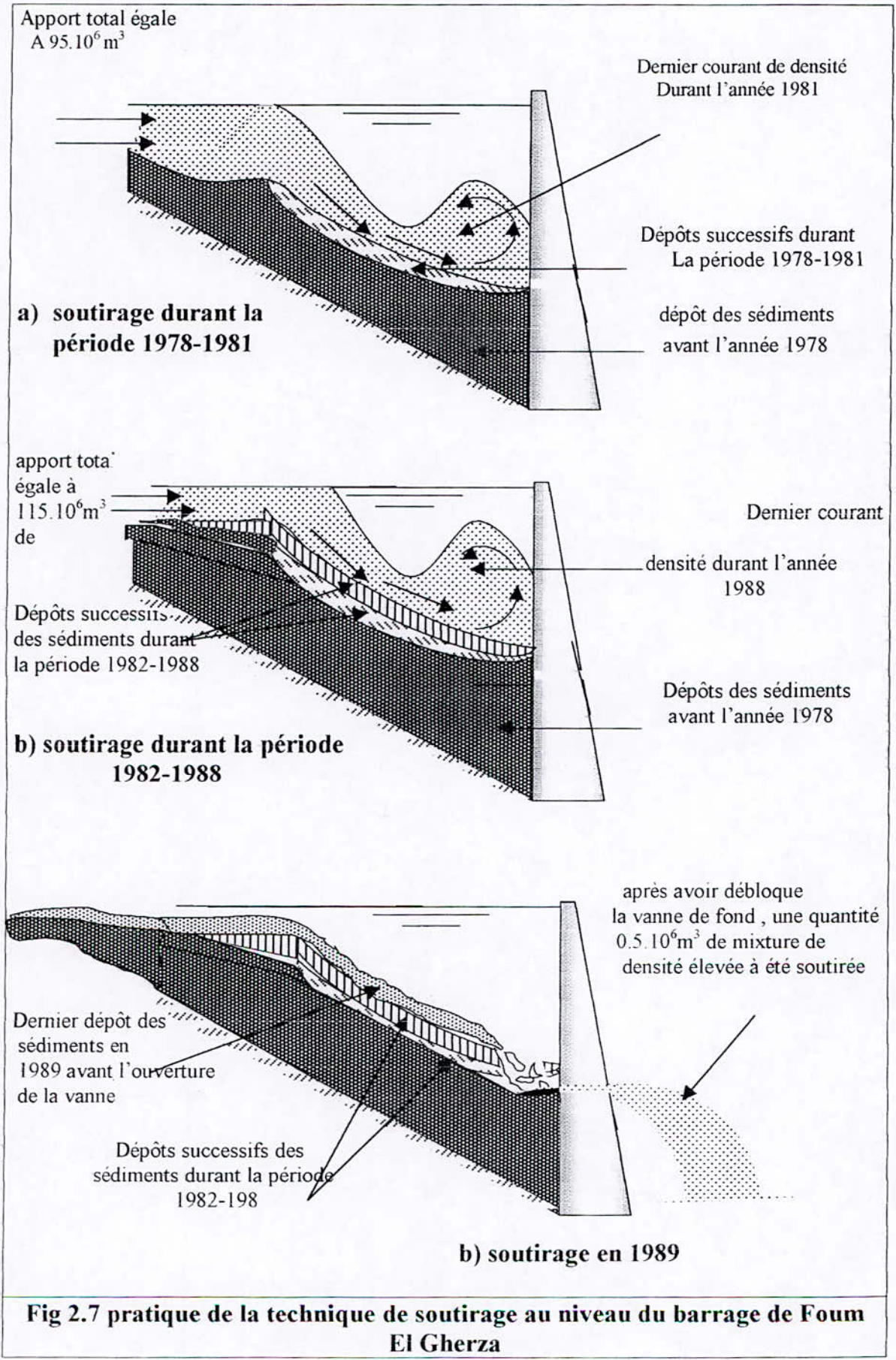
De 1990 jusqu'à 1993, une quantité de $0.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de vase a été évacuée.

En plus de ce procédé, plusieurs techniques ont été utilisées au niveau du bassin versant afin de minimiser le taux d'érosion tel que le reboisement du bassin versant et le traitement des ravins par la construction des seuils.

Application de la technique de soutirage dans le barrage de Foug El Gherza :

La fig(2.6) [4], représente les apports liquides, et les mixtures évacuées au barrage de Foug El Gherza durant la période 1966-1991, nous constatons que les opérations de soutirages sont perturbées et mal pratiquées et n'ont pas suivi les variations des apports des crues dans le réservoir qui ont drainé une forte quantité de vase.

- Durant l'année 1966-1967, un apport liquide de $43. 10^6 \text{ m}^3$ a été enregistré sans évacuation des mixtures.
- La même opération s'est reproduite durant l'année 1969-1970 : plus de $50. 10^6 \text{ m}^3$ d'eau apporté par les crues sans qu'un soutirage n'ait lieu.
- La période de 1978 – 1981 a été aussi une période sans soutirage malgré l'apport considérable des eaux et bien sur la quantité des sédiments, ce qui a provoqué la consolidation de la vase dans la partie basse de la retenue provoquant ainsi l'obturation de la vanne de fond en 1982.
- En 1989, la vanne a été débloquée et une opération de soutirage a permis d'évacuer $0.5 10^6 \text{ m}^3$ de suspension (fig.2.7)



Chapitre II

Etude théorique des matières en suspension

Chapitre III : Etude théorique des matières en suspension

III.1. Diversité des sédiments en suspensions :

III.1.1. Généralités :

Sous l'appellation de « sédiments pélitiques ou lutites », on classe en général tous les sédiments dont la granulométrie est inférieure à 40μ (tamis de 350), et qui représentent une diversité de matériaux.

Parmi ces matériaux, on peut citer :

1. Les silts : Dont la granulométrie s'étend de 100 à 10μ , ils sont constitués principalement de Quartz, de Feldspaths ou de Calcites, les grains sont individualisés.

2. Les limons : Ce type de matériau se trouve plus particulièrement dans les éléments fins fluviaux, et qui représente une granulométrie relativement restreinte comprise entre 2 et 40μ . Séchés à l'étuve, les limons présentent un faible retrait et peuvent être facilement réduits en particules élémentaires lorsqu'on les écrase.

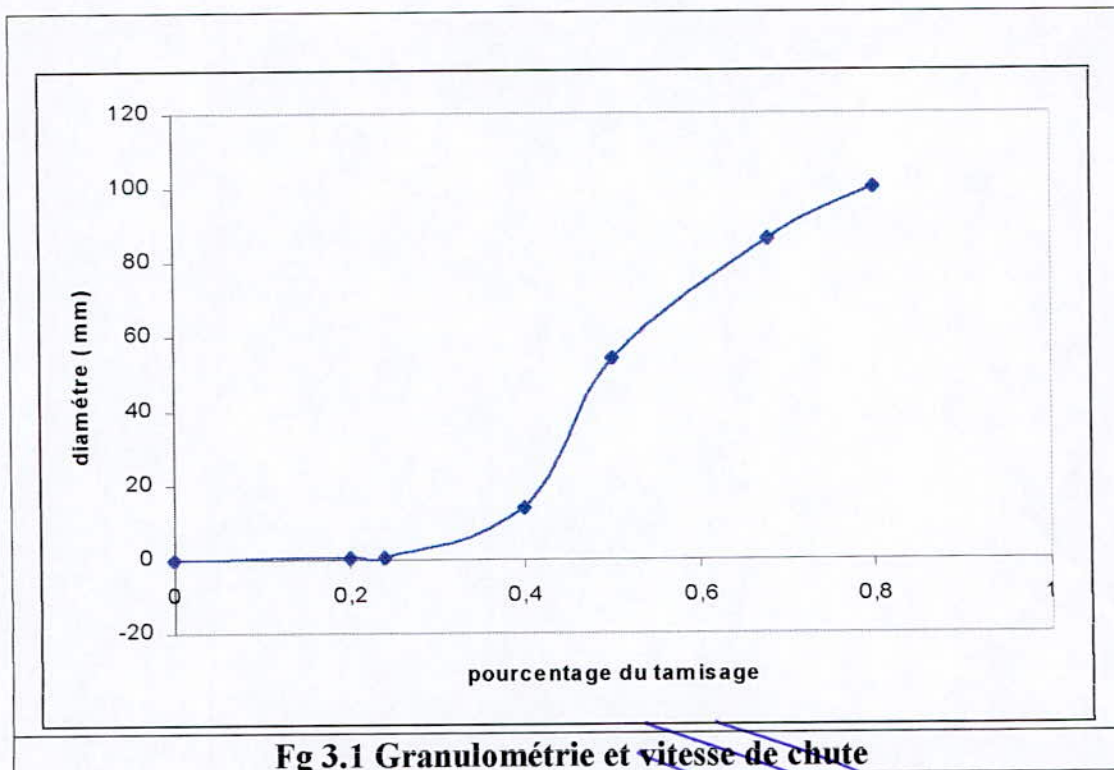
3. Les argiles : Leurs éléments sont très fins, inférieurs à quelques microns, elles rentrent dans la catégorie minéralogique bien définie des silicates d'alumine plus ou moins complexes, ce qui leur confère des propriétés physiques très particulières. Elles forment un pourcentage élevé de certaines vases.

4. Les vases : Ce matériau très fin et polydispersé est constitué généralement d'un pourcentage de précolloïdes et de colloïdes avec des traces de matières organiques. Dans certaines eaux fluviales, ce matériau forme des flocons très riches en eau.

III.1.2. La granulométrie de la vase étudiée :

La fig.(3.1) [3], donne un aperçu de la diversité granulométrique (caractérisée par la vitesse de chute des particules élémentaires défloculées) de la vase étudiée, les diamètres moyens de ces éléments (particules) allant de $1/10 \mu$ pour les argiles à une dizaine de μ pour les limons.

On constate que cette courbe tend vers une forme parabolique caractérisée d'un dépôt par excès de charge.



Fg 3.1 Granulométrie et vitesse de chute

III.1.3. Vitesse de chute et floculation des particules :

Contrairement aux éléments grossiers du type sable, gravier et galets qui se comportent individuellement dans un milieu aqueux, les sédiments très fins de type limons, argiles et vases dispersés dans les eaux naturelles sont soumis, dans la plupart des cas, à des phénomènes de floculation et forment des agrégats gorgés d'eau dont les vitesses de chute sont très supérieures à celles des particules élémentaires.

III .1.3.1. Particules élémentaires et les eaux liées par des forces électriques :

Pour les sédiments pélitiques (fins), la surface spécifique définie comme étant la surface latérale de la masse unitaire est très importante et donne à ces matériaux des propriétés voisines à celles des colloïdes (1 volume de matière de 1 cm^3 de particules de 1μ représenterait une surface développée de 4.20 m^2 en admettant un indice de vide de 30 %).

Lorsque l'on étudie la vitesse de chute d'une particule pélitique, on mesure même en solution dispersée non pas la vitesse de chute du noyau mais de l'ensemble noyau plus eau liée à la particule, C'est à dire un ensemble ayant un poids spécifique plus faible que celui de la particule élémentaire solide.

La granulométrie «d » de ces sédiments fins est déduite de cette vitesse de chute «w » par application de la loi de Stokes :

$$w = \frac{1}{18} \frac{(\rho_s - \rho_0) d^2 g}{\rho_0 \nu}$$

ρ_s : Masse spécifique la particule Kg/m³ ;

ρ : Masse spécifique de l'eau (1000 Kg/m) ;

ν : Viscosité cinématique de l'eau (m²/s) ;

$\nu=10^{-6}$ m²/s à T=20° C.

Le diamètre «d » de la particule élémentaire est un diamètre équivalant à celui d'une sphère de masse spécifique « ρ_s » tombant dans une eau de viscosité « ν ». Suivant la forme de la particule et la masse spécifique réelle de cette particule avec sans eau liée.

Dans la pratique, la granulométrie d'un sédiment pélite est définie par le diamètre équivalent.

Pour une particule de densité 2.5 à 2.6 tombes dans une eau douce à 20° C ($\nu=10^{-6}$ m²/s), le rapport entre le diamètre équivalent (en μ) et la vitesse de chute en (μ /s), est donné par l'expression :

$$D(\text{en } \mu\text{m}) = W^{1/2}(\text{en } \mu\text{m/s}). [1]$$

III.1.3.2. la floculation :

D'une manière générale, une suspension de vase dans L'eau sera d'autant mieux floculée que les particules élémentaires seront plus petites, leur concentration dans la suspension, leur concentration dans la suspension plus importante, les milieux contiendra d'avantages de sels floculants et que la température de l'eau sera plus élevée.

Dans un milieu aqueux floculant, les vitesses de chute moyennes des particules pélite ayants à l'état individuel des dimensions très différentes sont comprise entre $1.5 \cdot 10^{-1}$ et $6 \cdot 10^{-1}$ mm/s pour une concentration de 10 g/l. Or dans un milieu défloculant et pour les mêmes conditions, les particules se comportent d'une manière individuelle et présentent des vitesses de chute moyennes comprises entre 10^{-5} mm/s et 10^{-1} mm/s [1].

Les études qui ont été faites par le LCHF (laboratoire Central d'Hydraulique de France) ont montré que la floculation, caractérisé par un facteur F défini comme étant le rapport entre la vitesse moyenne de chute libre des flocons (WF 50 %), dans un milieu aqueux floculant et la vitesse moyenne de chute libre des particules élémentaire à l'état défloculant (WD 50%) : $F = WF 50 \% / WD 50\%$, varie comme l'inverse du carré du diamètre équivalent «d » des particules élémentaires [1] .

III.2. Tassement des vases :

III.2.1. Généralités :

Les particules qui se décantent par gravité sur les fonds vont s'écraser sous leurs propres poids, en perdant progressivement leur eau de structure (les eaux interstitielles et les eaux de la double couche), avec arrangement des particules solides et leurs eaux absorbées.

Ces particules vont former progressivement un matériau variable dans le temps par suite de l'effet des tassements, qui se présente dans un premier temps comme un liquide lorsqu'il renfermera de l'eau interstitielle d'une quantité notable, il deviendra plastique lorsque les liaisons interparticulaires se feront par l'eau de la double couche, et il atteindra enfin l'état solide lorsque les particules seront en contact les unes avec les autres.

III.2.2. Loi de tassement :

Les études sur les tassements naturels des différents sédiments fins ont montré que la concentration moyenne d'un dépôt varie comme le logarithme du temps avec des différents domaines de tassement (Fig.) correspondant à la vitesse entravée des flocons.

Dans ces conditions de tassement, la variation de la concentration C_v définit comme étant le poids des particules sèches par volume de mixture répond à l'expression :

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

T : étant le temps de tassement

α : un facteur qui dépend particulièrement des diamètres des particules.

β : un facteur lié au milieu aqueux.

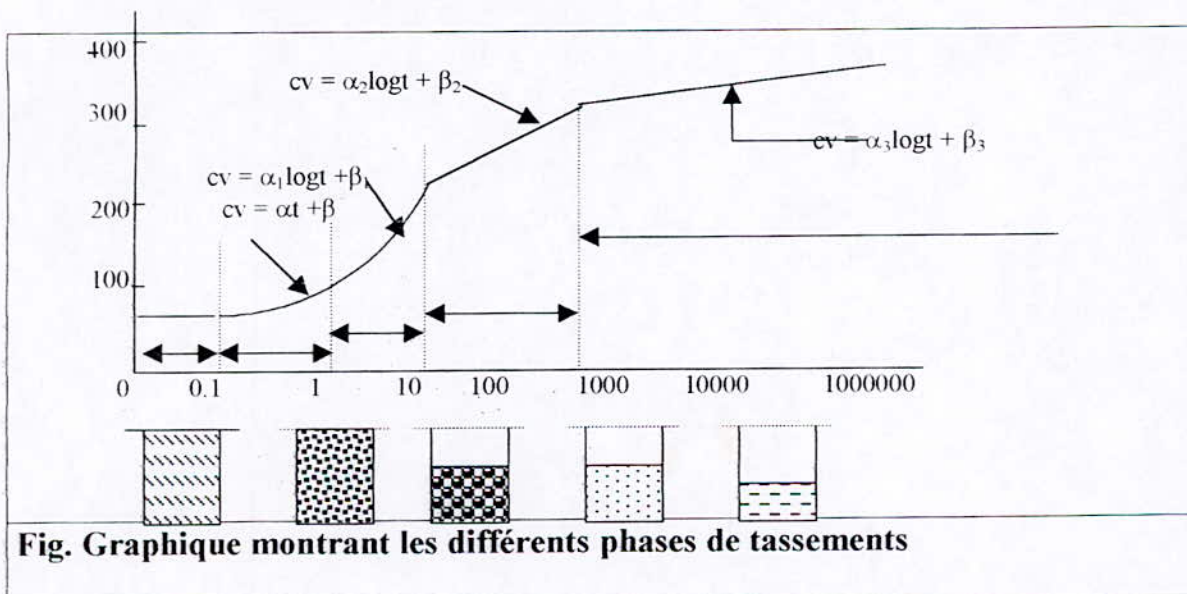


Fig. Graphique montrant les différents phases de tassements

Le tassement et la consolidation d'un sol sont en étroite relation avec la perméabilité, c'est à dire la possibilité d'évacuation de l'eau du sol.

Pour les matériaux à perméabilité moyenne ou forte (coefficient de perméabilité K supérieur à 10^{-5} m/s), il y aura une consolidation rapide voire instantanée, c'est le cas des matériaux sableux ou graveux. Par contre pour les matériaux à faible perméabilité (K moins de 10^{-5} m/s) tel que les sables vaseux, les vases ou les boues, la consolidation des dépôts sera très lentes.

III.2.3. Influence des différents paramètres sur le tassement :

Le Tassement des vases dépend de plusieurs paramètres, parmi ces paramètres, on peut citer :

La nature des sédiments des particules, le milieu aqueux, les conditions de sédimentation, la température, la présence des matières organiques, conditions de drainage, pourcentage des sables et des silts obtenus dans les mixtures, ... etc.

III.2.3.1. Nature et dimension des particules :

Le tassement des vases, boues ou limons dépendent de la dimension, de la forme et de la charge électrique des particules solides formants les dépôts.

D'une façon générale, la concentration moyenne du culot de tassement, en eau douce naturelle sera d'autant plus importante que le diamètre des particules élémentaires soit plus grand.

Comme il a été déjà dit, la formule des tassements est

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

La valeur des facteurs α est une fonction croissante des diamètres.

III.2.3.2. Influence du milieu aqueux :

La salinité des eaux ne modifie pas très fortement la concentration moyenne d'un culot de tassement et aucune loi simple n'a pu être dégagée des nombreuses mesures des tassements des vases dans les eaux de salinités croissantes faites par Mignot.

Influence des sels flocculants et déflocculants :

Si la salinité des eaux n'a qu'une influence limitée sur le tassement, il n'en est pas de même de certains sels flocculants ou déflocculants et de l'acidité des eaux .

En traitant le milieu aqueux avec des flocculants ou des déflocculants, on pourra avoir pour le même matériaux plusieurs complexes (sol – eau) avec des

caractéristiques différentes ; les matières flocculantes ou déflocculantes accélèrent ou tardent les tassements des vases .

III.2.3.3. Influence des conditions de sédimentation :

Les conditions de sédimentation des matériaux très fins auront une influence appréciable sur le tassement des mélanges 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.

III.2.3.4. 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.

III.2.3.5. Influence du pourcentage des sables et des silts dans les vases :

Si les mélanges 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 qu'elle contient, le tassement sera d'autant plus rapide que le dépôt contiendra d'éléments sableux.

III.2.3.6. Accélération du tassement des dépôts de vases :

Le tassement d'une vase peut être augmenté, soit par le drainage, soit par utilisation de produits chimiques 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'électrophorèse (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 aurait pu 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 peut se faire si on intervertit le sens du courant.

III.3. Rappels théorique sur le comportement rhéologique des vases :

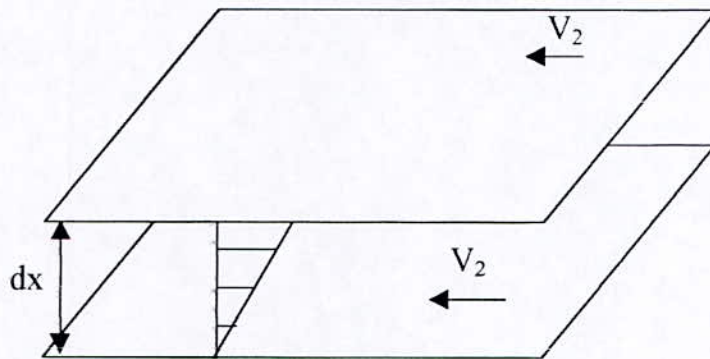
La rhéologie peut être considérée comme la science de l'écoulement et de la déformation de la matière.

La résistance des corps à la déformation est due au frottement qui se produit entre les molécules lorsque celles-ci se déplacent; elle dépend de la cohésion moléculaires des corps.

La force de frottement est figurée par l'énergie nécessaire pour déplacer une couche de fluide sur une autre.

Comportements rhéologiques :

Considérons deux plans parallèles de fluides de même surface A, distant l'un de l'autre de dx se déplaçant sur la même direction à des vitesses V₁ et V₂



On aura plusieurs propriétés rhéologiques des fluides :

1. Fluide newtonien :

$$\frac{F}{A} = \eta \cdot \frac{dv}{dx} = \tau$$

η: la viscosité dynamique
(poise en CGS)

$\frac{dv}{dx} = S$: le gradient de vitesse : la vitesse par la quelle les différentes

couches se déplacent les unes par rapport aux autres; il représente le taux de cisaillement aux quel le fluide est soumis.

$\frac{F}{A}$: la force par unité de surface nécessaire pour produire le cisaillement .

$\frac{dv}{dx} = S$: le gradian de vitesse : la vitesse par la quelle les differentes couches se déplacent les unes par rapport aux autres; il représente le taux de cisaillement aux quel le fluide est soumis.

$\frac{F}{A}$: la force par unité de surface nécessaire pour produire le cisaillement .

$$\frac{\tau}{S} = \eta = \frac{\text{Effort de cisaillement}}{\text{Taux de cisaillement}}$$

Fluide plastique BINGHAM :

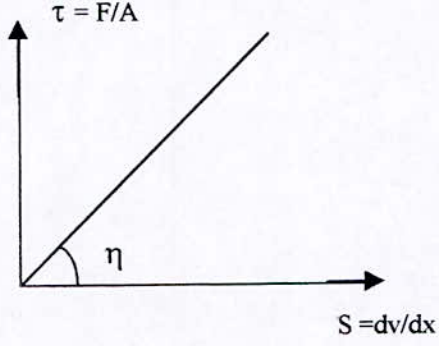
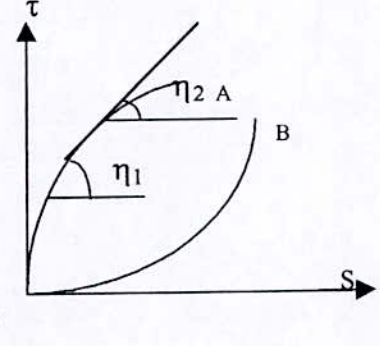
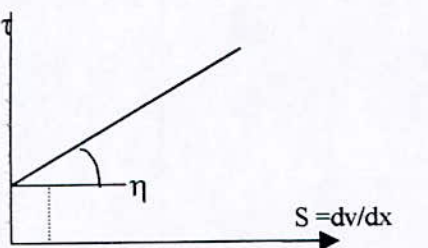
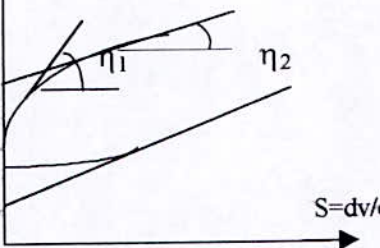
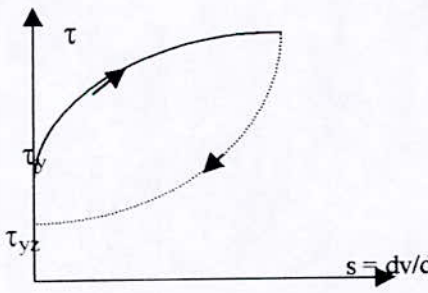
La relation entre la force de cisaillement et le taux de cisaillement n'est linéaire qu'à partir d'une certaine vitesse, au delà la courbe est croissante et coupe l'axe des abscisses en un point qui représente la contrainte critique de l'écoulement des fluides plastiques ou de BINGHAM

L'équation du fluide de BINGHAM s'écrit

$$\tau = \tau_y + \eta \frac{dv}{dx}$$

τ_y : la tension en dessous de la quelle il n'y a pas de mouvement

η : la viscosité dynamique , qui dans le cas d'un fluide de BINGHAM pur serait constante.

	
<p>Fluide Newtonien $\tau = \eta s$</p>	<p>Fluide pseudoplastique Thixotropess (A) , ou dilatant (B)</p>
	
<p>Fluide plastique Bingham $\tau = \tau_y + \eta \, dv/dx$</p>	<p>Fluide plastique de CASSON (a) et dilatant (b) ; $(\tau - \tau_B)^n = \eta \, dv/dx$</p>
	
<p>Fluide plastique complexe</p>	

Comportement rhéologiques des différents fluides sous l'effet de la teneur en eau

De nombreuses suspensions ne suivent pas la loi de BINGHAM et après avoir dépasser la limite d'écoulement , la variation de la force de cisaillement τ , en fonction du gradient de vitesse dv/dx , se présente suivant une courbe concave ou convexe .

La viscosité dans ce cas n'est plus constante , mais varie en fonction du gradient de vitesse.

Certains auteurs admettent alors que la contrainte de cisaillement peut être définie à partir de la tangente à la courbe rhéologique .

$$(\tau - \tau_B)^n = \eta \frac{dv}{dx}$$

fluide pseudo-plastique :

Ces fluides forment un groupe intermédiaire entre les fluides Newtoniens et les fluides plastiques , la courbe coupe l'axe des absises à son origine mais la viscosité décroît lorsque le taux de cisaillement augmente .

Fluide plastique complexe :

Dans ce cas , la valeur de l'effort de cisaillement en fonction du taux de cisaillement n'était pas la même suivant que l'on est en vitesse croissante ou décroissante .

En fin , on peut dire que les suspensions de sédiments fins , dans différents milieux aqueux peuvent suivre des lois rhéologiques différentes suivant leurs états de tassement ou ce qui revient en même, leur concentrations .

Une suspension de vase pourra être Newtonienne , en faible concentration ou, au contraire , se rapprocher des fluides schématisés par les lois de BINGHAM , ou de CASSON pour des concentrations élevées . de plus , les dépôts des sédiments péltiques pourront présenter , pour certaines concentrations de phénomènes thixotropie ou de dilatance caractérisés par une modification de leur propriétés sous une cation mécanique extérieure.

Chapitre IV : Etude expérimentale des matières en suspension.

IV -1- Introduction:

L'étude du comportement des sédiments très fins dans les eaux calmes est indispensable pour lutter contre leurs effet sur les infrastructures hydrauliques tel que la rentabilité des installations, aussi bien les retenues des barrages et chenal d'accès.

Par contre, ces mêmes sédiments très fins, convenablement répartis sont indispensables pour assurer au sol une structure favorable et augmenter aussi la production des terres cultivables, et peuvent aussi rendre de grands services pour assurer l'étanchéité d'un terrain où protéger un chantier contre les infiltrations à l'aval et permettre d'emmagasiner dans les lacs artificiels où dans les sous sols des réserves d'eau importantes.

Qu'il s'agit de lutter contre eux où de les utiliser, la connaissance de leurs caractéristiques et celles du milieu aqueux qui les imprègnent sont nécessaires.

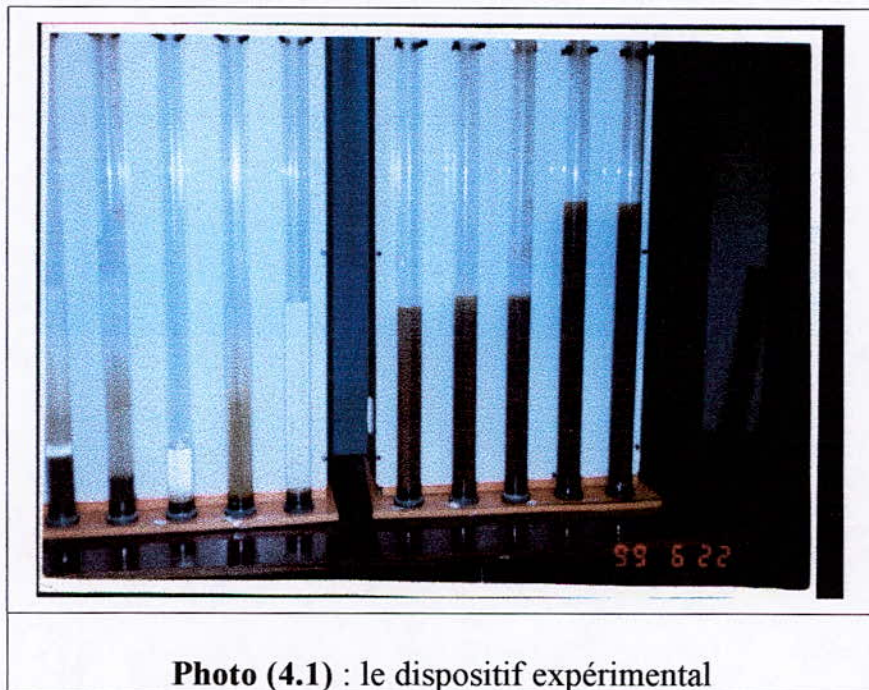
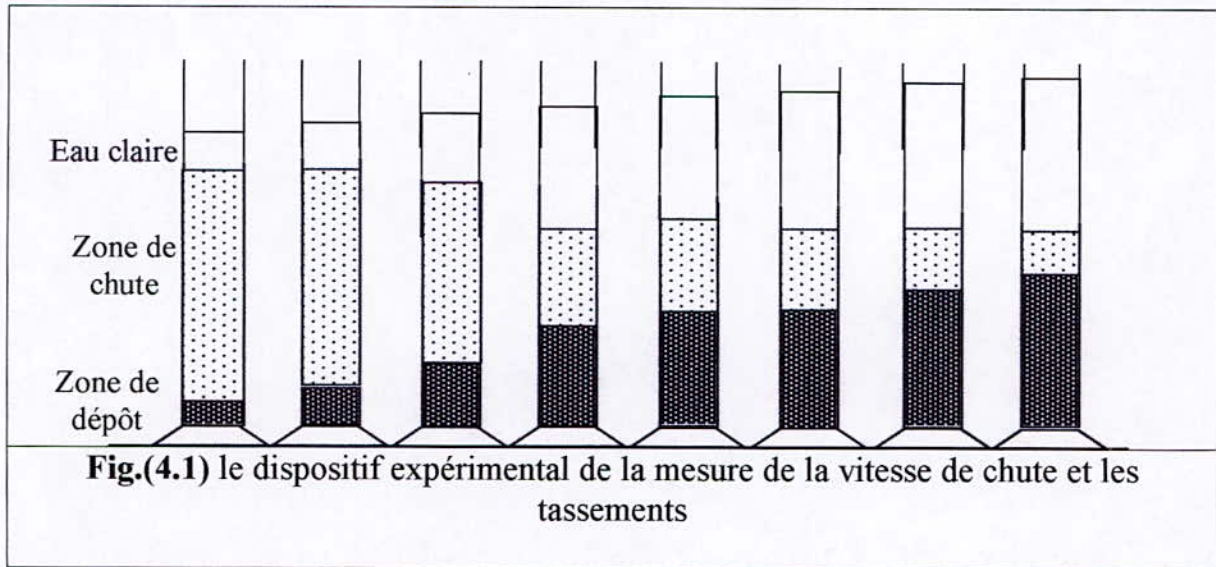
Toute fois cette première étude des sédiments très fins aussi poussée soit-elle reste insuffisante pour se faire une idée précise de leurs comportements en nature sous les différentes actions hydrodynamiques, et il faut se rappeler que de tel matériaux forment dans un milieu aqueux des complexes sol-eau essentiellement variables dans le temps, ayant des propriétés physiques très différentes de celles de leurs particules élémentaires.

Dans ce cadre, notre étude expérimentale consiste à étudier les paramètres agissants sur le comportement des matières en suspension (vase du barrage de Foug El Gherza Biskra) à savoir la vitesse de chute , le taux des tassements et la viscosité .

IV-2- dispositifs expérimentaux :

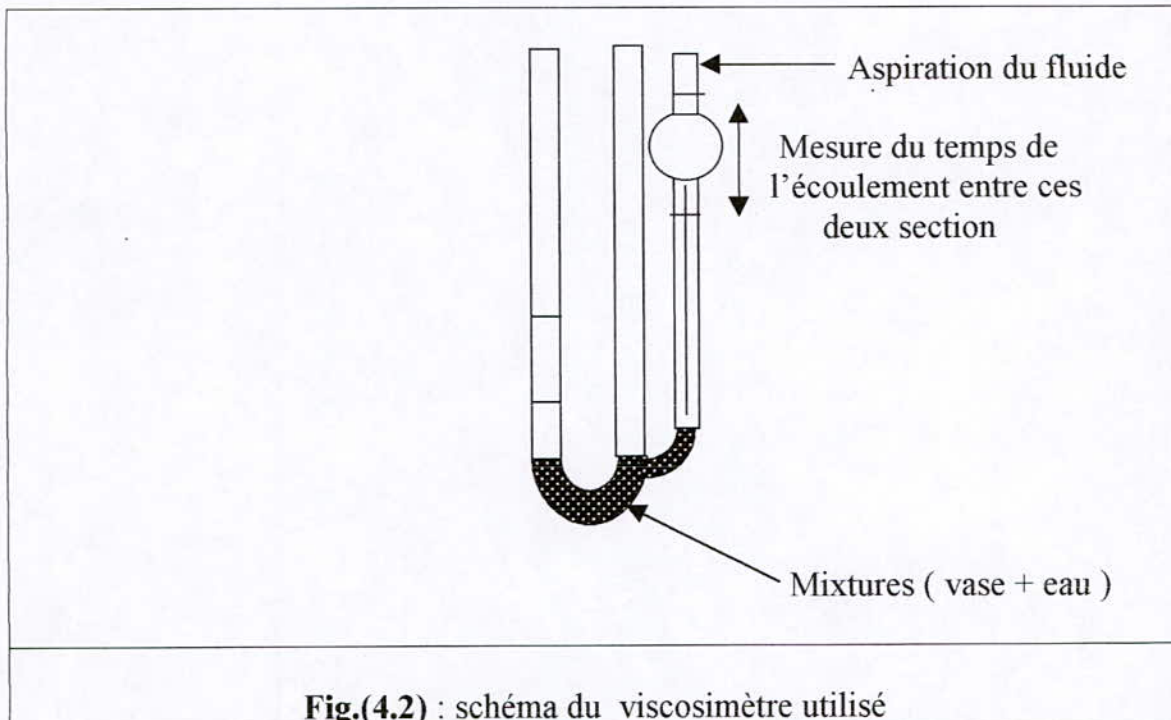
a- vitesse de chute et tassement :

Les études de la vitesse de chute et les tassement ont été effectuées dans des tubes transparent et gradués de six (06cm) environ de diamètre et de 1 m de hauteur . ces tubes sont maintenues verticalement pour éviter toute inclinaison du dépôt .
figure (4.1), photo(4.1)) .



b- la viscosité :

Pour cela on a utilisé un viscosimètre des matières en suspension et des fluides visqueux (les huiles et les différentes mixtures de granulométrie fine) de type ASTM D 445 disponible au niveau du laboratoire de pétrochimie au département Génie Chimique. (figure (4.2), photo(4.2)) .



IV.3. Essais :

IV.3.1.Préparation de l'échantillon :

Les prélèvement de l'échantillon de la vase étudiée ont été faite à l'aval du barrage de Foum El Gherza (Biskra), il s'agit de la vase soutirée en 1989. La vase prélevée a été sous forme de blocs, elle a été broyer en utilisant un broyeur , et en utilisant des différents tamis dont le plus petit est celui de 250 on a eu des éléments très fins.



Photo 4.3 prélèvement de l'échantillon

IV.3.2. mode de travail :

a. Vitesse de chute et tassements :

Expérience N° I :

La détermination de la vitesse de chute "W" de la suspension en eau calme en fonction de la concentration "C".

Les mixtures vase- eau distillée ont été versé dans les tubes gradués selon 3 paliers de concentrations :

- 1^{er} palier : concentrations faibles C= 3g/l , C=6 g/l , C=10 g/l.
- 2^{ème} palier : concentrations moyennes : C=20 g/l , C=50 g/l
- 3^{ème} palier : concentrations fortes : C=100 g/l , 150 g/l , 200 g/l

Après avoir agiter ces mixtures, ils ont été déposé dans le dispositifs 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 (Fig.4.3) : Phase de dépôt, Phase de suspension et phase de l'eau claire.

Pour chaque concentration, on a suivi l'évolution temporelle de Zc, Zch et Zd respectivement côte de l'eau claire, côte de zone de chute et côte de zone de dépôt.(Les hauteurs : Hc, Hch , Hd seront ainsi calculés)

Pour chaque concentration, trois essais (Trois agitations) ont été faites. Les résultats sont présentés dans les tableau et les graphes donnés dans la partis VI.4.4.

Expérience N°II :

Connaissance sur le tassement en vue d'évaluer leur comportement sous les actions hydrodynamiques.

Après l'expérience I , dans les tubes de solutions la zone de chute disparaît. Il n'y aura que la zone de l'eau claire et la zone du dépôt (Fig4.4) , l'expérience II est alors commencée en mesurant le tassement de la zone de dépôt pour les concentrations fortes (100,150,200 g/l).

b- viscosité :

Le dispositif consiste à aspirer le mélange pour qu'il monte dans une petite chambre d'air puis on le laisse s'écouler à travers un tube très fin, et on mesure le temps de l'écoulement entre les deux niveaux figurés sur le dispositif (fig. .1).

Les résultats sont présentés dans le tableau N°(0).

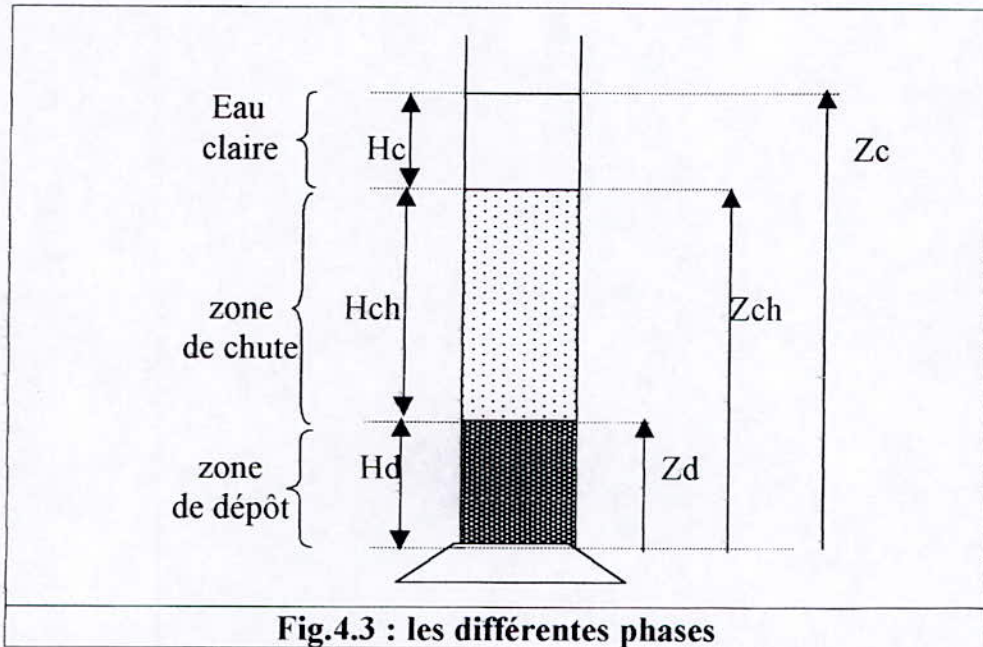


Fig.4.3 : les différentes phases

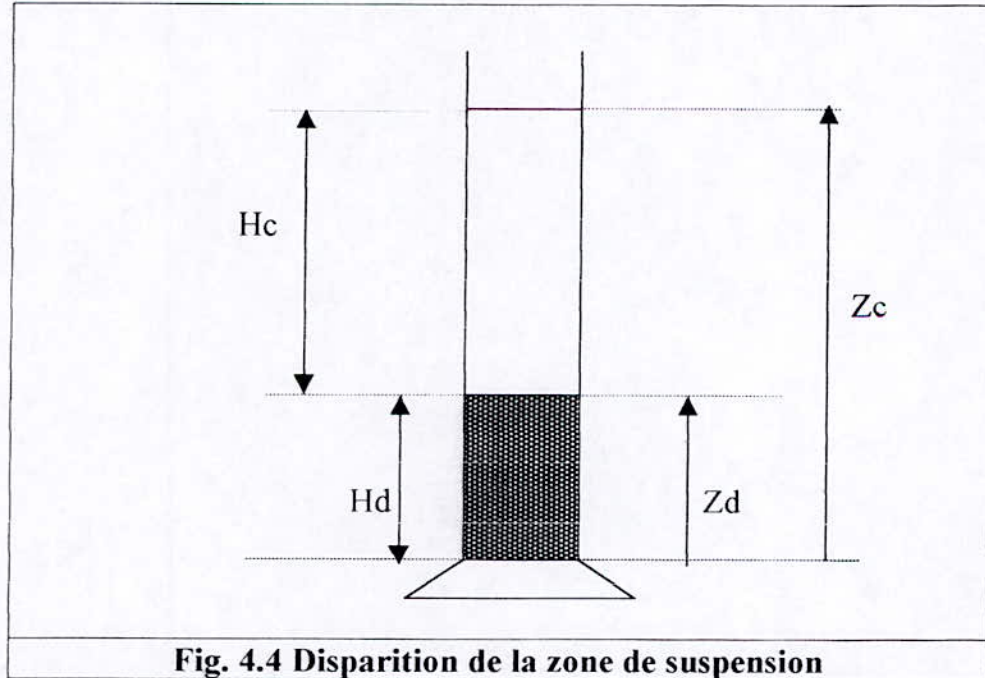


Fig. 4.4 Disparition de la zone de suspension

Chapitre

Résultats et interprétations

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1. Présentation des Résultats :

Nous avons présenté nos résultats sous forme de tableaux et graphes de la manière suivantes:

- La première série de graphes présente l'évolution de Hc(Hauteur de l'eau claire), Hch (hauteur de l'eau trouble), Hd(Hauteur du dépôt) en fonction du temps cumulés en minutes.

Les courbes $Hc=f(Tc)$ et $Hch=f(Tc)$ nous permet de calculer la vitesse de chute qui représente la pente de ces courbes.

Les différentes agitations nous permettent d'avoir une bonne précision et d'éviter les erreurs de mesures.

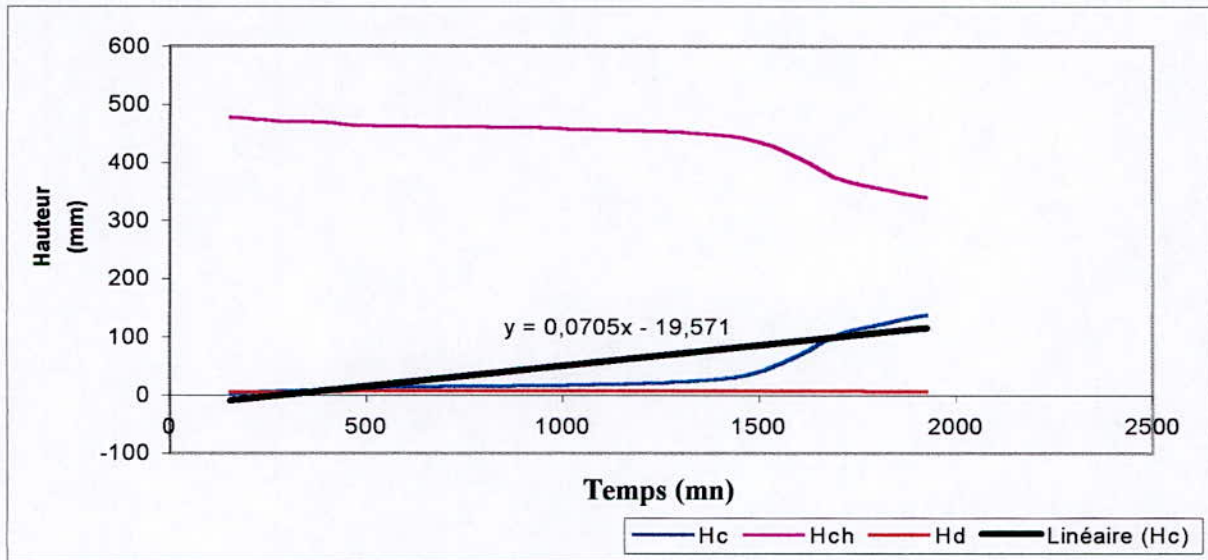
- Le graphe N° (49) représente les vitesses de chutes obtenus précédemment en fonction de la concentration
- La deuxième série de graphes $Hd=f(Tc)$ représentent l'évolution des tassements en fonction du temps.
- Le graphe N° (50) représente la viscosité des mixtures en fonction de la concentration.

Les tableaux des résultats sont donnés dans les annexes

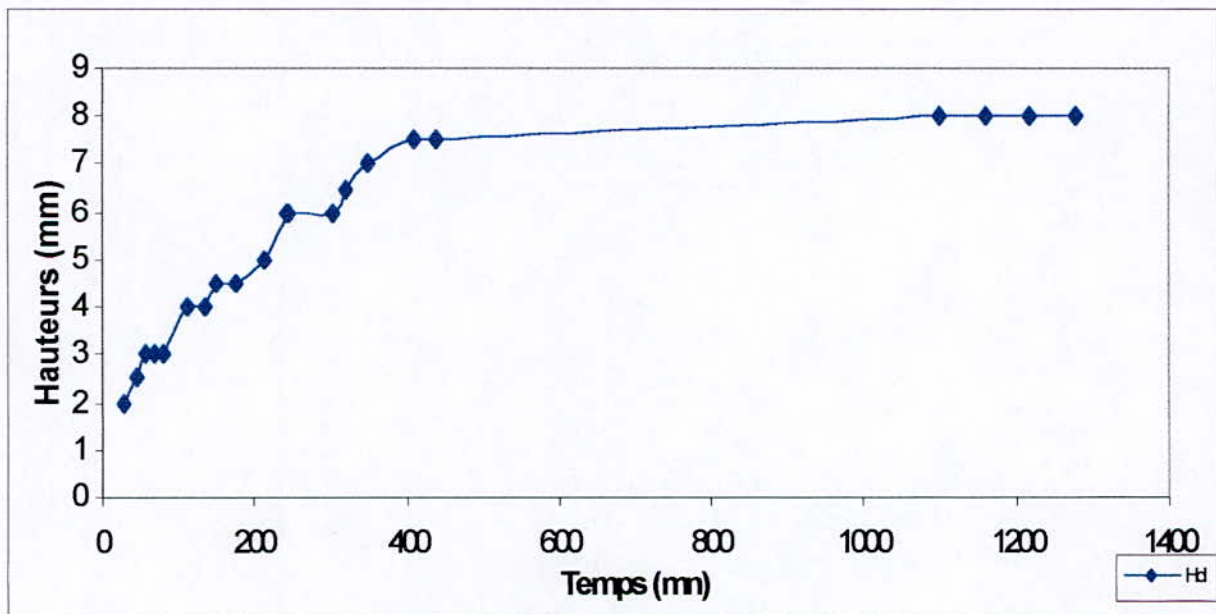
V.1- Les vitesses de chute

V.1.1. Les faibles concentrations :

a) les essais de la concentration C = 3g/l , Essai N°01.

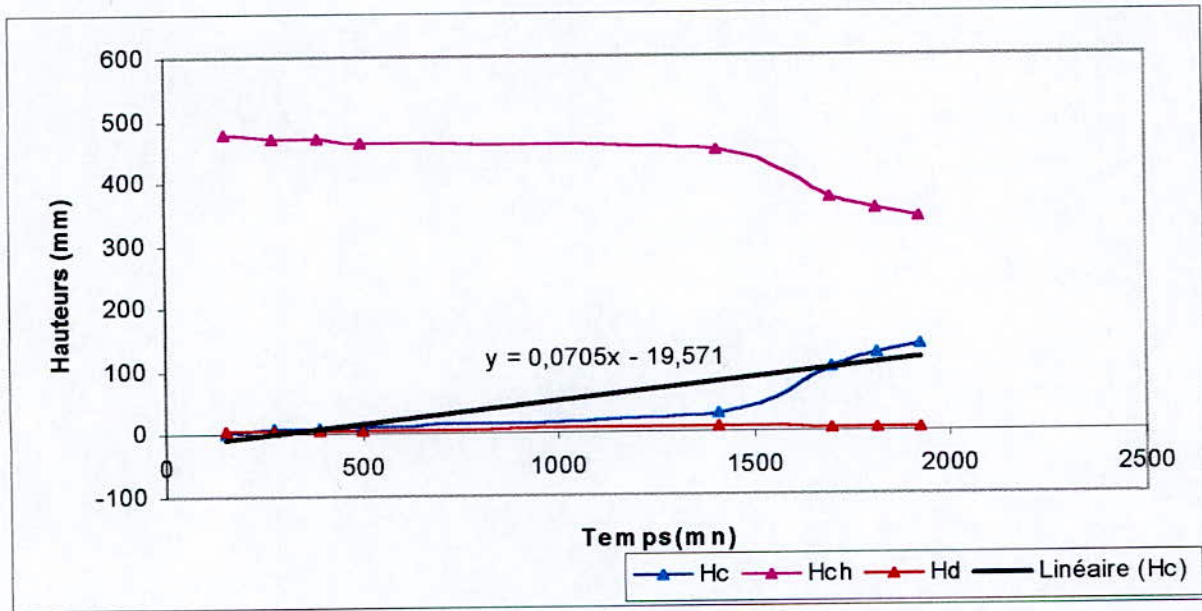


Graphe N° 1 : Hc, Hch ,Hd = f(Tc) , Essai N° 1

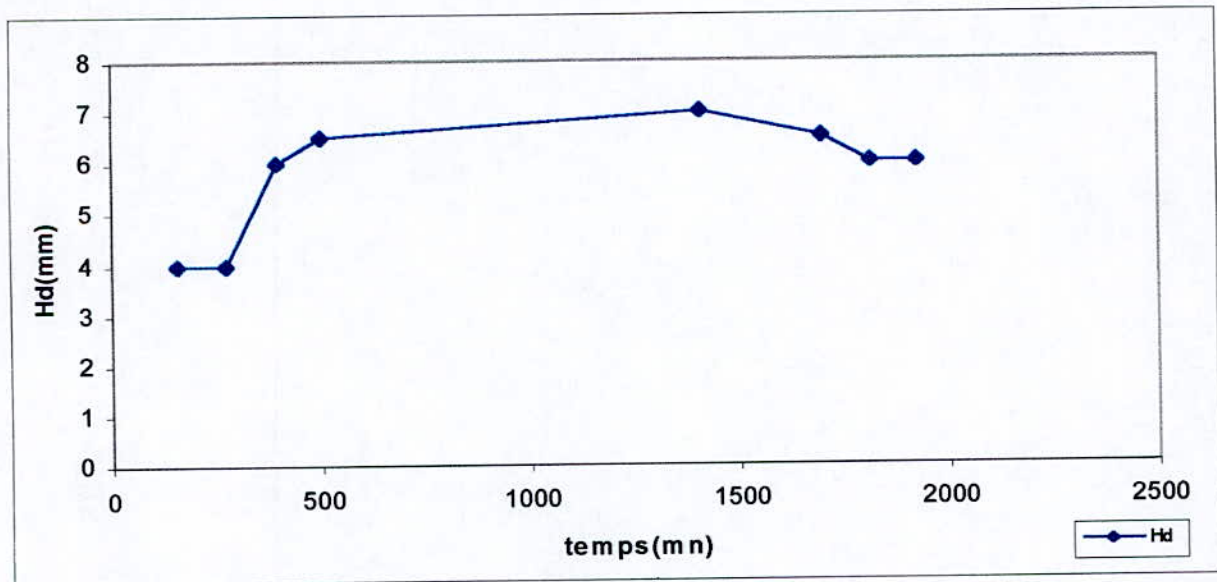


Graphe N° 2 : Hd = f(Tc) , Essai N° 1

Concentration 3g/l , Essai N°02

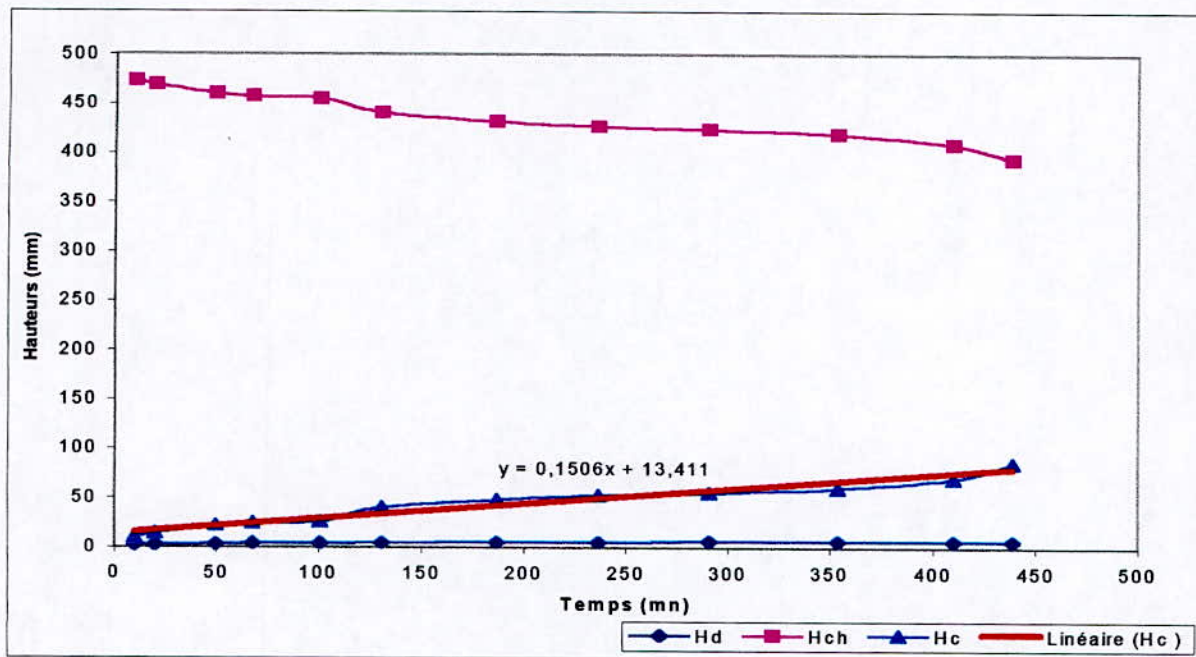


Graphe N° 3 : Hc , Hch , Hd = f(Tc). Essai N° 02

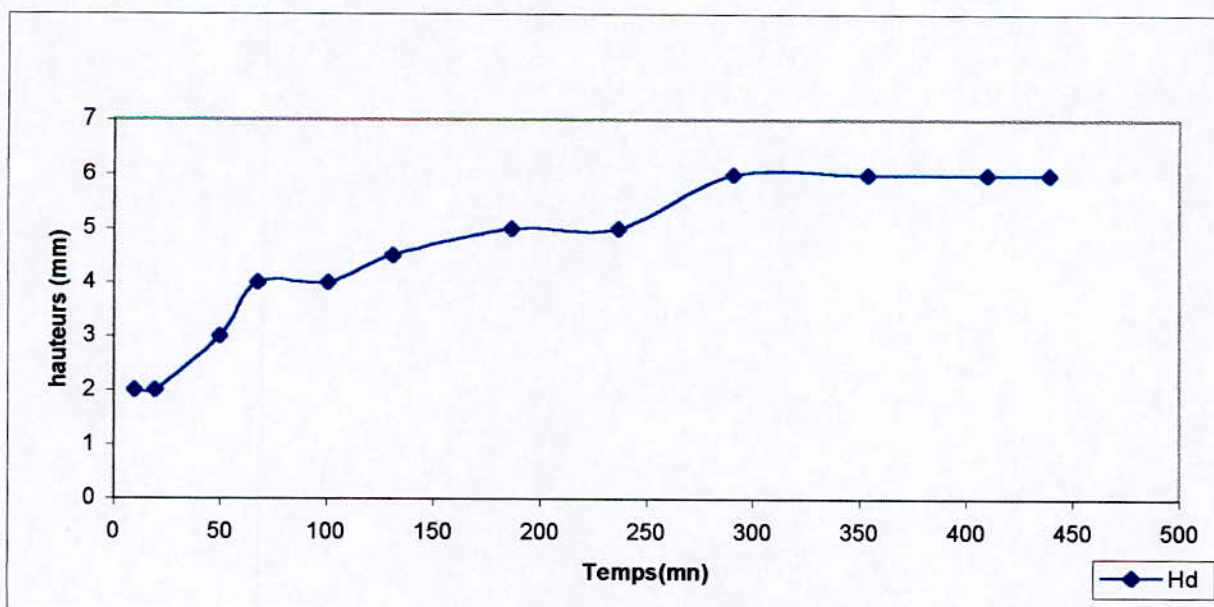


Graphe N° 4 , Hd = f(Tc) , Essai N° 2

Concentration C = 3g/l , Essai N° 3

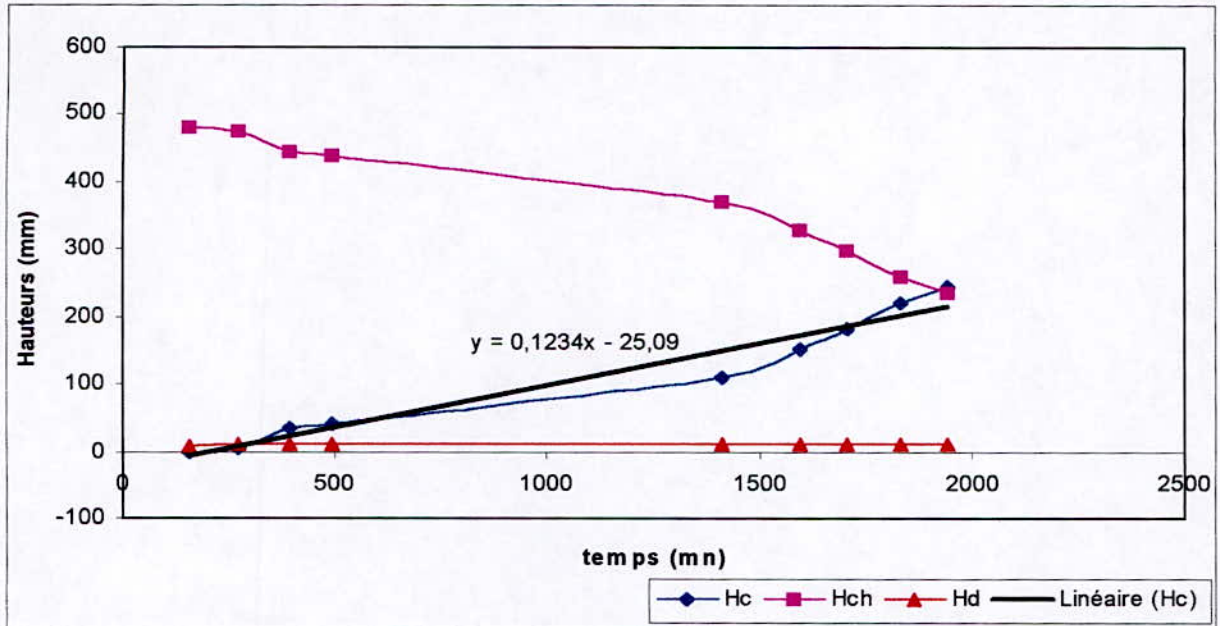


Graphe N° 5 , Hc , Hch , Hd = f(Tc)

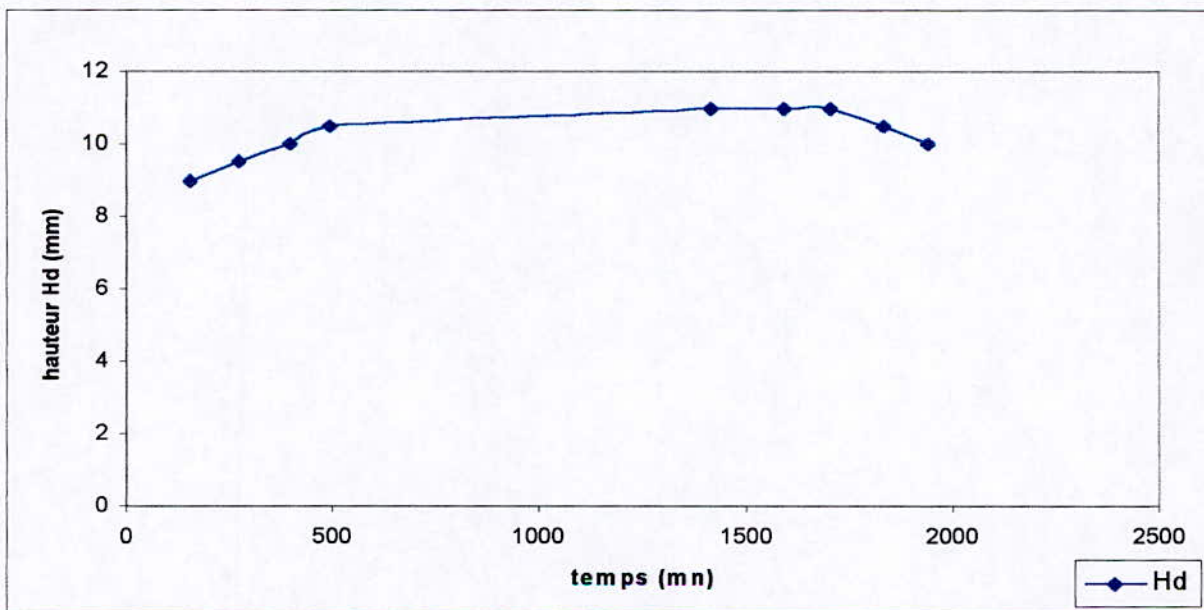


Graphe N° 6 , Hd = f (Tc).

Concentration C = 6g/l , Essai N°1

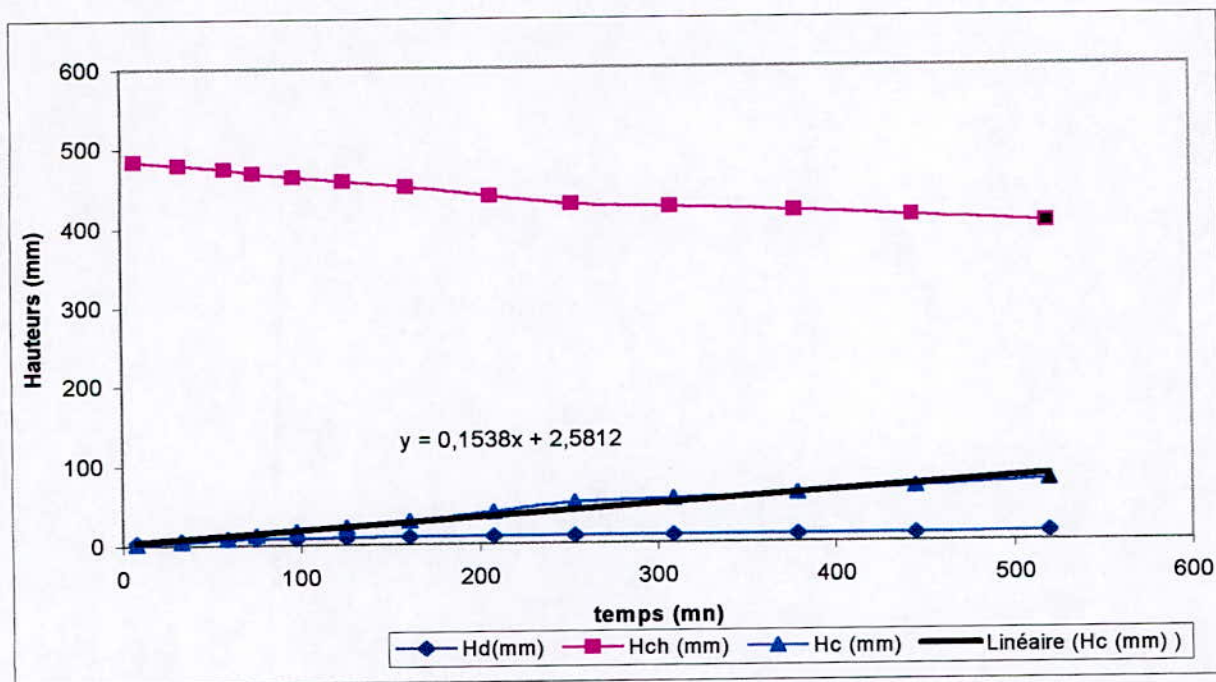


Graphe N° 7 , Hc , Hch , Hd = f(Tc).

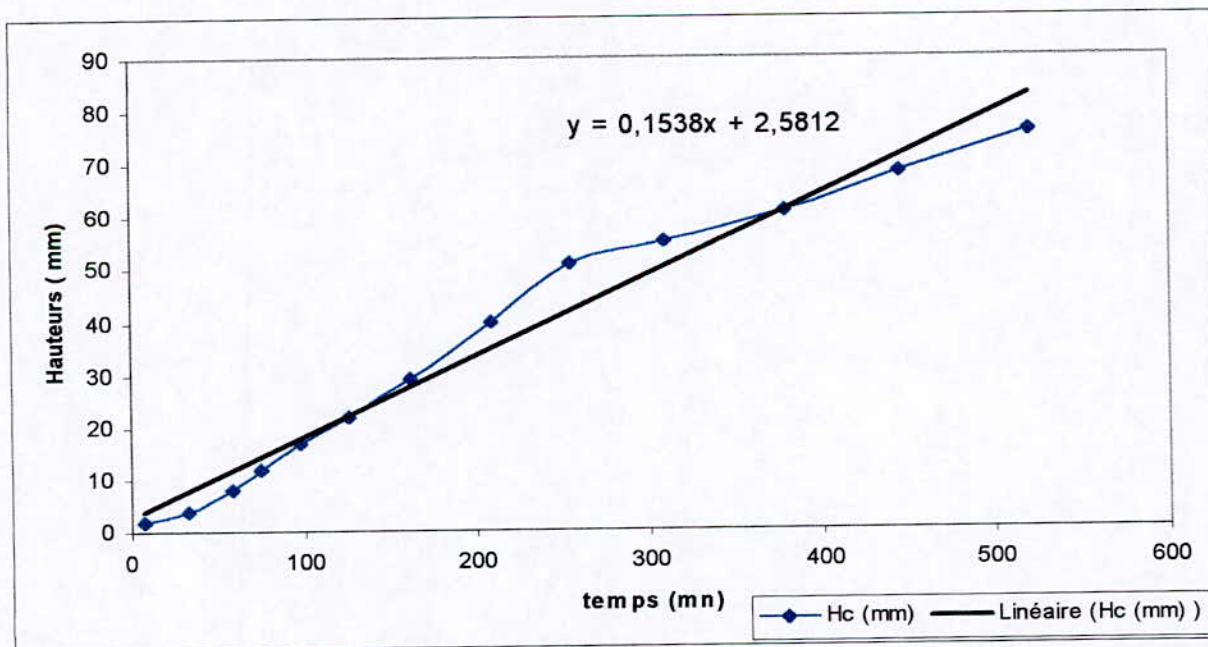


Graphe N° 8 , Hd = f(Tc)

Concentration C = 6g/l , Essai N° 2

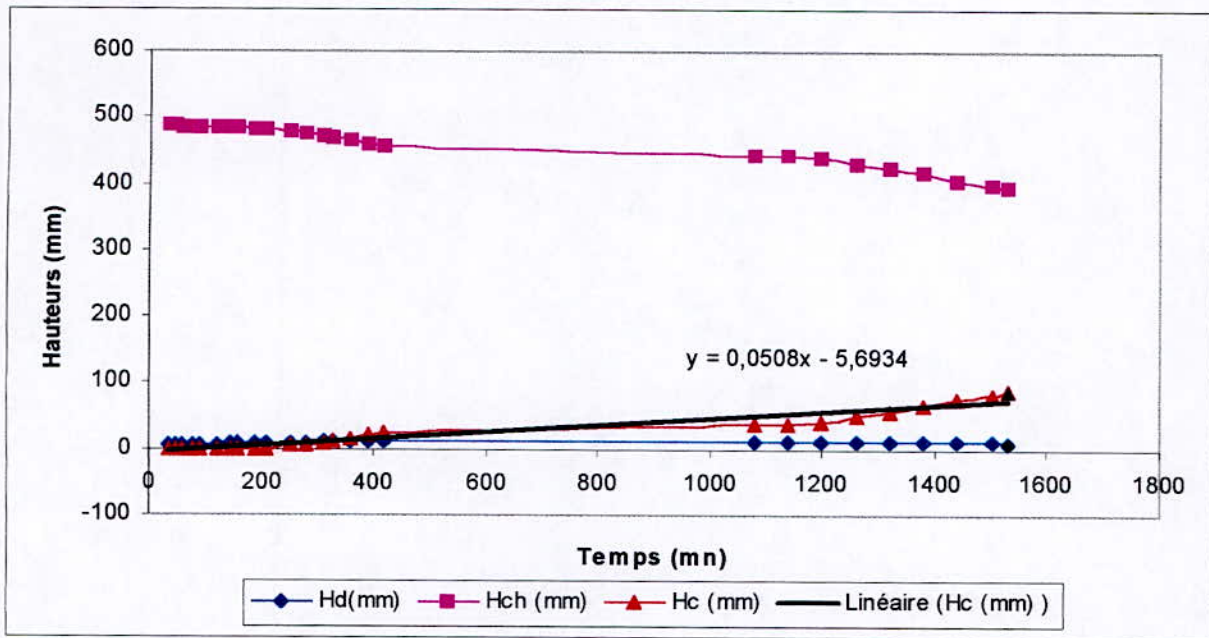


Graphe N° 9 , Hc , Hch , Hd =f(Tc)

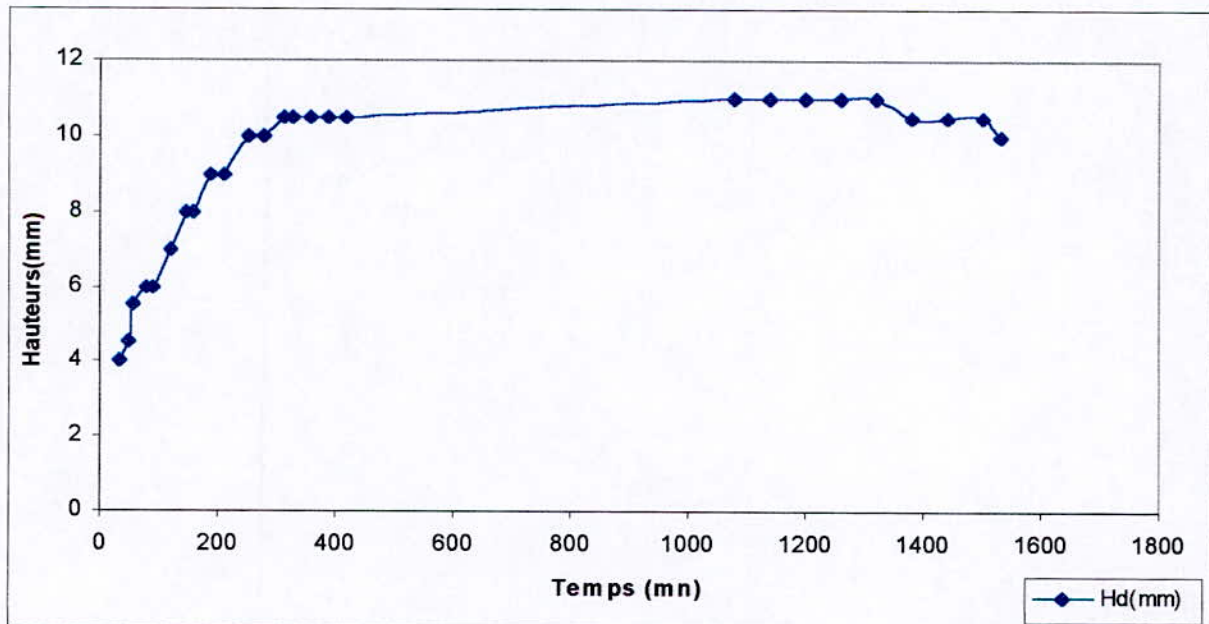


Graphe N° 10 , Hd = f(Tc)

Concentration 6g/l , Essai N°03

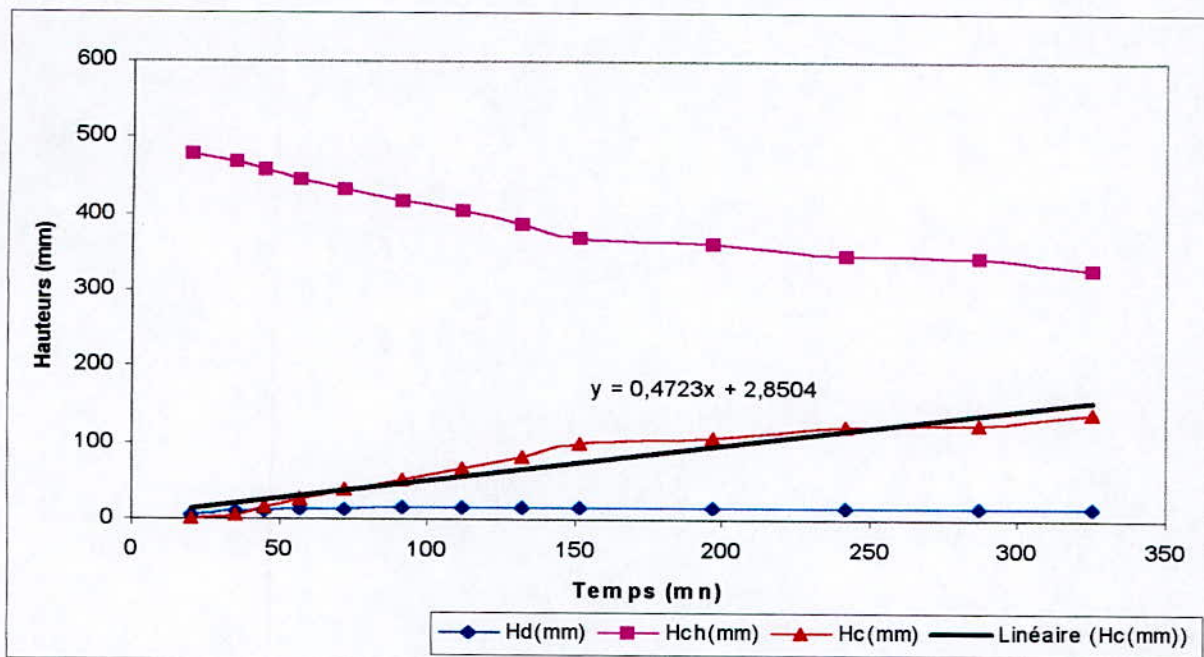


Graphe N° 11 , Hc , Hch , Hd = f(Tc)

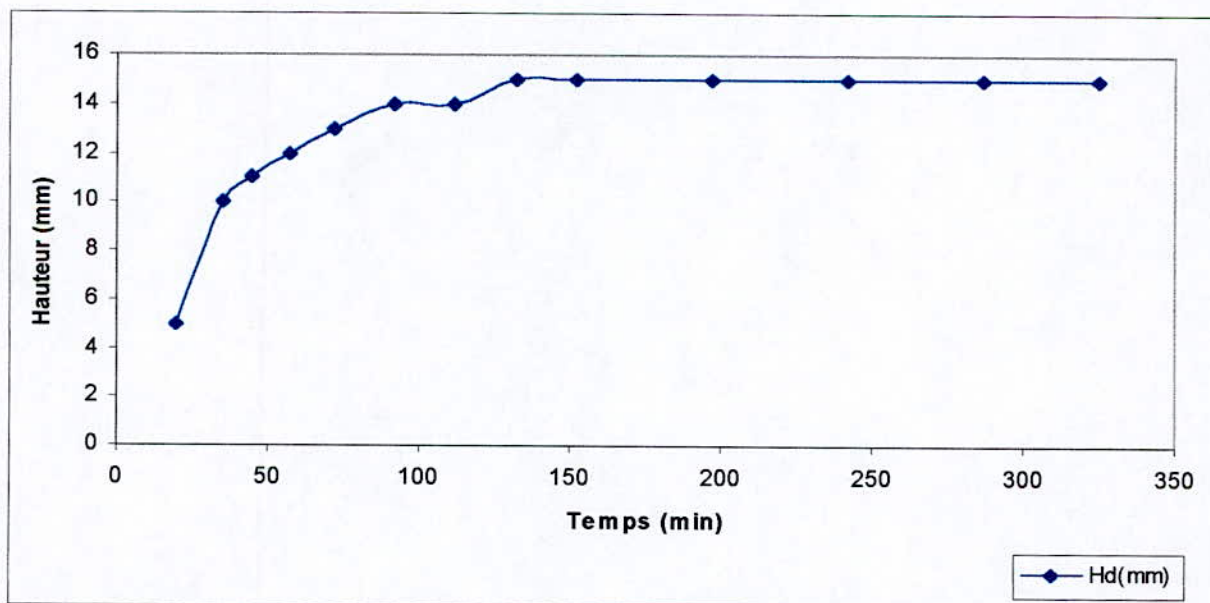


Graphe N° 12 : Hd = f(Tc)

Concentration C = 10g/l ; Essai N° 01

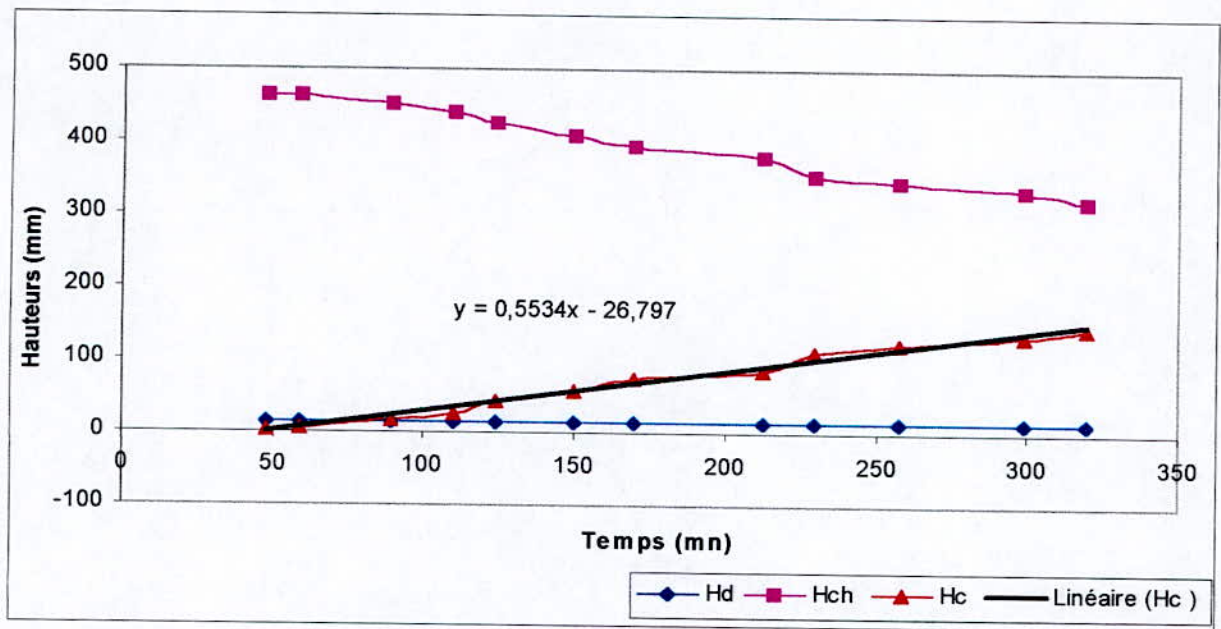


Graphe N°13 , Hc , Hch , Hd =f(Tc)

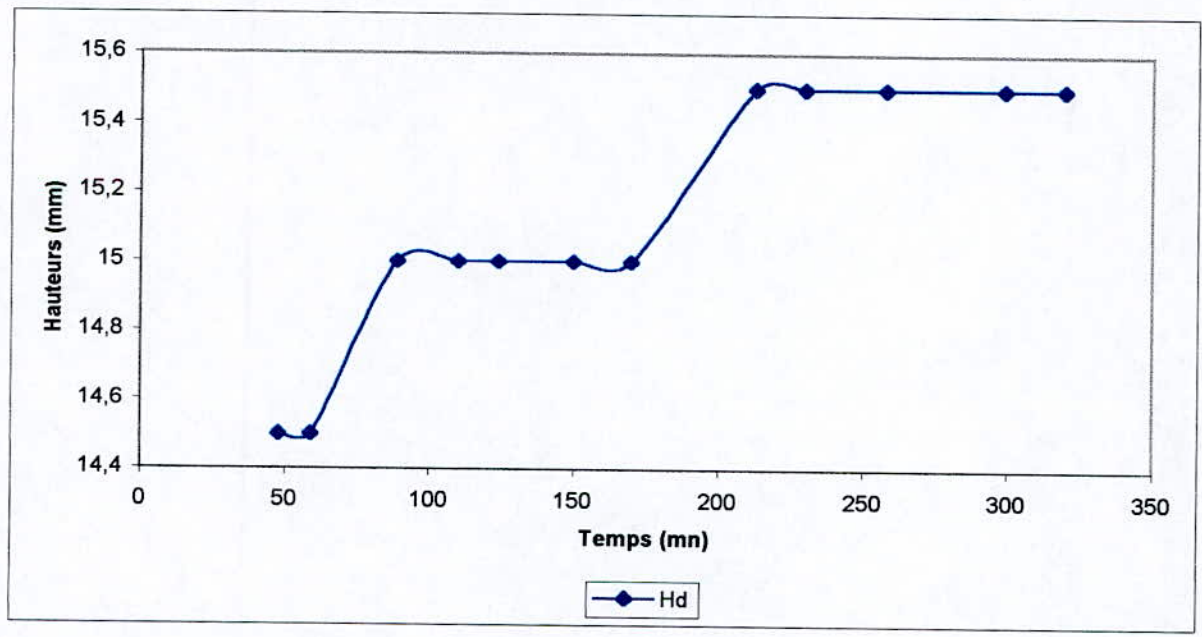


Graphe N°14 , Hd = f(Tc)

Concentration C = 10g/l , Essai N° 02

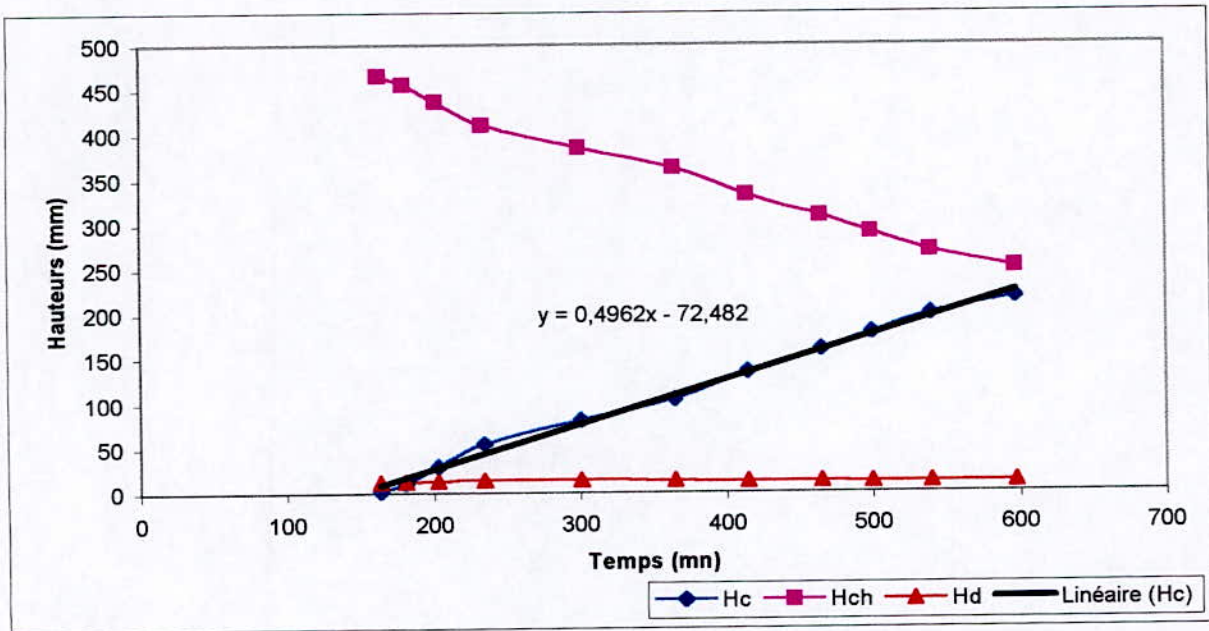


Graphe N° 15 , Hd , Hch , Hd = f (Tc)

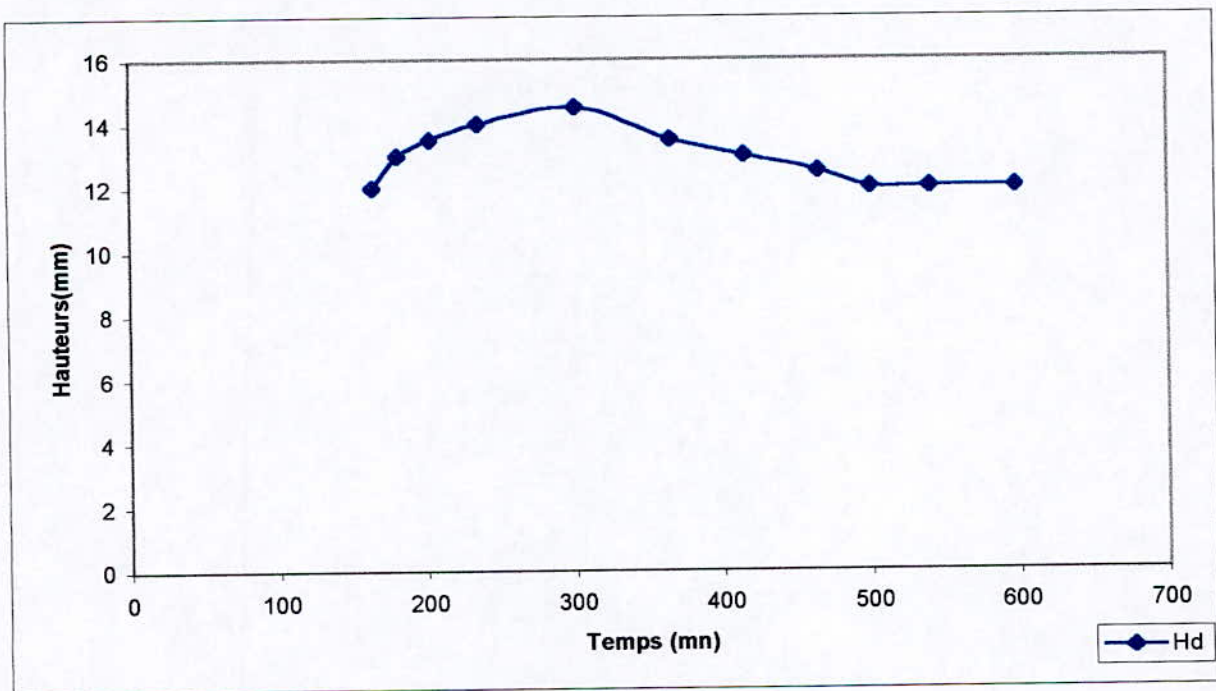


Graphe N° 16 , Hd = f (Tc)

Concentration C = 10g/l , Essai N° 3



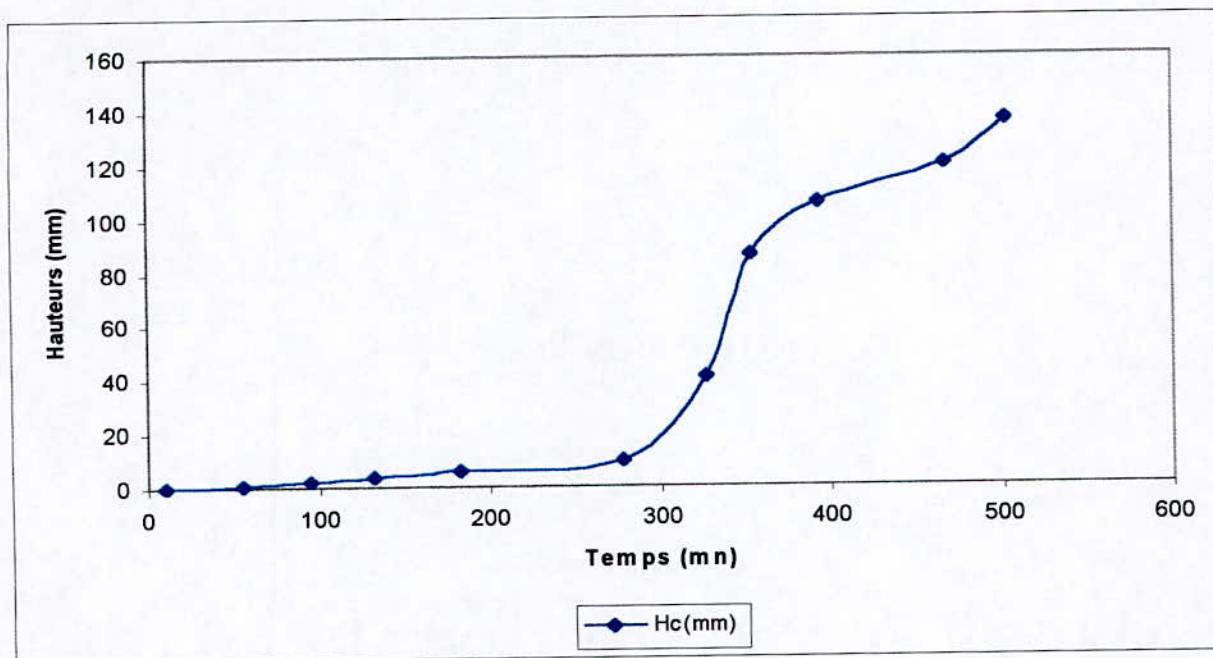
Graphe N°17 , Hd , Hch , Hc = f(Tc).



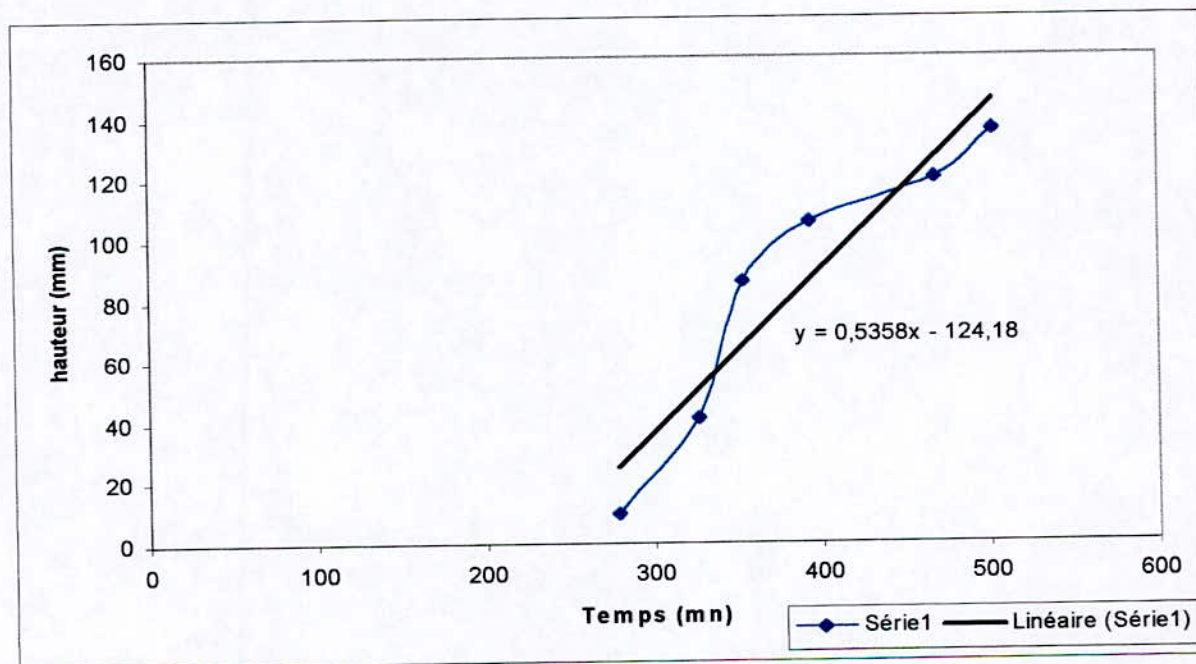
Graphe N°18 , Hd = f (Tc)

V.1.2.les moyens concentrations :

a- Les essais de la Concentration 20 g/l : Essai N°01

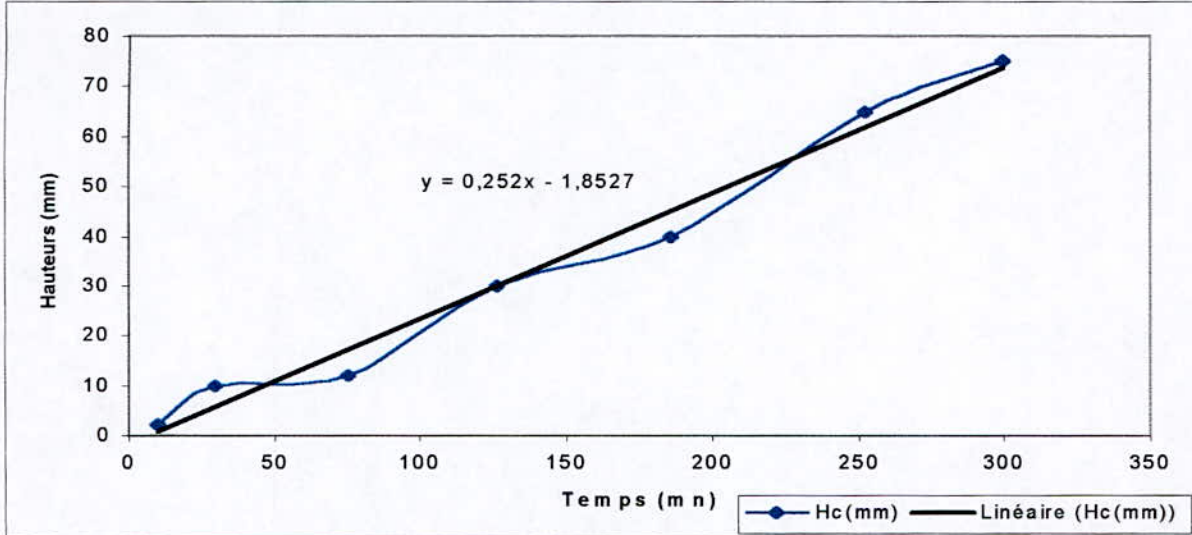


Graphe N° 19 , Hc = f(Tc)



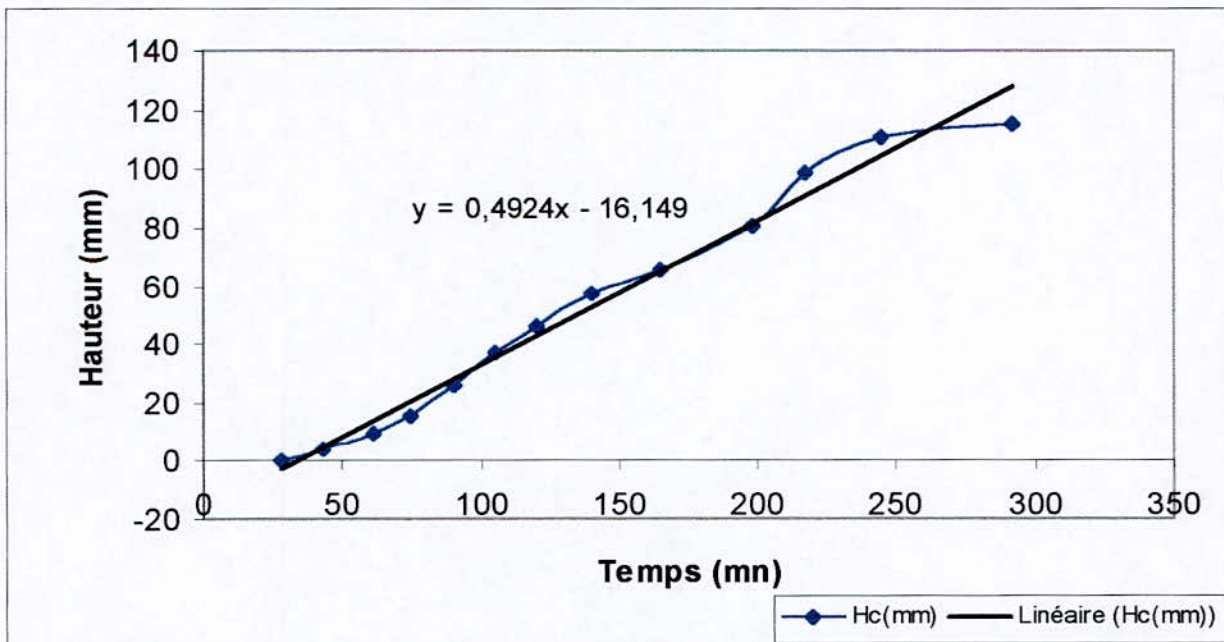
Graphe N° 20 Hc=f(Tc)

Concentration 20 g/l Essai N°02



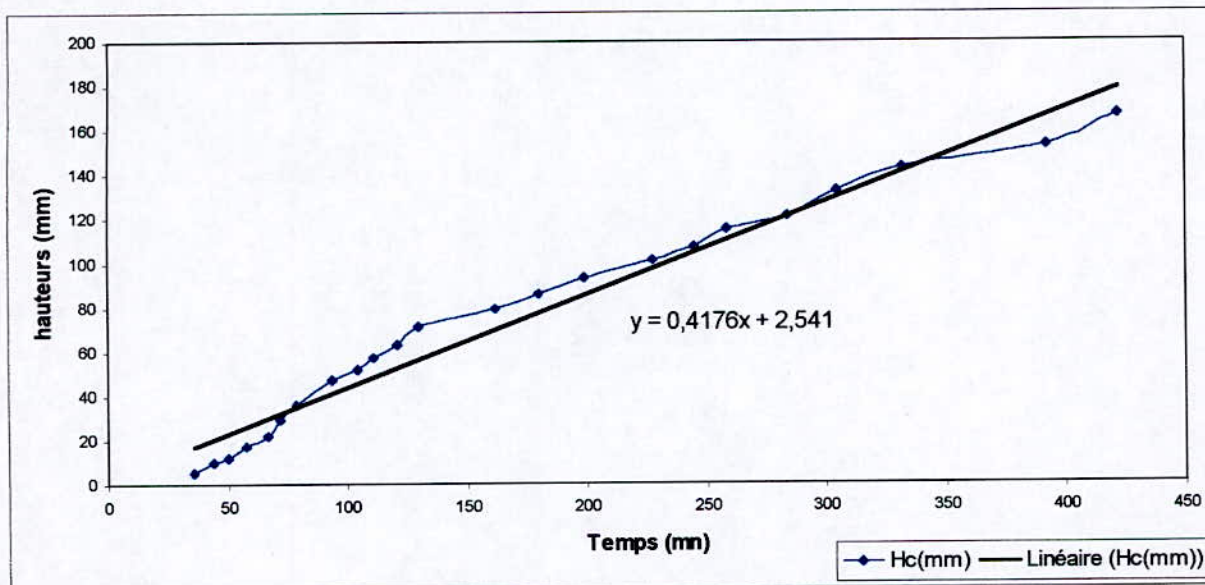
Graphe N° 21 Hc=f(Tc)

Concentration 20 g/l Essai N°03 :



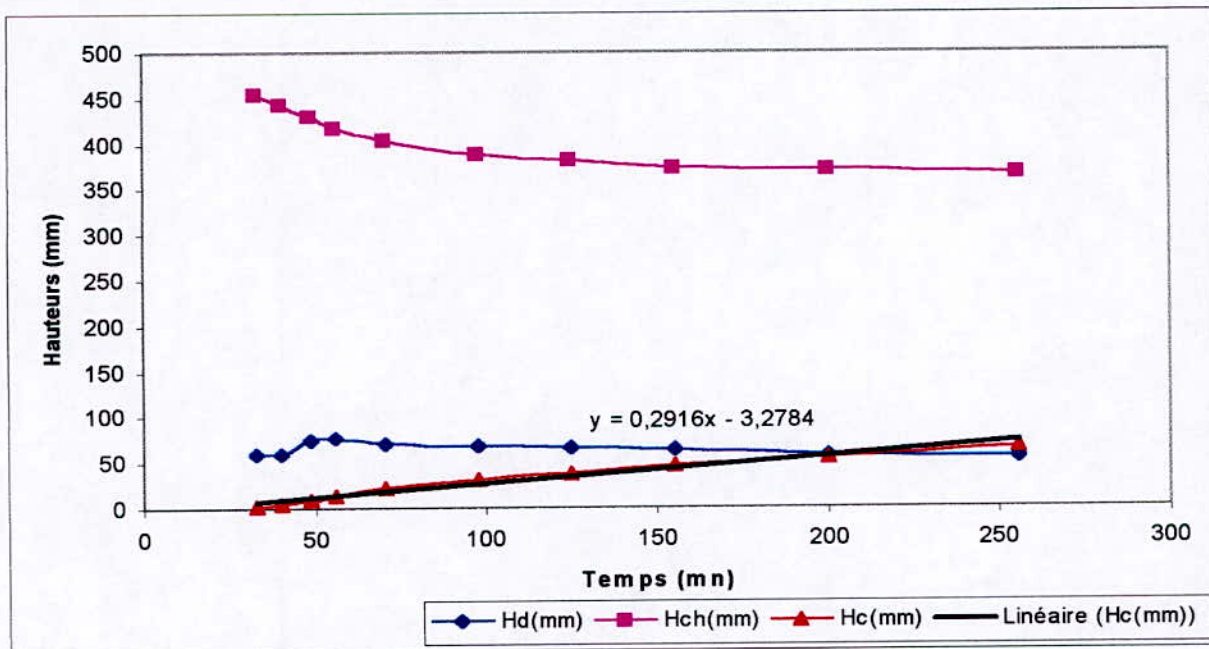
Graphe N° 22 Hc=f(Tc)

Les essais de la concentration 50 g/l : essai N°01

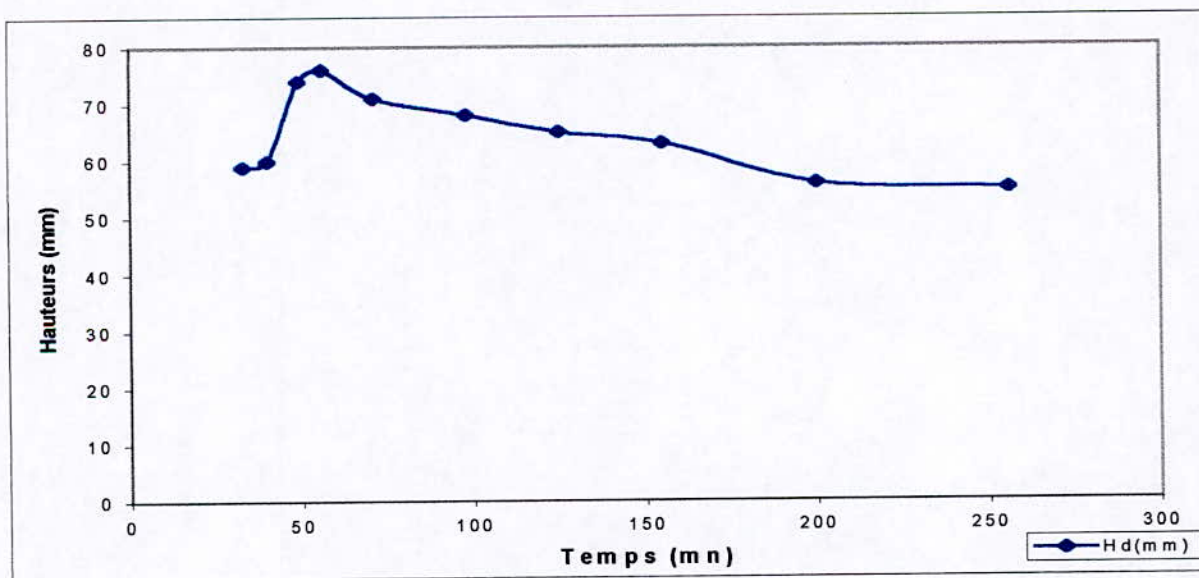


Graphe N° 23 : Hc=f(Tc)

Concentration 50 g/l , Essai N°02

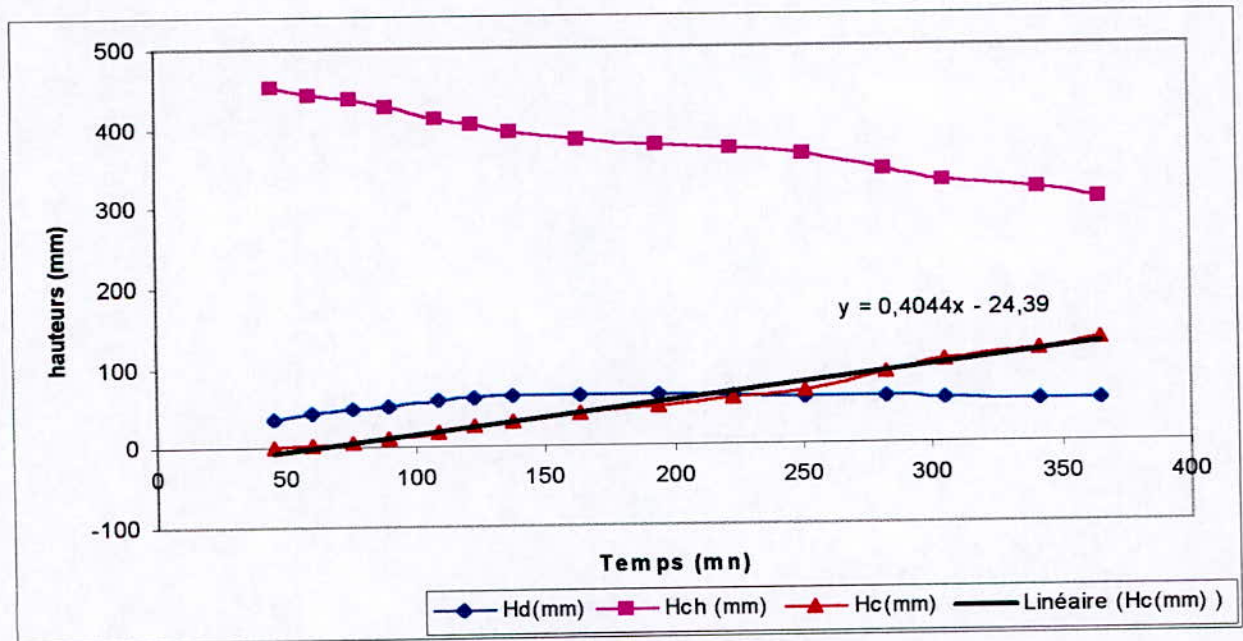


Graphe N° 24 , Hc = f(Tc)

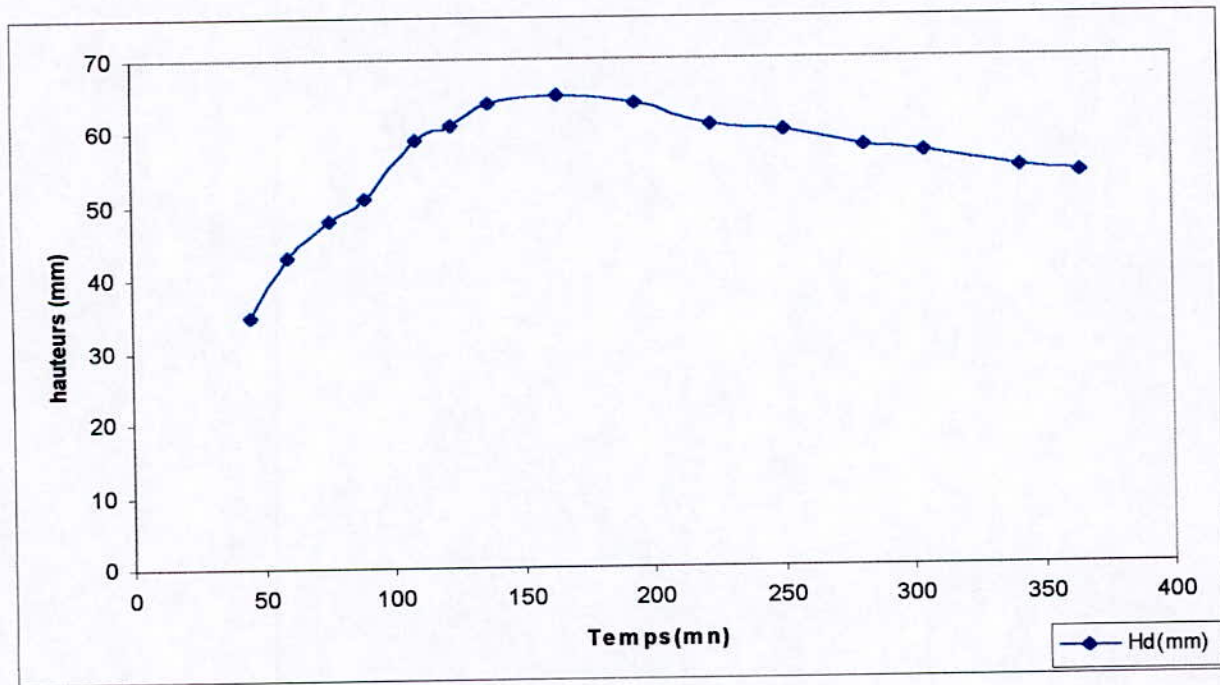


Graphe N°25 Hd=f(Tc)

Concentration 50 g/l : Essai N°03



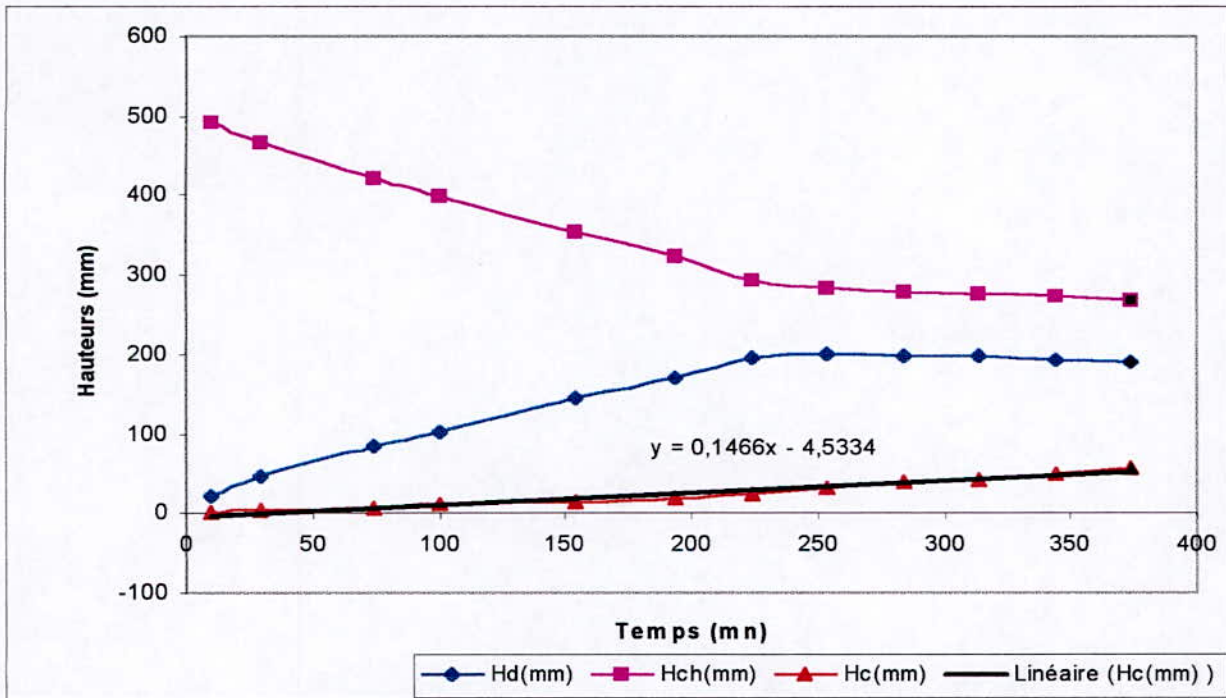
Graphe N° 26 Hc, Hch , Hd =f(Tc)



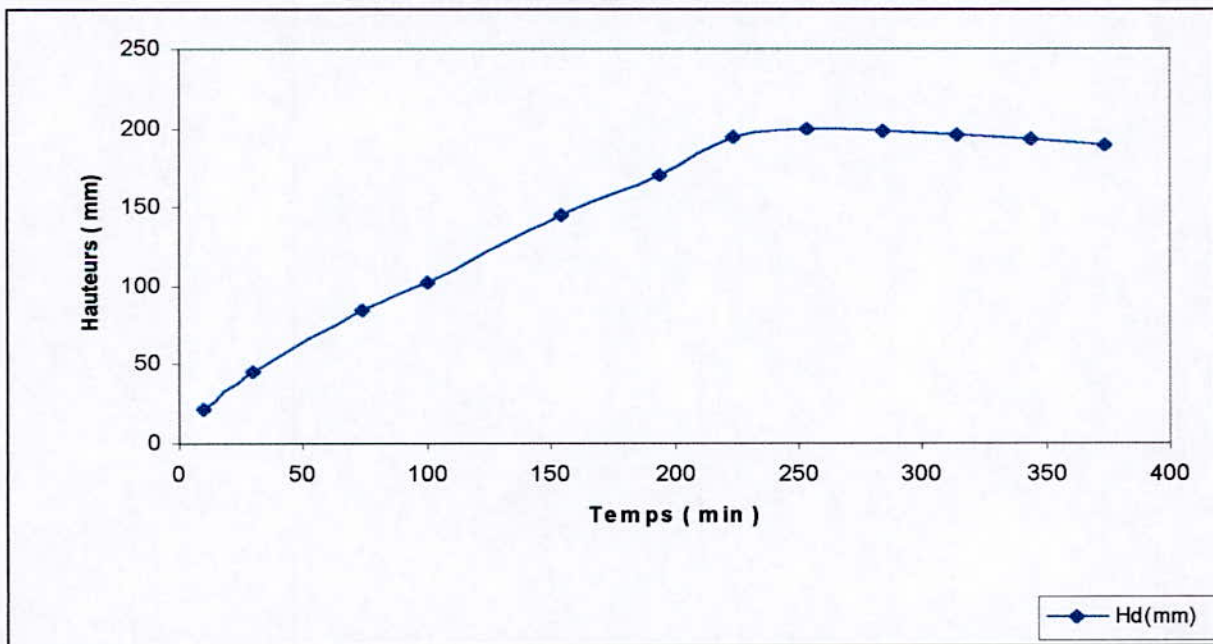
Graphe N° 27 , Hd = f(Tc)

V.1.3. Les fortes concentration :

a- Les essais de la concentration 100 g/l : Premier Essai :

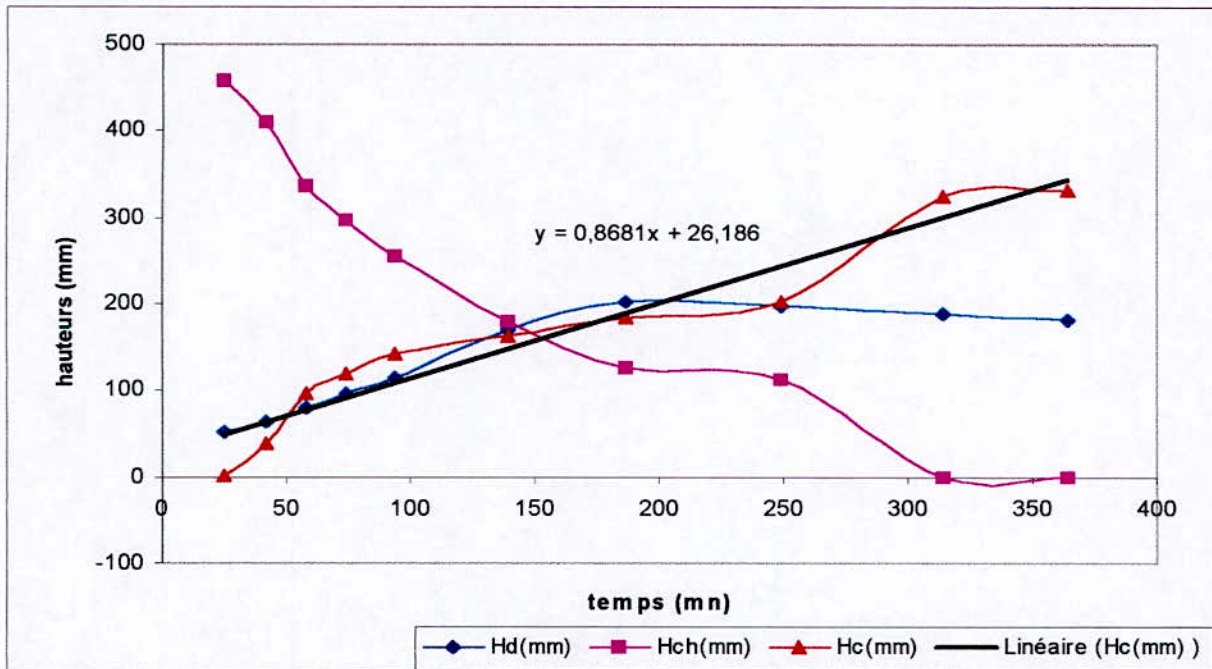


Graphe N° 29 , Hc, Hd, Hch = f(Tc)

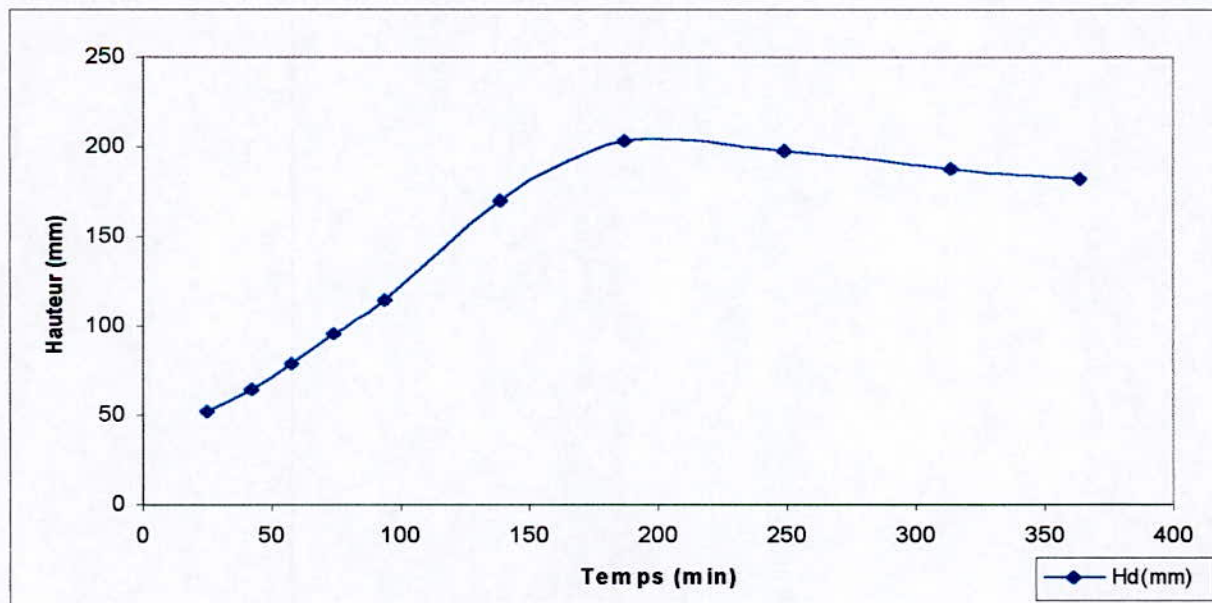


Graphe N° 29 , Hd = f(Tc)

Concentration $c = 100 \text{ g/l}$: Deuxième essai

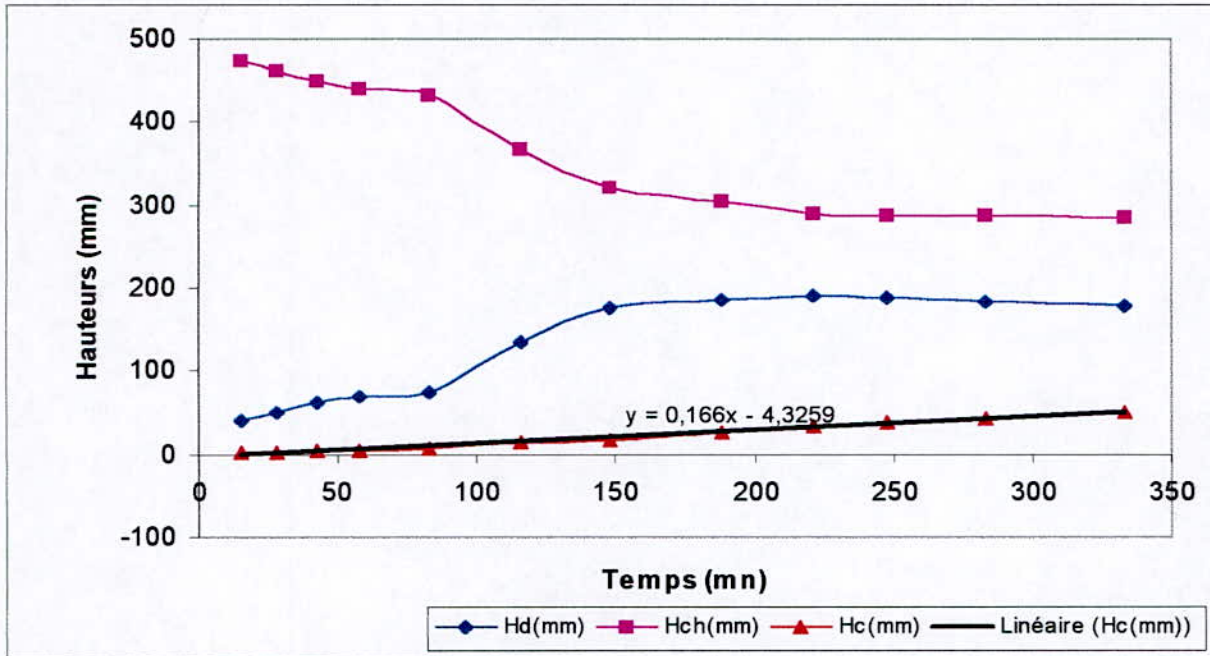


Graph N° 30 , Hc, Hd , Hch =f (Tc)

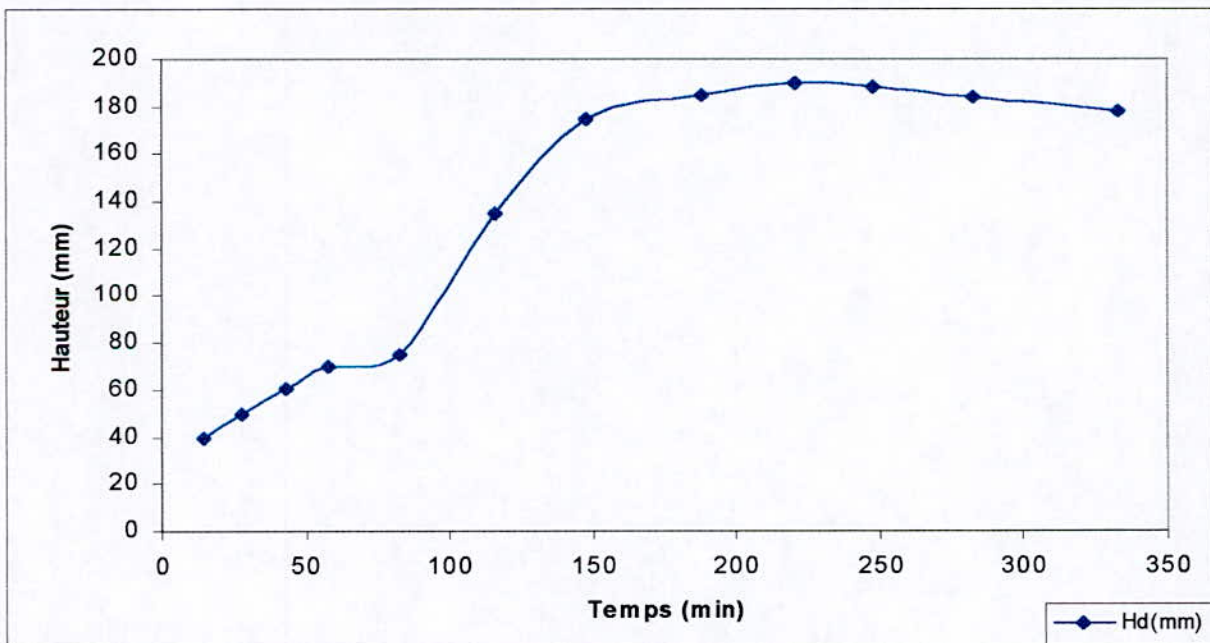


Graph N° 31 , Hd =f (Tc)

Concentration 100 g/l : Troisième essai

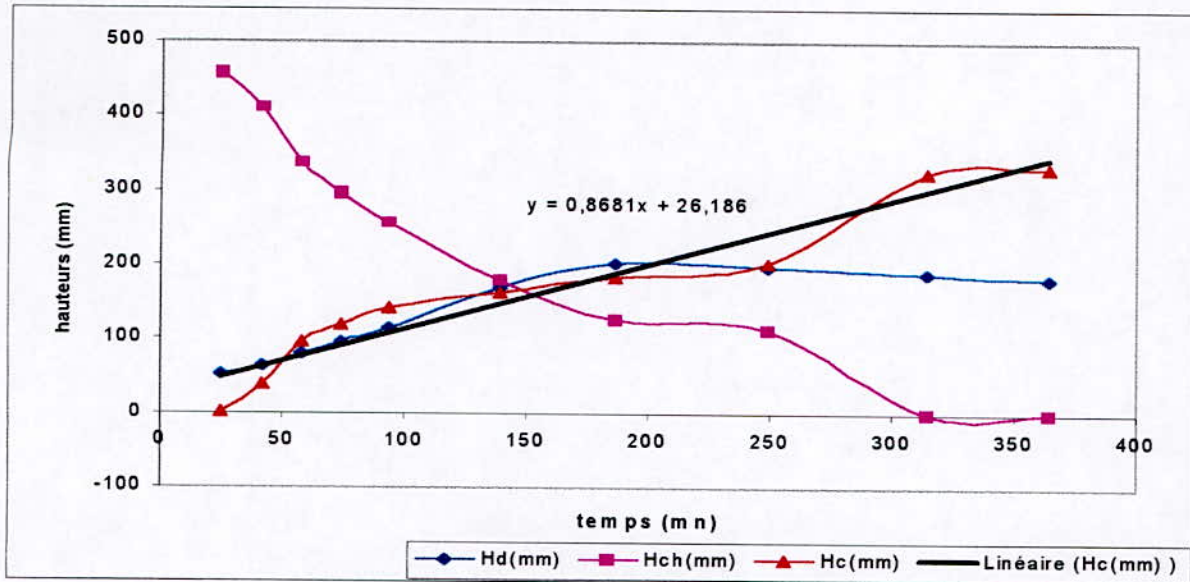


Graphe N° 32, Hc, Hd , Hch =f (Tc)

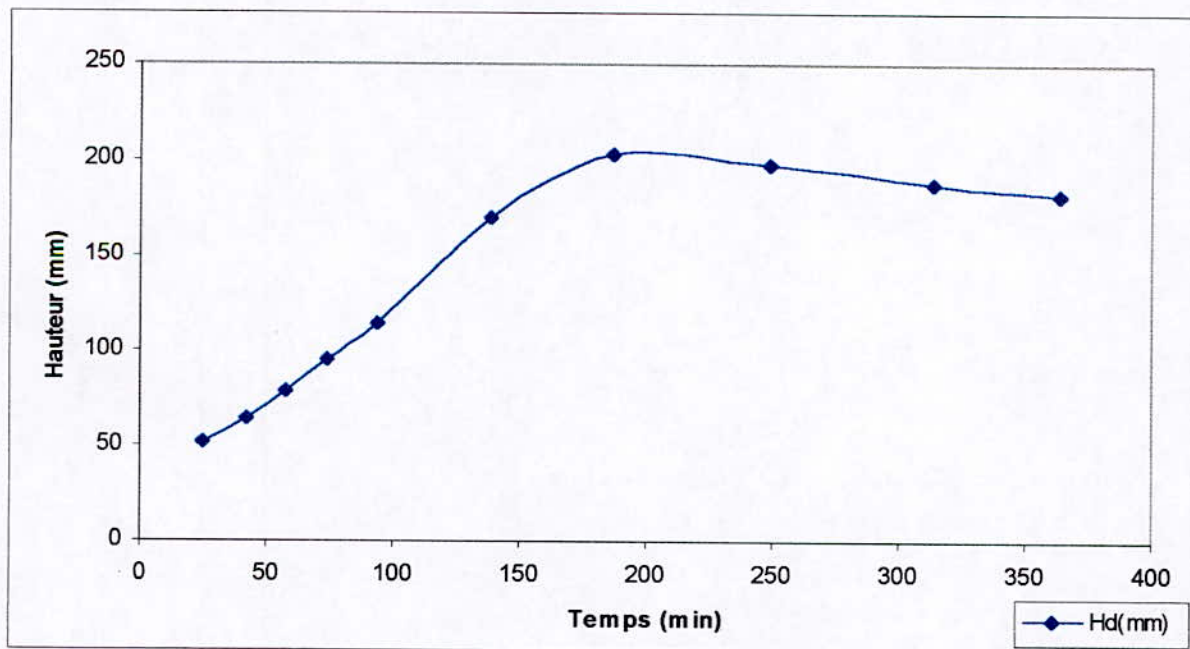


Graphe N° 33 , Hc, Hd , Hch =f (Tc)

b- Les essais de la concentration 150 g/l : Essai N°01

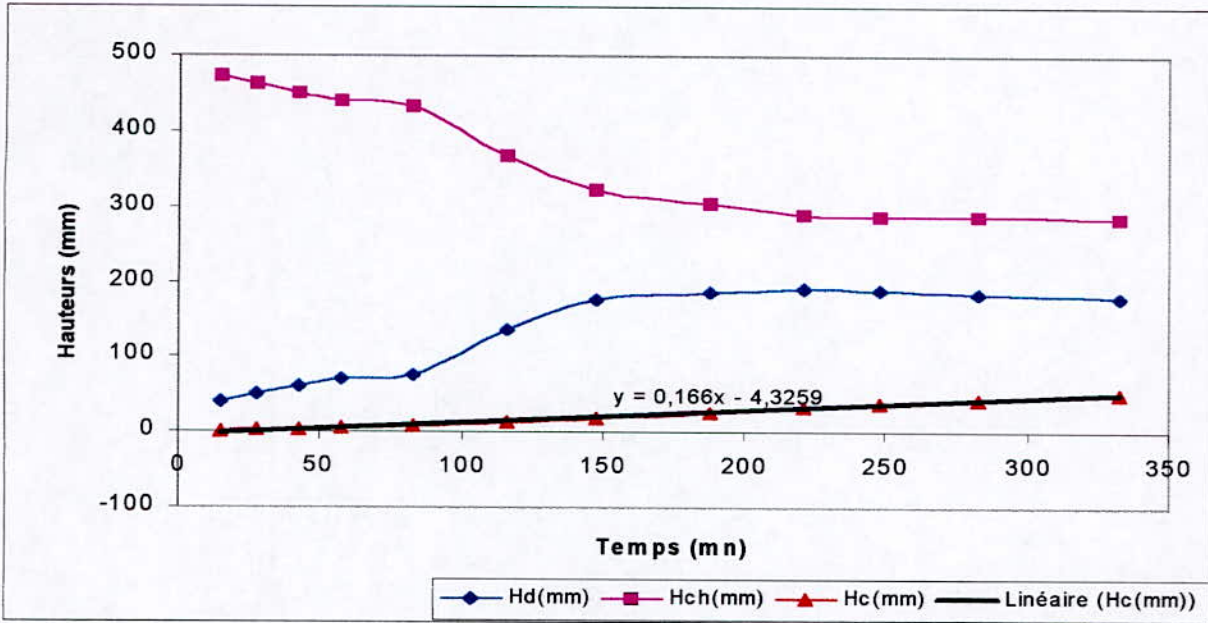


Graphe N°34 , Hc,Hch , Hd = f(Tc)

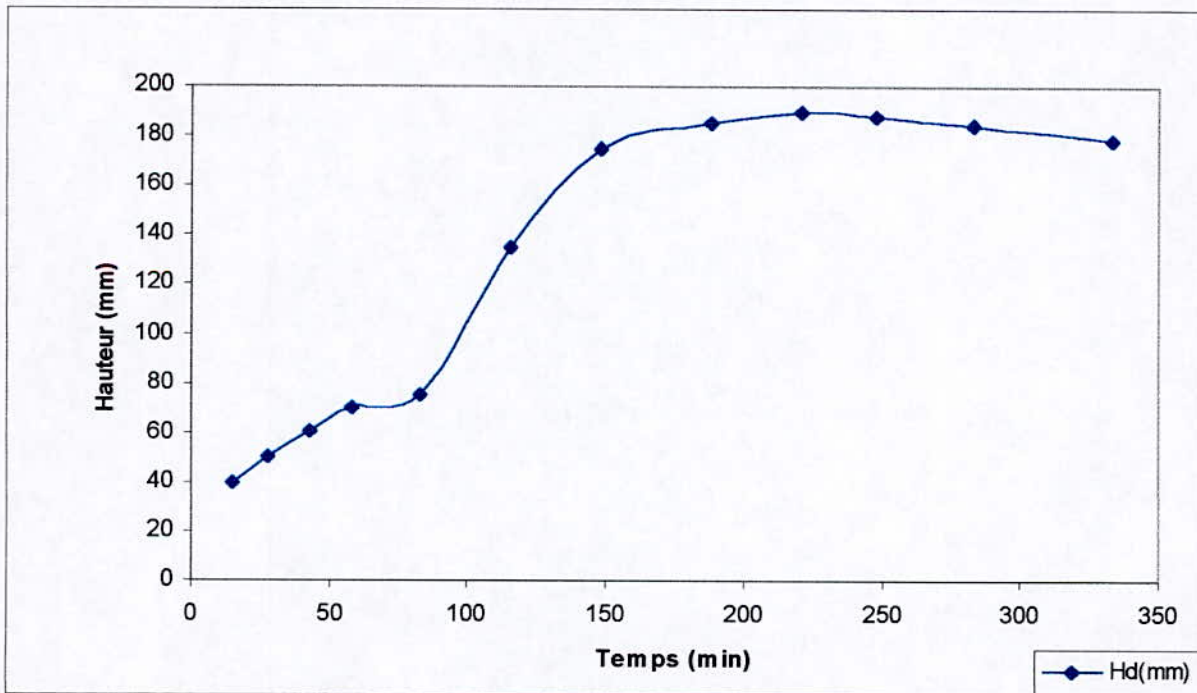


Graphe N°35 , Hd = f(Tc)

Concentration 150 g/l , Essai N° 02

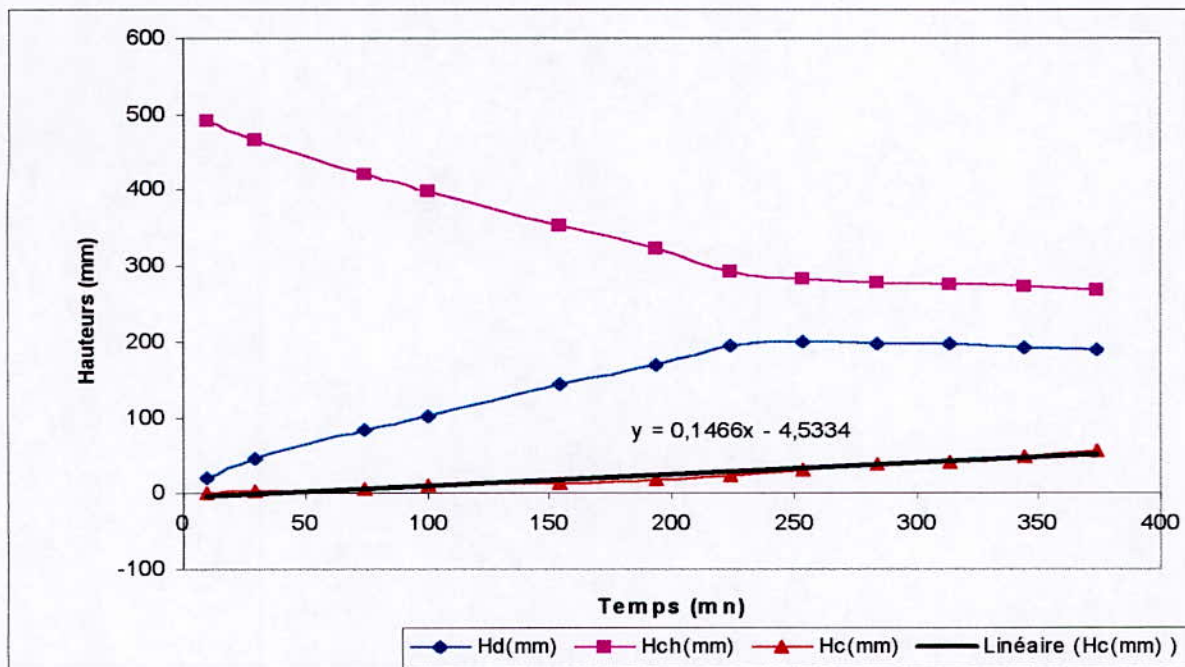


Graphe N°36 , Hc,Hch , Hd = f(Tc)

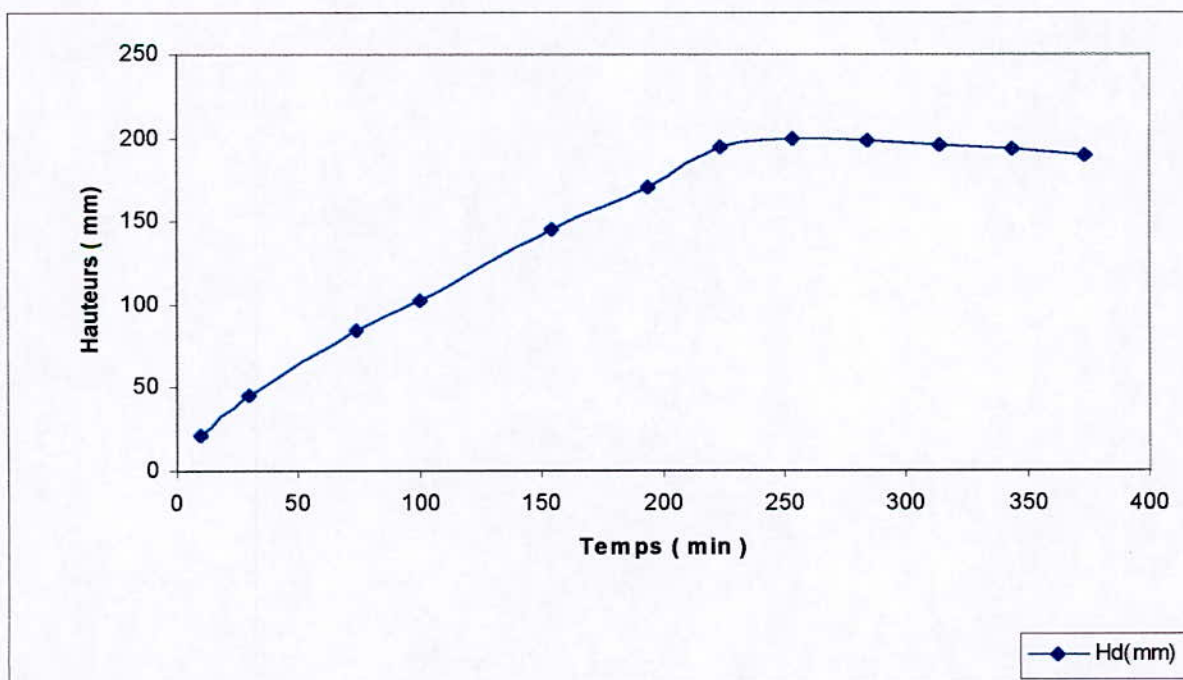


Graphe N°37 , Hd = f(Tc)

Concentration 150 g/l , Essai N°03

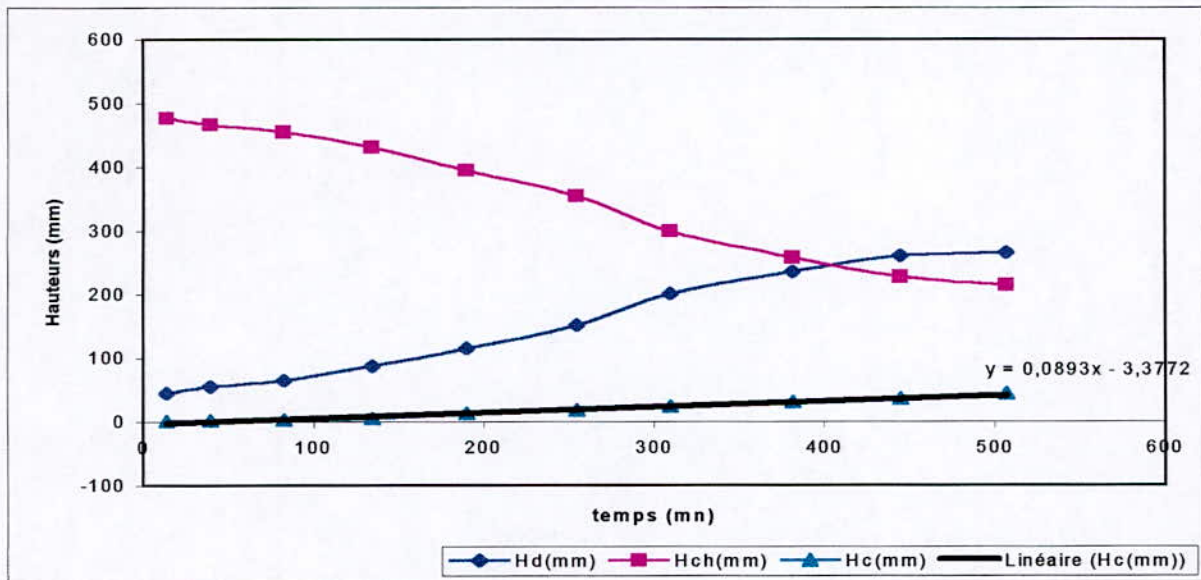


Graphe N°38 , Hc,Hch , Hd = f(Tc)

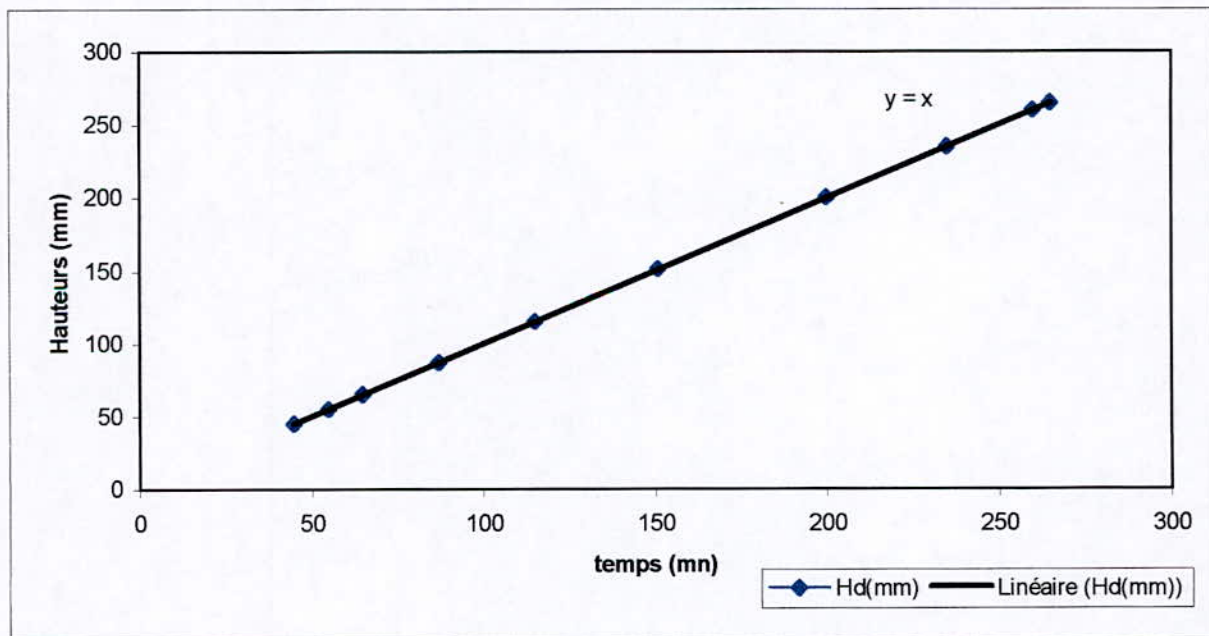


Graphe N°39 , Hd = f(Tc)

c- Les essais de la concentration C= 200 g/l : Premier essai

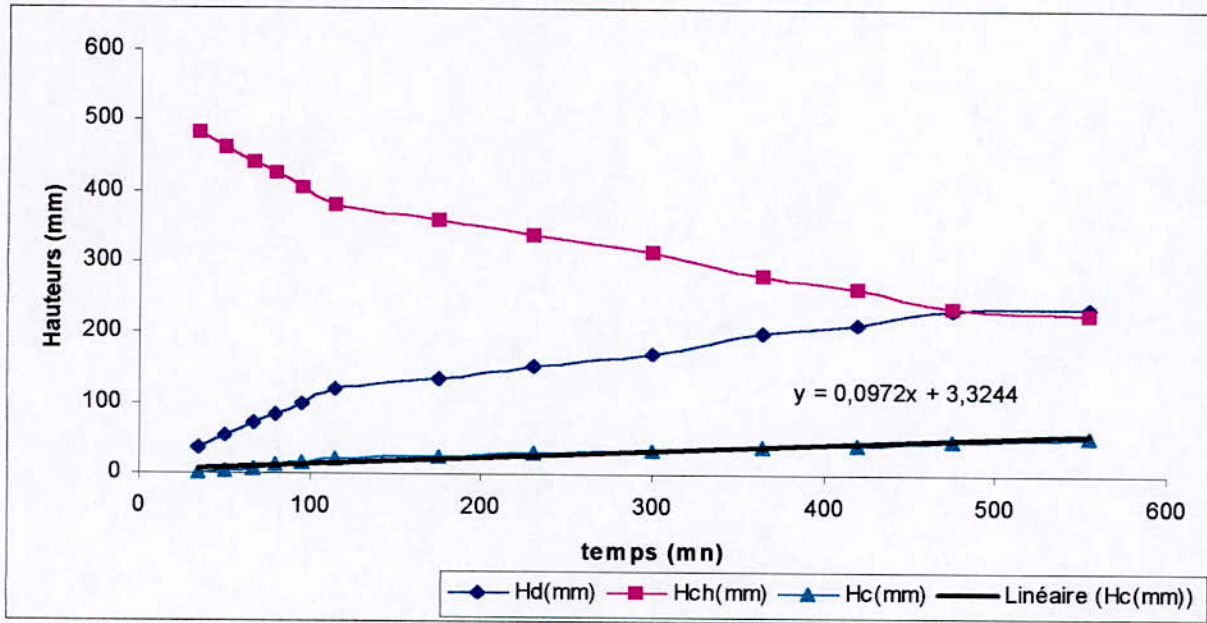


Graphe N° 43 , Hc, Hch, Hd = f(Tc)

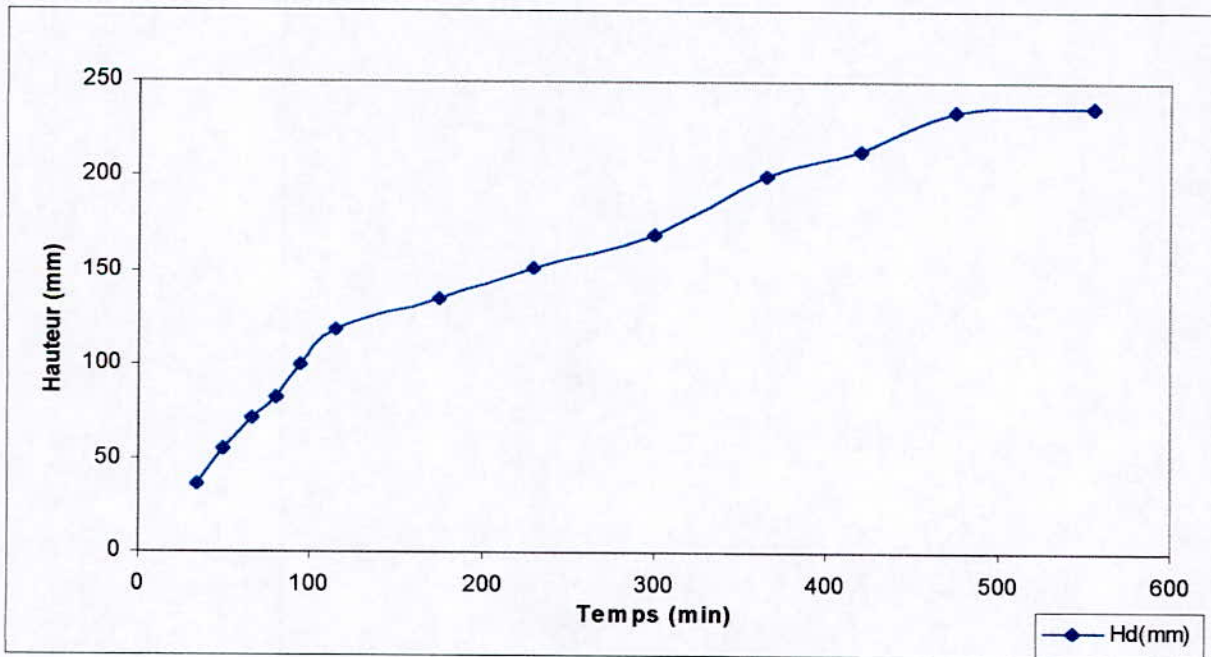


Graphe N°44 : Hd =f(Tc)

Concentration C=200 g/l , Deuxième essai

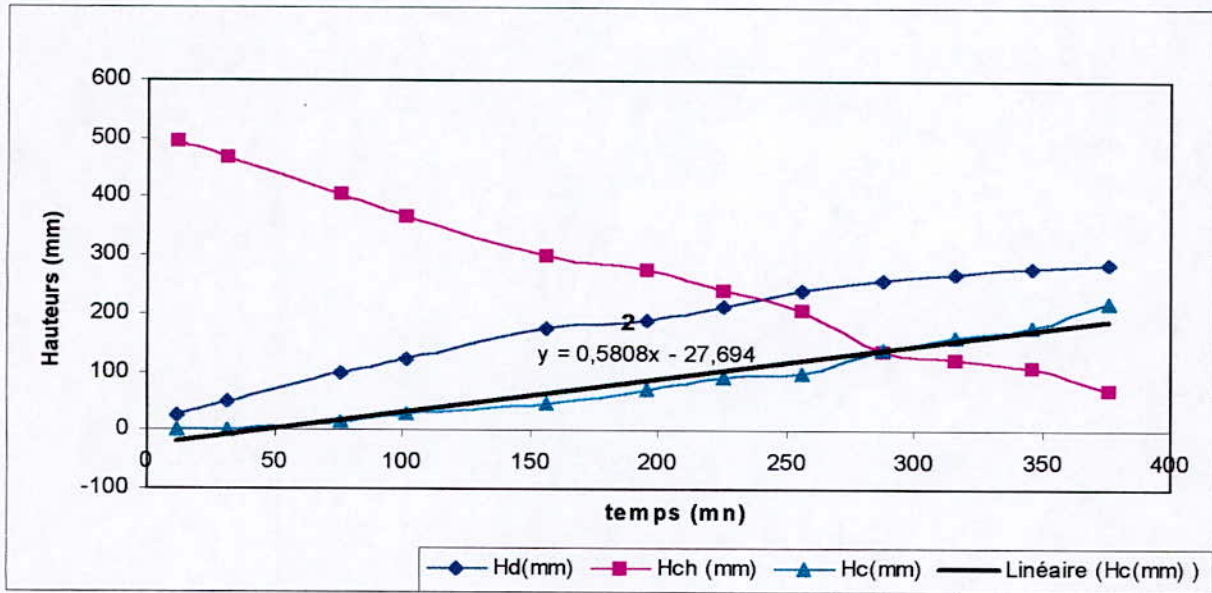


Graphe N° 45 , Hc, Hch, Hd = f(Tc)

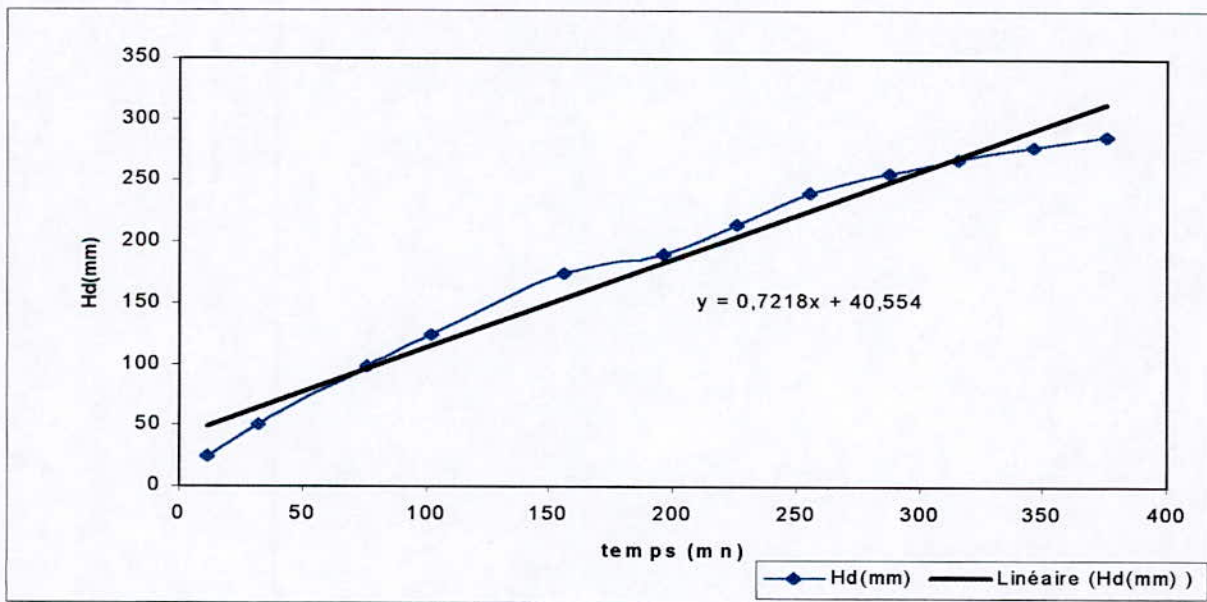


Graphe N° 46 , Hd=f(Tc)

Concentration 200 g/l , Troisième essai



Graphe N°47 , Hc, Hd, Hch = f(Tc)



Graphe N°48 , Hc, Hch, Hd =f(Tc)

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

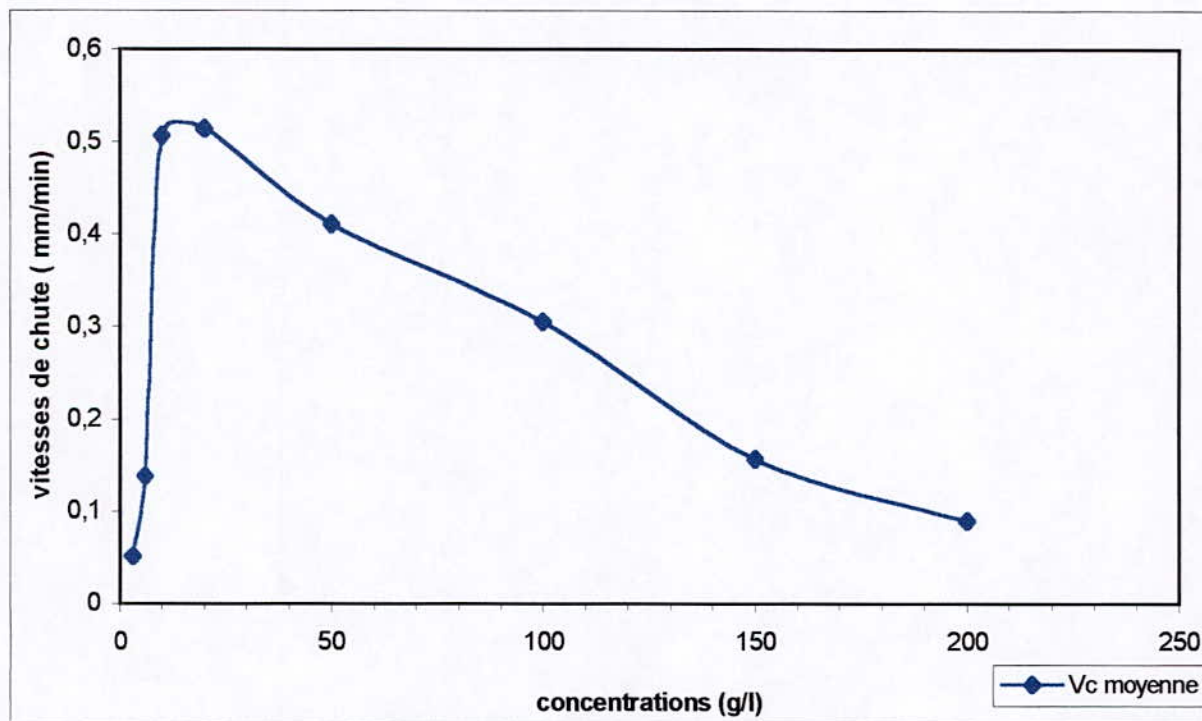
Etude de la vitesse de chute :

2

C(g/l)	Vc1(mm/min)	Vc2(mm/min)	Vc3(mm/min)	Vc moyenne
3	0,034	0,07	0,151	0,052
6	0,123	0,154	0,051	0,1385
10	0,472	0,553	0,496	0,507
20	0,536	0,252	0,492	0,514
50	0,418	0,292	0,404	0,411
100	0,214	0,243	0,396	0,305
150	0,147	0,868	0,166	0,1565
200	0,089	0,0897	0,581	0,08935

Tableau des valeurs expérimentales des vitesses de chute moyennes

N.B : Les valeurs notées en rouge ne sont pas prises en considération dans le calcul de la moyenne à cause du grand écart par rapport aux autres valeurs.



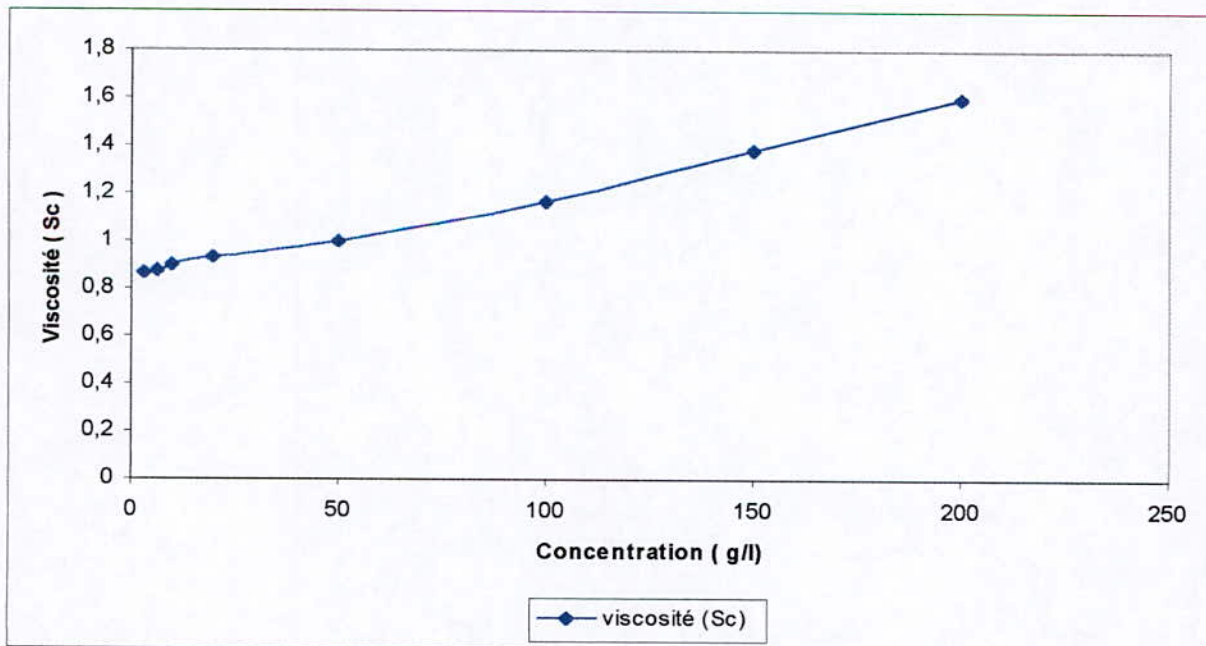
**Graphe N° 49 , $V_c = f(C)$
La vitesse de chute en fonction de la concentration**

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

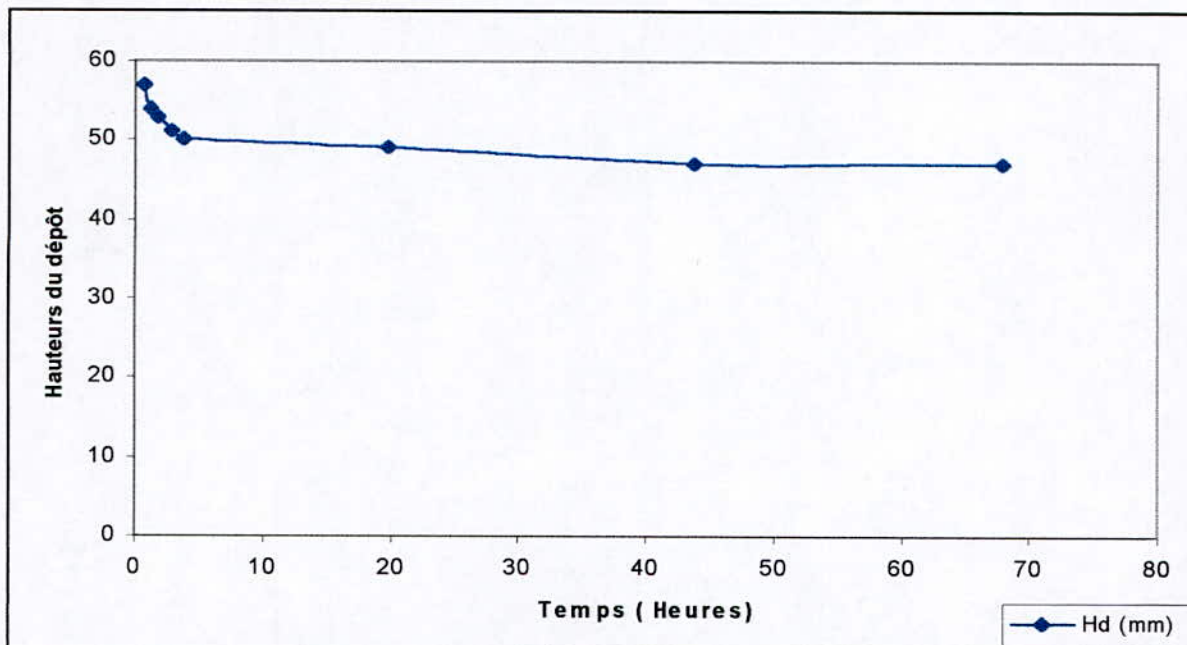
Etude de la viscosité :

C(g/l)	Viscosité 1	viscosité 2	viscosité 3	viscosité (Sc)
3	0,8709	0,8618	0,8594	0,86403333
6	0,871	0,875	0,886	0,87733333
10	0,8894	0,9091	0,89	0,89616667
20	0,9441	0,9384	0,93	0,9375
50	1,0259	0,9837	0,9953	1,00163333
100	1,1593	1,1197	1,2088	1,1626
150	1,4028	1,3638	1,3712	1,37926667
200	1,6253	1,5557	1,6078	1,59626667

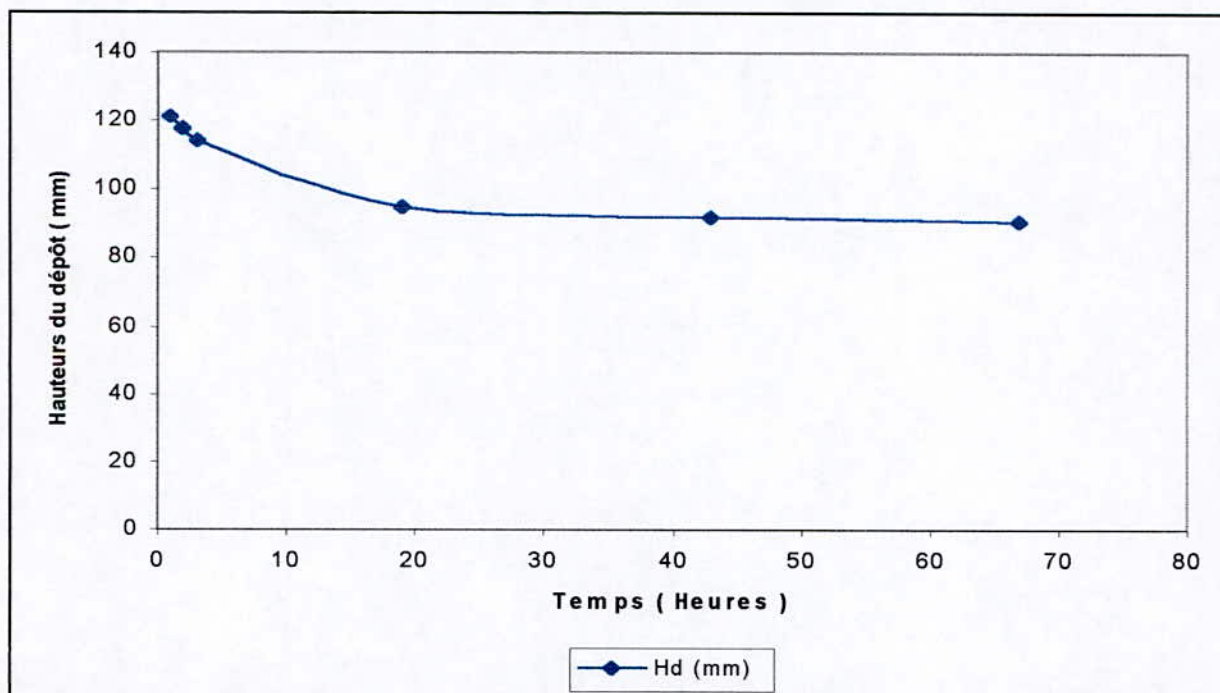
Tableau des valeurs expérimentales de la viscosité



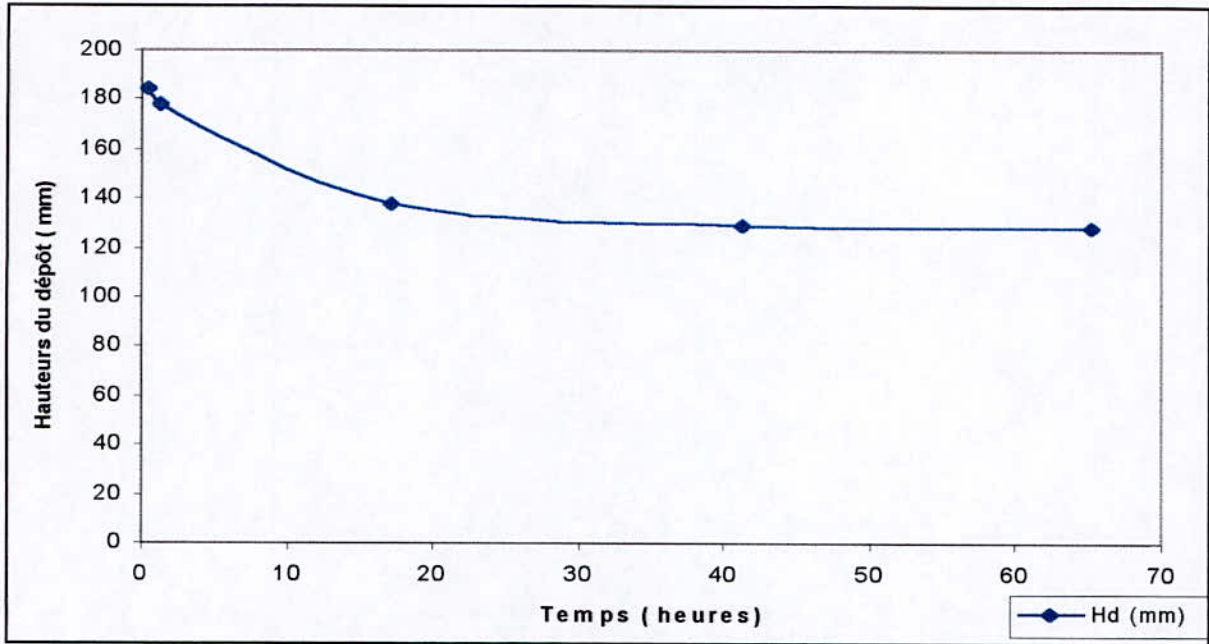
V.2. Evolution des tassements en fonction du temps :



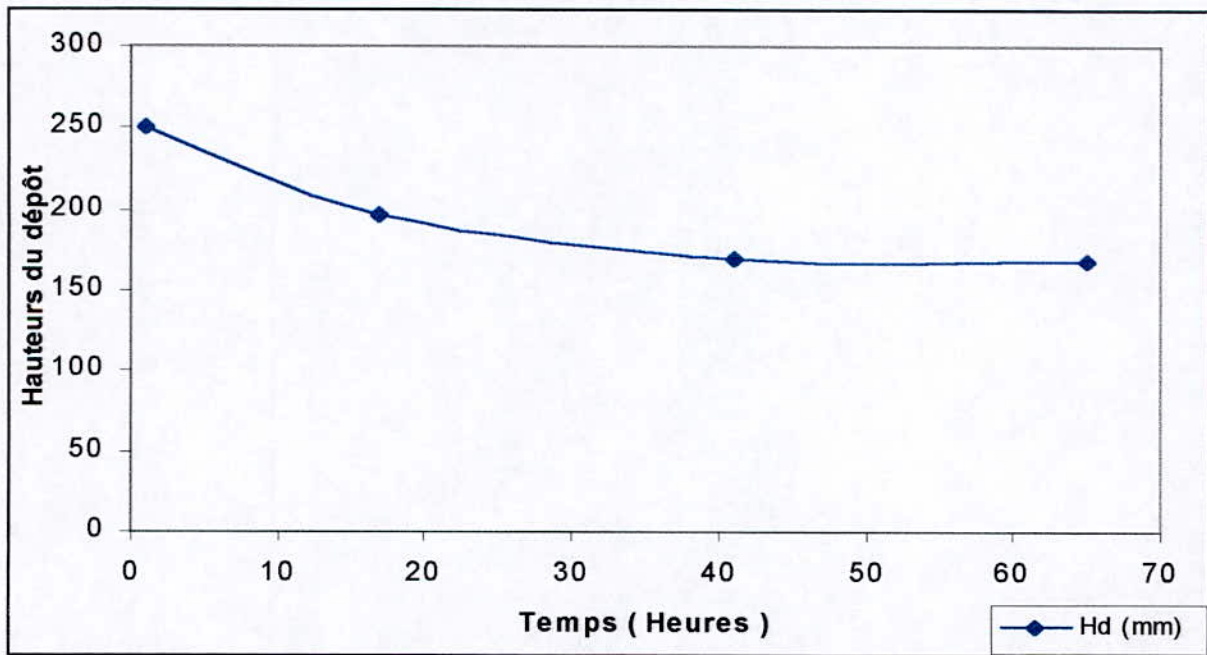
Graphe N° 51 $H_d = f(T_c)$, concentration 50 g/l



Graphe N° 47 , $H_d = f(T_c)$, Concentration 100 g/l



Graphe N° 48 , Hd = f(Tc) , Concentration 150 g/l



Graphe N° 52 , Hd =f(Tc) , Concentration 200 g/l

V.3. Interprétation des résultats :

1- Influence de la concentration sur la vitesse de chute :

les graphes $H_c = f(T_c)$, $H_{ch} = f(T_c)$, $H_d = f(T_c)$, sont tracés pour des différentes concentrations qui sont présentées sous forme de trois paliers :

1^{er} palier : des faibles concentrations [graphes de 1 à 18] :

Dans cette série de graphes 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 dû à la répartition dispersée des éléments péloïtiques .

2^{ème} palier des moyennes concentrations [graphes de 19 à 28] :

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.

3^{ème} palier des fortes concentrations [graphes de 29 à 46] :

Malgré la forte concentration dans ce palier , mais en 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).

Vitesses de chute :

On remarque sur le graphe N°(49) , 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 palier (faibles concentrations) jusqu'à un seuil critique , ou elle prend des valeurs maximales peut être dix (10) fois supérieur à celle de la concentration 3g/l.

« La floculation et la vitesse de chute des flocons sont très sensibles à la concentration de la suspension en particules solides . En milieu floculant, elle augmente progressivement avec la teneur en sédiments secs dans la suspension , jusqu'à un seuil critique de concentration voisin de 15g/l.

A cette concentration ,la vitesse de chute des flocons peut être dix fois supérieure à celle que l'on aurait pu mesurer sur des suspensions à 1 ou 2 g/l.

Par contre au-delà du seuil critique de floculation (15g/l environ) ,
La vitesse de chute des flocons devient entravée et à diminuer.[1]

D'après les essais, on remarque que pour les grandes concentrations la vitesse de chute tend à diminuer progressivement en fonction de la teneur en sédiments secs, cette diminution de la vitesse est dû au dépôt des sédiments qui est plus rapide que la hauteur de la frange décantée au sommet du tube.

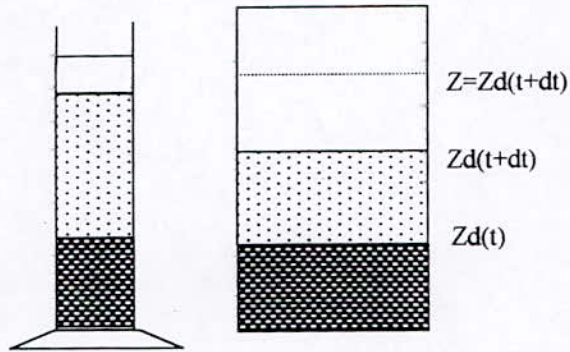
Pendant le temps « dt » le dépôt se cherche sur une hauteur $Z_d(t+dt)$, c'est à dire les suspensions se trouvent à l'instant t entre le profil horizontal d'altitude $Z_d(t+dt)$ et le profil $Z=Z_d(t+dt) + V_c dt$ à l'instant « t ».

$$dZ_d = \frac{c}{1-p} dZ_d + \frac{cV_c}{1-p} dt$$

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

D'où :

$$\frac{dZ_d}{dt} = \frac{cV_c}{1-p-c}$$



pour c très petit $\frac{dZ_d}{dt}$ est voisin de $\frac{c}{1-p} V_c$.

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

$$\frac{c}{1-p-c} = 1 \quad 2c = 1-p \quad c = \frac{1-p}{2}$$

Application numérique :

$$\begin{aligned} P = 50\% & \quad c = 25\% \\ P = 60\% & \quad c = 30\% \end{aligned}$$

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

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

est ce que $C = \frac{\Omega_{sol}}{\Omega_{tot}}$ où $C = \frac{\Omega_{sol}}{\Omega_{lq}}$

A la confection du mélange on prend $C_1 = \frac{\Omega_{sol}}{\Omega_{lq}}$ avec :

$$\Omega_{sol} = \frac{m_s}{\rho_s}$$

Dans la décantation c'est plutôt $C_2 = \frac{\Omega_{sol}}{\Omega_{tot}} = \frac{\Omega_{sol}}{\Omega_{sol} + \Omega_{lq}}$

$$C_2 = \frac{C_1}{1 + C_1}$$

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 tel mouvement sensible de l'eau lors du dépôt des fortes concentrations ?

Il faut réellement raisonner en système diphasique.

Dans la tranche $[Zd(t), Zd(t+dt)]$ à 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 moue;

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

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

Le volume chassé est :

$$(1-C_2) - P$$

où :

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

P : le volume d'eau final ;

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

$$[1 - c_2 - P] \frac{dZd}{dt} = \Phi_1 \text{ flux d'eau vers le haut à travers le profil } Zd(t+dt).$$

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

$$\varphi = c_2 V_c$$

d'où : $\varphi_1 = c_2 V_c$ ce qui était évident à prouver.

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

Dans la tranche clarifiée dZc , il y a perte de volume solide, $c_2 dZc$ 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 :

$$V_a = \frac{c_2 V_c}{1 - c_2}$$

La vitesse de chute relative est donc :

$$V_g = V_c + \frac{c_2}{1 - c_2} V_c = \frac{V_c}{1 - c_2}$$

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 : $\frac{dZd}{dt} = \frac{C_2}{1 - P - C_2} V_c$

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

$$\frac{C_2}{1 - P - C_2}$$

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 $C_2 = 0.1$

$$\frac{1}{V_c} \cdot \frac{dZd}{dt} = \frac{0.1}{0.3} = 0.33$$

mais si $P = 0.5$ et $C_2 = 0.3$

$$r = \frac{1}{V_c} \cdot \frac{dZd}{dt} = \frac{0.3}{0.2} = 1.5$$

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 :

$$r = \frac{1}{V_c} \cdot \frac{dZd}{dt} = \frac{0.05}{1 - 0.9 - 0.05} = 1$$

On peut tracer le graphe du rapport « r » en fonction de P et C₂ 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 :

$$1 - P = C_2 \frac{Zc + Zd}{Zd}$$

$$1 - P = C_2 + C_2 \frac{Zc}{Zd}$$

$$P = 1 - C_2 - C_2 \frac{Zc}{Zd}$$

si Zc = Zd , P = 1-2C₂.

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.

Mais faire intervenir le temps peut permettre de tenir compte de manière variationnelle de la variation de la porosité dans l'espace et dans le temps , par suite du tassement on tenant compte du « poids » déjaugé (ρ_s-ρ)dΩ.

Résumons quelles sont les informations expérimentales dont on va disposer :

- 1- le graphe Zc(t) du front de clarification qui normalement donne la vitesse apparente de chute V_c (à laquelle correspond une vitesse de glissement V_g = V_c/(1-C₂).
- 2- le graphe Zd(t) qui fournit dZd/dt et qui intègre l'intervention de la porosité en surface du cake .

$$\frac{dZd}{dt} = \frac{C_2}{1 - P - C_2} V_c$$

C₂ : étant connu , le graphe Zc(t) fournit V_c , le graphe dZd/dt fournit P en surface , mais non car le tassement en profondeur va réduire la vitesse du front de dépôt .

Si la porosité se réduit dans le dépôt , il y a encore expulsion d'eau vers le haut .

II- Evolution de la viscosité en fonction de la concentration :

Le deuxième paramètre qui rentre dans toute étude du comportement hydrodynamique est la viscosité, on a essayé d'établir d'une manière expérimentale l'évolution de ce paramètre en fonction de la concentration.

Les résultats obtenus sont présentés sur le graphe N° 50 .

On remarque que la viscosité est proportionnelle avec la teneur en sédiments fins ce qui peut s'expliquer par l'augmentation des forces de frottement entre les particules en suspension.

Conclusion

D'après ce qu'on a vu sur les mécanismes d'envasement et les conséquences causées par ce phénomène, on peut dire que, l'envasement des barrages qui pose de sérieux problèmes aux gestionnaires de l'eau, s'effectue essentiellement par l'apport solide constitué de particules fines maintenues en suspension.

Ce mélange (sol-eau) qui a un comportement très variable dans l'espace et dans le temps, nécessite des études très précises pour connaître ces différentes caractéristiques hydrodynamiques, et pour se faire une idée sur le comportement des éléments péltiques de ce mélange.

Donc, on peut affirmer que la proposition des conditions d'utilisation des différents moyens de lutte contre l'envasement doit se baser sur cette étude poussée de ces matières en suspension et leur comportements dans les milieux aqueux.

Notre étude consiste à déterminer d'une manière expérimentale l'effet des caractéristiques hydrodynamiques, sur le comportement des mixtures (vitesse de chute, viscosité, tassement ...), et de faire un premier pas dans l'étude des paramètres du comportement rhéologique des vases.

Ces paramètres qui sont : la vitesse de chute des matières en suspension, la viscosité et le taux de tassement du dépôt, sont évalués en fonction de la concentration qui consiste le variable primordial dans cette étude.

La vitesse de chute qui a été déduite du graphe des différentes phases de décantation en fonction du temps cumulé varie d'une manière proportionnelle avec la concentration jusqu'à un seuil critique ou elle va diminuer (dans les fortes concentrations), ce qui a été expliqué précédemment par la présence d'un flux liquide, lors de la décantation des sédiments, dirigé vers le haut et qui empêche les particules élémentaires de se décanter correctement.

Dans l'étude de la viscosité, et d'après les résultats obtenus, la viscosité est proportionnelle à la concentration quelque soit cette dernière, et les forces de frottements augmentent au fur et à mesure avec la teneur en sédiments des éléments fins.

Le taux de tassement du dépôt, est en fonction du temps, la nature des éléments fins, et le milieu aqueux, ainsi avec d'autres paramètres qu'on a pas pu les mesurer vu le manque du matériel.

Les caractéristiques qu'on a étudié peuvent être rattachés, par la suite à la détermination d'autres paramètres tels que la concentration critique qui nous permet de soutirer le maximum de volume de vase avec une faible perte d'eau, la détermination des pentes d'équilibres qui se basent sur le taux de solidification ainsi que l'élaboration des modèles physiques ou mathématiques des mécanismes hydrodynamiques de l'évolution du delta de vase.

ANNEXES

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(min)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hc(mm)	Hch(mm)	Hd(mm)
30	2	482	482	0	480	2
47	2,5	482	482	0	479,5	2,5
57	3	482	482	0	479	3
68	3	482	482	0	479	3
80	3	482	482	0	479	3
114	4	482	482	0	478	4
136	4	482	482	0	478	4
150	4,5	482	482	0	477,5	4,5
177	4,5	482	482	0	477,5	4,5
213	5	482	482	0	477	5
244	6	479	482	3	473	6
242	6	478	482	4	472	6
303	6	476	482	6	470	6
320	6,5	474	482	8	467,5	6,5
350	7	470	482	12	463	7
410	7,5	466	482	16	458,5	7,5
440	7,5	460	482	22	452,5	7,5
1100	8	448	482	34	440	8
1160	8	448	482	34	440	8
1219	8	445	482	37	437	8
1280	8	440	482	42	432	8

Tableau N° 01, concentration 3g/l , Essai N°01

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(min)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hc(mm)	Hch(mm)	Hd(mm)
155	4	482	483	1	478	4
275	4	476	483	7	472	4
395	6	475	483	8	469	6
501	6,5	470	483	13	463,5	6,5
1409	7	455	483	28	448	7
1700	6,5	380	483	103	373,5	6,5
1815	6	360	483	123	354	6
1925	6	346	483	137	340	6

Tableau N° 02 , concentration C = 3g/l , Essai N° 02

Tc(mn)	Zd(mm)	Zch (mm)	Zc(mm)	Hd (mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
10	2	475	485	2	473	10
20	2	471	485	2	469	14
50	3	463	485	3	460	22
68	4	461	485	4	457	24
101	4	459	485	4	455	26
131	4,5	445	485	4,5	440,5	40
187	5	437	485	5	432	48
237	5	432	485	5	427	53
291	6	430	485	6	424	55
354	6	425	485	6	419	60
410	6	415	485	6	409	70
439	6	400	485	6	394	85

Tableau N° 03 , concentration C = 3g/l , Essai N° 03.

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc	Zd	Zch	Zc	Hc	Hch	Hd
155	9	490	490	0	481	9
275	9,5	485	490	5	475,5	9,5
395	10	455	490	35	445	10
495	10,5	450	490	40	439,5	10,5
1415	11	380	490	110	369	11
1595	11	340	490	150	329	11
1707	11	310	490	180	299	11
1833	10,5	270	490	220	259,5	10,5
1943	10	245	490	245	235	10

Tableau N° 04 , concentration C = 6g/l , Essai N° 01

Tc (mm)	Zd (mm)	Zch (mm)	Zc (mm)	Hd(mm)	Hch	Hc (mm)
8	3	487	489	3	484	2
33	6	485	489	6	479	4
59	7	481	489	7	474	8
75	8	477	489	8	469	12
98	8	472	489	8	464	17
126	9	467	489	9	458	22
161	9,5	460	489	9,5	450,5	29
208	10	449	489	10	439	40
254	10	438	489	10	428	51
309	10	434	489	10	424	55
379	10	428	489	10	418	61
445	10	421	489	10	411	68
520	11	413	489	11	402	76

Tableau N° 05 , concentration C = 6g/l , Essai N°02

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc (mn)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch	Hc (mm)
34	4	492	492	4	488	0
48	4,5	492	492	4,5	487,5	0
58	5,5	492	492	5,5	486,5	0
80	6	492	492	6	486	0
91	6	492	492	6	486	0
122	7	492	492	7	485	0
147	8	492	492	8	484	0
160	8	492	492	8	484	0
188	9	492	492	9	483	0
210	9	492	492	9	483	0
252	10	488	492	10	478	4
280	10	485	492	10	475	7
314	10,5	482	492	10,5	471,5	10
330	10,5	480	492	10,5	469,5	12
360	10,5	476	492	10,5	465,5	16
390	10,5	471	492	10,5	460,5	21
420	10,5	468	492	10,5	457,5	24
1080	11	454	492	11	443	38
1140	11	453	492	11	442	39
1200	11	450	492	11	439	42
1260	11	442	492	11	431	50
1320	11	435	492	11	424	57
1380	10,5	427	492	10,5	416,5	65
1440	10,5	416	492	10,5	405,5	76
1502	10,5	409	492	10,5	398,5	83
1532	10	405	492	10	395	87

Tableau N° 06 , concentration C = 6 g/l , Essai N° 03

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
20	5	483	483	5	478	0
35	10	477	483	10	467	6
45	11	469	483	11	458	14
57	12	458	483	12	446	25
72	13	446	483	13	433	37
92	14	432	483	14	418	51
112	14	417	483	14	403	66
132	15	402	483	15	387	81
152	15	384	483	15	369	99
197	15	377	483	15	362	106
242	15	361	483	15	346	122
287	15	359	483	15	344	124
325	15	342	483	15	327	141

Tableau N° 07 , concentration C = 10 g/l , Essai N° 01

Tc	Zd	Zch	Zc	Hd	Hch	Hc
48	14,5	478	482	14,5	463,5	4
59	14,5	476	482	14,5	461,5	6
89	15	466	482	15	451	16
110	15	455	482	15	440	27
124	15	440	482	15	425	42
150	15	425	482	15	410	57
170	15	409	482	15	394	73
213	15,5	395	482	15,5	379,5	87
230	15,5	371	482	15,5	355,5	111
258	15,5	360	482	15,5	344,5	122
299	15,5	349	482	15,5	333,5	133
320	15,5	336	482	15,5	320,5	146

Tableau N°8 , concentration C=10 g/l Essai N° 02

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc	Zd	Zch	Zc	Hc	Hch	Hd
164	12	478	480	2	466	12
181	13	469	480	11	456	13
203	13,5	450	480	30	436,5	13,5
235	14	425	480	55	411	14
301	14,5	399	480	81	384,5	14,5
365	13,5	376	480	104	362,5	13,5
415	13	345	480	135	332	13
465	12,5	321	480	159	308,5	12,5
500	12	302	480	178	290	12
540	12	281	480	199	269	12
598	12	263	480	217	251	12

Tableau N° 09 , Concentration C= 10 g/l , Essai N° 03

Tc(mn)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hc(mm)	Hch(mm)
10		486	486	0	
55		485	486	1	
96		484	486	2	
132		482	486	4	
183		480	486	6	
278		476	486	10	
327		445	486	41	
353		400	486	86	
393		380	486	106	
468		366	486	120	
503		350	486	136	

Tableau N°10 , Concentration C=20 g/l , Essai N° 01

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mn)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hc(mm)
10	483	485	2
30	475	485	10
75	473	485	12
126	455	485	30
186	445	485	40
253	420	485	65
300	410	485	75

Tableau N° 11 , Concentration C = 20 g/l , Essai N° 02

Tc(mn)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hc(mm)
28	484	484	0
43	480	484	4
61	475	484	9
75	469	484	15
90	458	484	26
105	447	484	37
120	438	484	46
140	427	484	57
165	418	484	66
198	403	484	81
217	385	484	99
245	373	484	111
292	369	484	115

Tableau N°12 , Concentration C= 20 g/l , Essai N° 03

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
36	140	487	492	140	347	5
44	114	482	492	114	368	10
50	109	480	492	109	371	12
58	85	475	492	85	390	17
67	80	470	492	80	390	22
72	78	463	492	78	385	29
79	76	456	492	76	380	36
94	73	445	492	73	372	47
104	71	440	492	71	369	52
111	69	435	492	69	366	57
121	68	429	492	68	361	63
130	67	421	492	67	354	71
162	63	413	492	63	350	79
180	62	406	492	62	344	86
199	60	399	492	60	339	93
228	58	391	492	58	333	101
245	57,5	385	492	57,5	327,5	107
259	57	377	492	57	320	115
284	56	371	492	56	315	121
305	54	360	492	54	306	132
332	54	349	492	54	295	143
392	52	339	492	52	287	153
422	51	325	492	51	274	167

Tableau N° 13, Concentration C= 50 g/l , Essai N° 01

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
33	35	488	490	59	453	2
40	43	486	490	60	443	4
49	52	482	490	74	430	8
56	61	477	490	76	416	13
71	65	469	490	71	404	21
98	71	460	490	68	389	30
125	71	452	490	65	381	38
155	70	443	490	63	373	47
200	64	435	490	56	371	55
256	58	425	490	55	367	65

Tableau N° 14 , Concentration C= 50 g/l , Essai N° 02

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch (mm)	Hc(mm)
45	35	488	490	35	453	2
60	43	486	490	43	443	4
76	48	485	490	48	437	5
90	51	479	490	51	428	11
109	59	472	490	59	413	18
123	61	465	490	61	404	25
138	64	458	490	64	394	32
164	65	449	490	65	384	41
194	64	440	490	64	376	50
223	61	432	490	61	371	58
251	60	423	490	60	363	67
282	58	402	490	58	344	88
305	57	385	490	57	328	105
342	55	373	490	55	318	117
365	54	360	490	54	306	130

Tableau N° 15 , Concentration C= 50 g/l , Essai N° 03

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	hc(mm)	Hch(mm)	Hd(mm)
2	11	504	504	0	493	11
4	17	504	504	0	487	17
7	22	504	504	0	482	22
10	28	504	504	0	476	28
13	34	504	504	0	470	34
19	42	504	504	0	462	42
22	46	504	504	0	458	46
27	52	502	504	2	450	52
33	58	501	504	3	443	58
38	61	501	504	3	440	61
43	68	500	504	4	432	68
54	81	492	504	12	411	81
66	92	487	504	17	395	92
78	103	483	504	21	380	103
86	108	475	504	29	367	108
103	111	472	504	32	361	111
118	112	468	504	36	356	112
163	114	465	504	39	351	114
223	118	463	504	41	345	118
253	121	460	504	44	339	121

Tableau N° 16 , Concentration C= 100 g/l , Essai N° 01

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	hd(mm)	hch(mm)	hc(mm)
45	55	502	504	55	447	2
60	65	498	504	65	433	6
76	81	492	504	81	411	12
90	93	488	504	93	395	16
110	106	477	504	106	371	27
123	113	471	504	113	358	33
137	119	468	504	119	349	36
165	125	465	504	125	340	39
195	130	459	504	130	329	45
223	134	456	504	134	322	48
251	132	451	504	132	319	53
285	128	446	504	128	318	58
304	126	440	504	126	314	64
343	123	432	504	123	309	72
364	122	425	504	122	303	79
411	119	410	504	119	291	94
480	114	380	504	114	266	124

Tableau N° 17 , Concentration C= 100 g/l , Essai N° 02

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)	Hd(mm)
39	43	502	503	459	1	43
55	55	500	503	445	3	55
70	78	497	503	419	6	78
90	85	470	503	385	15	85
135	140	468	503	328	35	140
186	148	455	503	307	48	148
246	138	435	503	297	68	138
310	132	390	503	258	113	132
360	126	380	503	254	123	126

Tableau N° 18 , Concentration C = 100 g/l Essai N° 03

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
10	22	513	513	22	491	0
30	45	511	513	45	466	2
74	85	506	513	85	421	7
100	102	501	513	102	399	12
154	145	499	513	145	354	14
194	170	494	513	170	324	19
224	195	489	513	195	294	24
254	200	483	513	200	283	30
284	198	475	513	198	277	38
314	196	471	513	196	275	42
344	193	465	513	193	272	48
374	190	458	513	190	268	55

Tableau N° 19 , Concentration C = 150 g/l , Essai N° 01

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
25	52	511	513	52	459	2
42	65	475	513	65	410	38
58	79	416	513	79	337	97
74	96	394	513	96	298	119
94	115	370	513	115	255	143
139	170	350	513	170	180	163
187	203	330	513	203	127	183
249	198	310	513	198	112	203
314	188	188	513	188	0	325
364	182	182	513	182	0	331

Tableau N° 20 , Concentration C= 150 g/l , Essai N° 02

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
15	40	513	514	40	473	1
28	50	512	514	50	462	2
43	61	511	514	61	450	3
58	70	509	514	70	439	5
83	75	507	514	75	432	7
116	135	501	514	135	366	13
148	175	497	514	175	322	17
188	185	488	514	185	303	26
221	190	480	514	190	290	34
248	188	475	514	188	287	39
283	184	471	514	184	287	43
333	178	463	514	178	285	51

Tableau N° 21 , Concentration C = 150 g/l , Essai N° 03

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
14	45	522	523	45	477	1
40	55	521	523	55	466	2
83	65	520	523	65	455	3
135	87	518	523	87	431	5
190	115	510	523	115	395	13
255	151	505	523	151	354	18
310	200	499	523	200	299	24
382	235	492	523	235	257	31
445	260	487	523	260	227	36
507	265	479	523	265	214	44

Tableau N° 22 , Concentration C = 200 g/l , Essai N° 01

Tc(mm)	Zd(mm)	Zch(mm)	Zc(mm)	Hd(mm)	Hch(mm)	Hc(mm)
35	36	519	520	36	483	1
50	55	517	520	55	462	3
67	72	513	520	72	441	7
80	83	509	520	83	426	11
95	100	504	520	100	404	16
115	119	500	520	119	381	20
175	135	495	520	135	360	25
230	152	491	520	152	339	29
300	170	486	520	170	316	34
365	200	481	520	200	281	39
420	214	477	520	214	263	43
475	235	472	520	235	237	48
555	237	465	520	237	228	55

Tableau N° 23 , Concentration C = 200 g/l , Essai N° 02

Etude expérimentale de la rhéologie des matières en suspension

Tc(mn)	Zd(mm)	Zch (mm)	Zc (mm)	Hd(mm)	Hch (mm)	Hc(mm)
12	25	520	520	25	495	0
32	50	518	520	50	468	2
76	98	504	520	98	406	16
102	124	490	520	124	366	30
156	175	475	520	175	300	45
196	190	465	520	190	275	71
226	215	458	520	215	243	90
256	240	445	520	240	205	100
287,9	243	380	520	257	137	140
316	237	360	520	268	123	160
346	234	343	520	278	109	177
376	230	300	520	286	70	220

Tableau N° 24, Concentration C= 200 g/l , Essai N° 03

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] C . Mignot

Tassements et rhéologie des vases

La houille blanche N° 01/1989

[3] Guobaa Ridha , Rabehi Mouhamed

Etude bathymétrique de la partie néveralgique et la queue du barrage de
FOUM ELGHERZA.

PFE 1992 , Institut d'hydraulique
Centre universitaire de Biskra

[4] 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

[5] M . Bessenasse

Soutirage par vanne de fond : Etude hydraulique et physique

Thèse de magister ENP 191

[6] **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 (Journée scientifique et technique de Genie rural)
Université de Blida le 22/11/1998

[7] **Ramette**

Hydraulique fluviale J.E D.F 1981

[8] **K. Rouiba, A.Derradji Benhadid**

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

PFE ENP 1993