

وزارة الجامعات والبحث العلمي
Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية للتكنولوجيا
BIBLIOTHÈQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT *Hydraulique*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Envasement des retenues :
" Etude d'un dispositif de
récupération de sédiments
decantés."*

Proposé par :

M^r BERKANI. M

Etudié par :

M^r BOUIBA Kamel

Dirigé par :

M^r BERKANI. M

M^r DERRADJI. BENHADJO Aissam M^r REMINI. B

PROMOTION

Juillet 1993

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT *Hydraulique*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Envasement des retenues:
"Etude d'un dispositif de
récupération de sédiments
decantés."*

Proposé par :

M^r BERKANI . M

Etudié par :

M^r BOUIBA . Kamel

M^r DEKRAJJI . BENHADJO Sinan

Dirigé par :

M^r BERKANI . M

M^r REMINI . B

PROMOTION
juillet 1993

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à :

M^r Bekani, chargé de cours à l'ENP,
qui est à l'origine de cette étude, pour
la confiance qu'il a bien voulu nous
accorder en nous confiant ce travail,
pour l'intérêt, l'attention amicale et
critique qu'il a apporté tout au long
de cette étude.

Nous M^r Remini auprès de qui nous
avons trouvé assistance.

Toute l'équipe de laboratoire,
centre de calcul, bibliothèque.

M^r Benzada, M^r Messeli,

M^r Makdi, M^{lle} Benmamar

M^r Saïd « laboratoire ».

M^r Kaïm.

A nos deux familles.

Aux personnes qui ont contribué
de près ou de loin à l'élaboration
de ce projet en particulier :

M^r Hassen, M^r Rouzi, M^r Mesrah.

M^r Charaf, M^{lle} Nadjeïe

المدسة الوطنفة المتمددة الشفهاة
BIBLIOTHEQUE — المكنفةة
Ecole Nationale Polytechnique

DEDIGAGES

A la memoire de mon ami mohamed
A ma Mère et a mon Père
A ma tante Saïdia
A mes frères
A mes soeurs
A tous mes amis (es).

B. Kamel

A la mémoire de mon grand Père.
A mes grands Mères.
A grand Père Dahmane.
A ma mère et a mon Père (Chef)
A mes Frères.
A mes Soeurs.

A M^r Karbiche. B
A M^r Berkani. B
A M^r Hafad. A
A toute la famille de Kamel BOUIBA

A tous mes amis (es), qui
me sont chers

Aissam

**ENVASEMENT DES RETENUES
ENVASEMENT DES RETENUES**

**"Etude d'un dispositif de
recuperation de sediments
decartes"**

RESUME

الملخص:

التقريب العملي التجريبي مبني على أساس الخصائص الفيزيائية لجرف
المواد الصلبة بواسطة جريان الماء ويتمثل هذا العمل فيما:
- جرف المواد الصلبة عن طريق جريان الماء
- الجرف عن طريق الحمل
- التأثير عن طريق تيار الارتساح
هذه الخصائص مع فقد الضغط في أنبوب متقوَّب (عارق) في كتلة تربة
هو نموذج هذا العمل.

RESUME:

L'approche expérimentale (deuxième partie), est conçue sur la base
des propriétés physique du transport solide (première partie), à
savoir :

- l'entraînement des particules solides par l'écoulement liquide;
 - Transport par suspension;
 - l'effet des courants d'infiltration;
- ces propriétés associées aux pertes de charges créées dans une
conduite fendue, noyée dans un massif sédimentaire, constituent
notre étude.

SUMMARY:

The experimental approach (the second part), is based on the
physical proprieties of the solid transport (the first part):

- The entrainment of the solid particules by the flow;
 - The suspended load;
 - The effect of the infiltration courents;
- This proprieties associeted with the lost of energy created in a
pipe , witch have permeted to make the experimental dispositif.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SOMMAIRE

SOMMAIRE

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

- NOTATION

- INTRODUCTION 8

- CHAPITRE I: Quelques éléments sur la récupération de.... 12
matériaux solides decantes.

1.	Moyens de lutte contre la sédimentation	12
1.1	Solutions préventives	12
1.2	Solutions curatives	13
1.2.1	Dragage mécanique	13
1.2.2	Chasses	14
1.2.3	Pièges à sédiments	14
1.2.4	Système proposé: succeuse hydraulique	16

Première partie: Propriétés du transport solide

- CHAPITRE II: Mécanisme du transport solide

2.	Entrainement des particules solides par20 un écoulement liquide	
2.1	Paramètres mis en jeu	23
2.1.1	Paramètres concernant la phase solide	23
2.1.2	Paramètres concernant l'écoulement	25
2.1.3	Paramètres concernant l'interaction fluide-solide	25
2.2	La suspension	27
2.3	Vitesses de chute	28
2.4	Calcul du débit solide	28

- CHAPITRE III: Effet des courants d'infiltration...
sur le transport solide

3.1	Equilibre d'un milieu poreux	31
3.1.1	Effort entre deux particules	31
3.1.2	Effort dans un massif saturé non cohésif.....	32
3.2	Modification des conditions d'entraînement	33
3.3	Ecoulement à travers le massif	34

- Deuxième partie: Etudes expérimentales

- CHAPITRE IV: Installation expérimentale.....38

4.1	Description générale de l'installation	39
4.2	Mesure du débit liquide	40
4.3	Mesure du débit solide	41
4.4	Observations expérimentales	42

- CHAPITRE V: Resultats expérimentaux.....44

5.0	Première série d'essais: observations	44
	du phénomène	
5.1	Influence de la position de la fente	46
5.2	Deuxième série d'essais.....	47
5.2.1	Etude de l'influence de la fente.....	47
	aval bouchée	
5.2.2	Etude de l'influence de la fente.....	47
	amont bouchée	
5.2.3	Etude de l'influence de l'obstacle	48
5.3	Optimisation du fonctionnement	48
5.3.1	Première phase: fente couverte	48
5.3.2	Deuxième phase: fente découverte.....	49
5.4	Conclusions sur les résultats	49
	expérimentaux	

- Troisième partie: Approche mathématique

- CHAPITRE VI: Mise en équation du phénomène.

6.1 Schématisation - définition des paramètres 62

6.2 Equations de l'écoulement dans le tube..... 64

6.2.1 Théorèmes des quantités de mouvements 64

6.2.2 Equations de continuité 65

6.3 Equations de l'écoulement à 65
travers le massif

6.3.1 Equations d'énergie 65

6.3.2 Equation de continuité..... 66

6.4 Système différentiel des lois de l'écoulement... 66

- CONCLUSIONS
- BOBLIOGRAPHIE
- ANNEXES

NOTATION

NOTATIONS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

τ : tension tangentielle

τ : tension tangentielle

W : vitesse de chute

k : coefficient de perméabilité ou coefficient

K : coefficient

e : porosité

φ_s : masse volumique

S : $\frac{\varphi_s}{\varphi}$

φ : masse volumique de l'eau

d : diamètre de la particule

D : diamètre de la conduite

ν : viscosité

U^* : vitesse de friction = $\sqrt{Z/\varphi}$

C : concentration volumique

C_D : coefficient de traînée

i : gradient de pression

R_H : rayon hydraulique

R_e : reynolds

X : équivalent à un nombre de reynolds = $\frac{dU^*}{\nu}$

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La sédimentation accélérée dans les retenues des différents barrages en exploitation, pose de graves problèmes pour le maintien et la préservation du potentiel hydraulique mobilisé à un prix de revient élevé.

Ce phénomène, constitue actuellement une préoccupation essentielle qui met, aussi bien les services d'exploitations et de gestion, que les services de mobilisation des ressources hydrauliques, devant des difficultés supplémentaires du fait que, les procédés de luttés, schématiquement préconisés sous deux aspects:

- prévention
- dévasement

s'avèrent peu efficaces et onereux.

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

Le second aspect, utilise d'une part l'évacuation des sédiments par des vidanges de fond et d'emploi; des courants densités par sous tirage selectif, et d'autre part le devasement mécanique de type "suceuse".

Ce dernier procédé est le plus couramment utilisé notamment lorsque les consignes d'exploitation interdisent toute perte d'eau. Son application à un type de barrage nécessite une connaissance suffisante des causes et des procédures d'envasement liées aux phénomènes de tassement et de consolidation de la vase déposée (étude alluvionométrique).

Une telle connaissance pour le choix économique des moyens à mettre en oeuvre, et de réduire la fréquence de dévasement, ne peut être obtenue que par une amélioration sensible des rendements de moyens mécaniques utilisés; ce point constitue malheureusement un handicap.

Il est à souligner avant de faire appel à ces procédures, que la vidange de fond par ouverture des vannes en période de crue reste un moyen très utilisé malgré, d'une part son efficacité, et d'autre part la perte énorme d'eau soutirée.

Pour remédier à cet inconvénient, et dans le cadre général de l'étude de mécanisme de l'envasement des barrages entreprise par l'équipe de recherche de département, notre travail a pour objectif d'améliorer le phénomène de soutirage par vanne de fond, assurant l'évacuation d'une plus grande quantité de sédiment avec une faible perte d'eau.

A cet effet, et après avoir fait une analyse des différentes approches du transport solide, qui sont causes de l'envasement des retenues, nous suggérons un système d'ajutage entrant formé d'une conduite présentant des fentes, décrit dans la partie expérimentale.

Sur la base des résultats encourageants obtenus dans l'étude des problèmes de transport industriels en conduite des matériaux solides en suspension à haute concentration, notre travail devra répondre à la seule question:

" comment faire entrer les sédiments du delta de vase dans la conduite de transport? "

Notre modèle expérimental conçu pour cet objectif a prouvé que ce n'est pas un problème insoluble.

Les premiers essais nous ont permis de montrer que la quantité de sédiments entraînés par l'écoulement, avec la fente pratiquée dans l'ajutage dirigée vers le bas, et déjà relativement importante, et par conséquent la destruction relative du delta de vase.

CHAPITRE I

**Quelques elements sur la recuperation
de materiaux solides decantes**

Chapitre I

Introduction

Dés que l'on introduit, dans un écoulement naturel, un ouvrage destiné à la régulation, on est confronté à des problèmes de sédimentations. Le contrôle de ce phénomène présente donc un intérêt croissant avec le nombre d'ouvrages réalisés. On peut donc estimer que, chaque année, la sédimentation coûte environ 1% du montant des investissements consentis pour la construction des ouvrages.

L'étude de systèmes de récupération de particules solides, est importante pour trouver:

- des solutions curatives à la sédimentation dans les barrages, réservoirs, canaux;
- des solutions curatives à l'érosion, dans la mesure où une érosion provoquée artificiellement peut être due à une sédimentation à l'amont;
- des solutions à l'alimentation des systèmes de transport de matériaux solides en conduites.

1- Moyens de lutte contre la sédimentation

1-1 Solutions préventives, elles consistent à faire en sorte que les sédiments n'arrivent pas dans l'ouvrage et ceux-ci par

- a- captage des sédiments en amont des retenues;

- b- dérivation des apports solides au delà des retenues
- c- traitement du bassin versant et du lit majeur (défense du sol, reboisement);
- d- traversée des retenues par les apports solides (en suspension) sans y être piégés, cela revient à agir sur les courants de densité dans la retenue pour minimiser les dépôts, en particulier en prenant des dispositions d'évacuations appropriées (prises de fond, et organes spéciaux à petit débit pour la retenue), mais leurs utilisations présentent trois inconvénients:
 - coût élevé
 - sécurité
 - usure rapide

1-2 Solutions curatives - dévasement

Le dévasement mécanique des retenues, rendu souvent nécessaire pour assurer le fonctionnement nominal d'un aménagement, est classiquement opéré par deux façons:

- par dragages mécaniques ou hydrauliques
- par des vidanges, chasses, ou pièges à sédiments

1-2-1 Dragages mécaniques:

Elle présente l'intérêt d'être efficace dans le sens que l'on obtient des mélanges solides - liquide très concentrés, mais présente l'inconvénient d'être très limité dans l'espace, (il faut déplacer les points de dragage). Ajouter à cela le coût très élevé.

- le curage de la retenue par engins mécanique (bull dozers), après la vidange complète est utilisé dans certains cas, il n'est justifié économiquement que pour de très petites retenues

- le dragage mécanique, a la "drague suceuse" à siphon: C'est une industrie qui exige des capitaux considérables, duent aux frais variables tels que la main d'oeuvre, les combustibles, et les matériaux.

1-2-2 Chasses:

Il est possible de chasser les sédiments accumulés dans les retenues si on peut créer une capacité de transport suffisante. Ceci implique, là encore, qu'on dispose d'un excédent d'eau suffisant pour cette opération d'évacuation et qu'on puisse créer des courants capables d'entraîner des sédiments déposés. Elles permettent donc d'obtenir des résultats sur une surface notablement plus étendue, mais avec des mélanges solides-liquides à concentration beaucoup moins élevée (pertes énorme d'eau).

D'où on peut affirmer que, d'une façon générale, les chasses sont beaucoup, moins efficaces, l'état de consolidation des vases argileuses devient un facteur prépondérant.

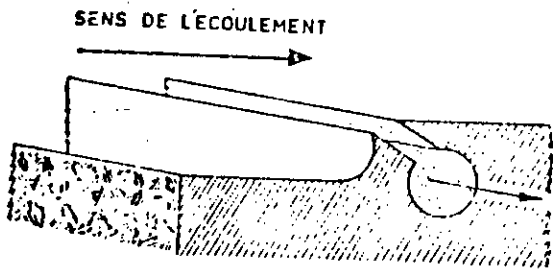
On distingue:

- Chasses complètes (methode dite espanole): qui consiste à vider entièrement le barrage aux moments où l'on peut consentir des interruptions des services et à provoquer l'érosion des dépôts par des débits arrivant à l'amont
- Chasses à barrage plein: le nettoyage s'effectue par une onde de chasse créée par une ouverture rapide de vannes.

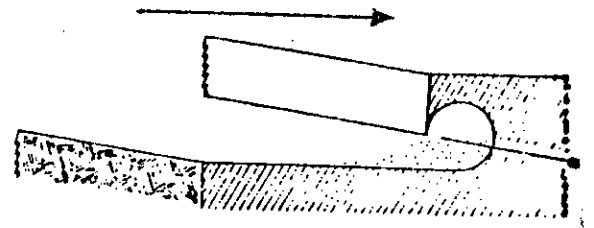
1-2-3 Pièges à sédiments

Les pièges à sédiments donnent une solution continue et facile afin de récupérer les sédiments qui sont entraînés vers l'extérieur de l'écoulement par des écoulements secondaires.

- Pièges à tubes (Fig 1.1a & 1.1b): On pose sur le fond un tube fendu transversalement à l'écoulement. Les sédiments qui transitent par charriage tombent dans le tube. L'écoulement créé dans ce dernier les entraîne à l'extérieur de l'ouvrage.



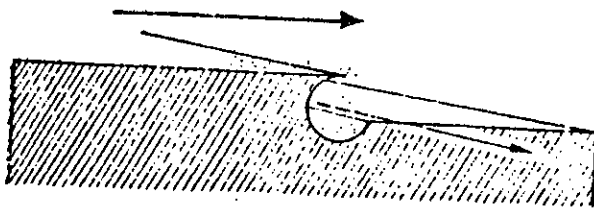
(a)



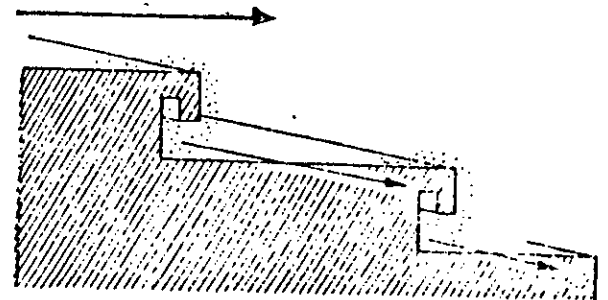
(b)

Fig 1.1

- tubes de Parshal (Fig 1.2a & 2b): il s'agit d'un dispositif semblable au précédent mais dont la fente est dirigée vers l'aval; il faut créer un écoulement dans le tube pour "aspirer" les sédiments



(a)



(b)

Fig 1.2

- pièges à plaques directionnelles (Guide-Blades) fig (1.3):

Dans l'écoulement, on dispose des plaques incurvées qui font decanter les particules. Ces particules sont récupérées par une conduite fendue transversale.

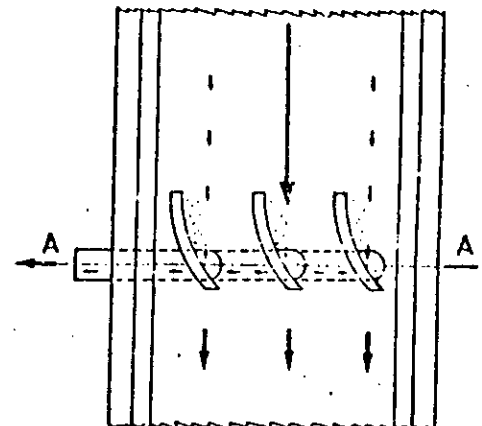
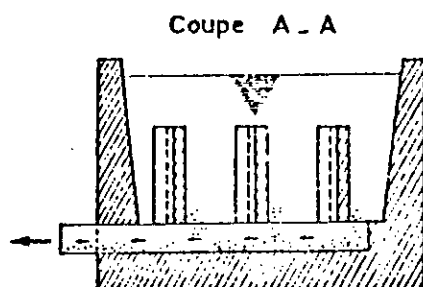


Fig 1.3

- pièges à l'institut SANNIRI (URSS): On fait decanter les particules en créant une zone à pente faible où l'on installe un piège à tube

D'une façon générale, on peut remarquer que ces pièges sont disposés en amont de l'ouvrage où la décantation peut se produire et ne constituent pas un moyen de nettoyage des ouvrages proprement dit, mais de prévention contre l'ensablement. Les principales difficultés rencontrées avec ces systèmes sont:

- le rendement de la récupération;
- le bouchage du système par des objets autres que les les sédiments
- le nettoyage peu facile du système;
- limitation des zones d'utilisation.

1.2.4 Système proposé: "suceuse statique hydraulique"

Le système proposé est destiné à récupérer les matériaux solides déjà déposés dans l'ouvrage, et, en cela, devrait être disposé différemment des pièges à sédiments. Il se compose essentiellement d'un tube enfoui partiellement dans le massif de sédiments à évacuer. Dans la partie enfouie, on a fendu la conduite dans sa partie inférieure.

Avec cette disposition, lorsque les sédiments viennent se déposer sur le tube, ils ne pénètrent pas à l'intérieur tant qu'il n'y a pas écoulement. Lorsque l'on crée un écoulement, il y a infiltration à travers le massif sédimentaire et aspiration du sédiment.

Le mélange solide - liquide ainsi constitué est alors transité sous forme d'écoulement en charge.

Deux phénomènes semblent prépondérants dans ce système:

- ρ - l'entraînement des particules au contact de l'encoulement dans la conduite;
- γ - L'infiltration à travers le milieu poreux.

Premiere partie

Proprietes du transport solide

$\phi, Y = \frac{\tau}{g(\varphi_s - \varphi) d}$: equivalent à un nombre de fronde

$$\psi, Z = q \sqrt{\frac{\tau}{g(\varphi_s - \varphi) s d}}$$

q_s : débit solide

Q : débit liquide

$$\phi_T = (i_m - i) / C_\nu i$$

$$\psi_T = U^2 \sqrt{CD} / gD (s - 1)$$

indices

m : massif

s : solide

E : Entrée

C_r : Critique

in : infiltration

CHAPITRE II

Mecanismes du transport solide

Chapitre II

Introduction

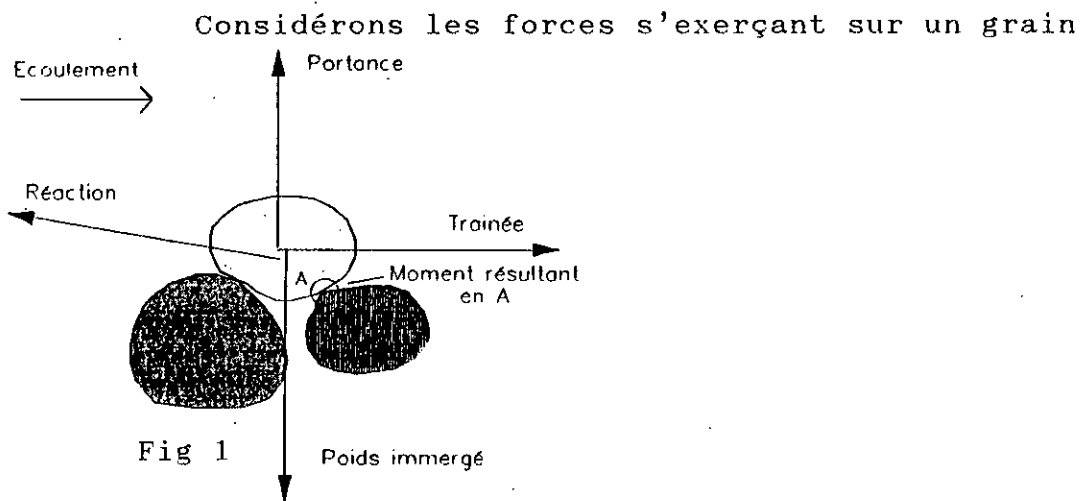
La mise au point d'une méthode universelle pour l'évaluation du transport solide demeure l'objectif fondamental de la recherche dans le domaine de la sédimentologie. Il faut bien admettre qu'actuellement de telle méthode n'existe qu'en théorie; mais qu'en pratique, il y a embarras du choix qui, ne peut être justifié que par une approche correcte de la réalité en ayant présent à l'esprit la complexité du phénomène et les simplifications indispensables, qu'il a fallu faire pour les alléger.

Ainsi parmi les centaines de formules élaborées depuis un demi-siècle, nous appellerons, celles qui sont les plus satisfaisantes, et qui, sont retenues par le comité de sédimentation division hydraulique (U.S.A).

Comme notre travail consiste à l'amélioration du phénomène de soutirage par entraînement des particules solides lié à l'infiltration, nous allons établir les mécanismes de ces types de transport.

2- Entraînement des particules solides par écoulement liquide:

C'est du Boys qui, le premier a introduit le terme de "force d'entraînement" en 1879. Ces forces qui agissent sur une particule placée dans un écoulement et le mode d'entraînement qui en résulte.



Le seuil de mise en mouvement d'une particule solide posée sur le fond, est évalué sur la base des considérations d'équilibre entre les forces qui lui sont appliquées.

La particule est soumise à son propre poids immergé (poussée d'Archimède), aux forces hydrodynamiques exercées par l'écoulement (trainée, portance), et aux forces de contact tant qu'elle est encore sur le fond (Fig 1).

La particule sera soulevée dès que la résultante sera dirigée vers le haut ou roulera sur le grain adjacent si le moment en A le permet. On aura donc à comparer entre une loi hydraulique (propre à l'écoulement), et une loi de transport solide.

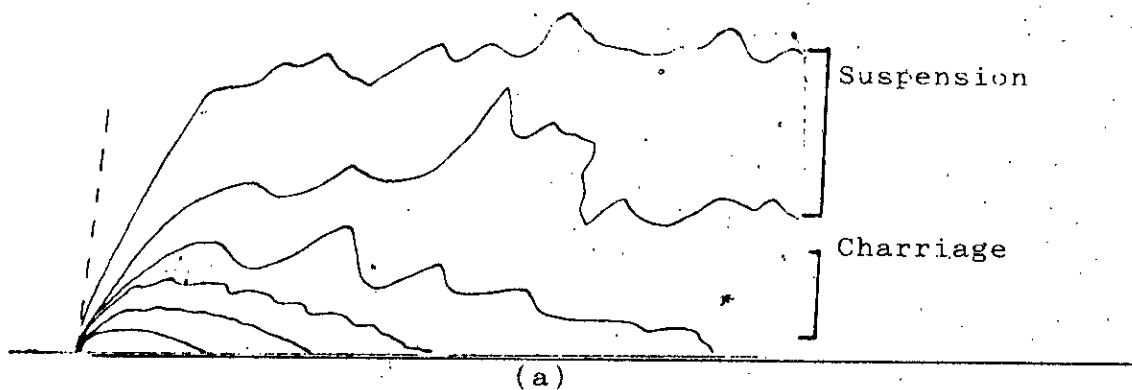
Si la vitesse de l'eau dans une couche très voisine du fond est faible, les matériaux solides se déposent au fond du lit.

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

Les paramètres décrivant le phénomène du transport solide peuvent être divisés en trois classes:

- Une classe caractérisant les matériaux solides: propriétés des grains, du massif, et de l'interaction solide-solide;
- Une classe caractérisant l'écoulement liquide: vitesse près du fond, la charge d'eau, et l'accélération de la pesanteur;
- Une classe caractérisant l'interaction solide-liquide: forces exercées par l'écoulement sur les particules, et rugosité du fond.

Il est souvent admis que le transport solide est un phénomène à seuil puisqu'il est difficile d'identifier tous les paramètres ou toutefois de les caractériser par des paramètres physiques simples et que le phénomène présente un caractère aléatoire très marqué (fig 2), dû à la fois à chacune des classes de paramètres mise en évidence ci-dessus, et à leur interaction.



- Trajectoires des particules solides

Ce qui permet de différencier 2 types de transport:

a) Particules

Leur taille est mesurée par le diamètre de tamisage, le diamètre nominal ou le diamètre de sédimentation. Ce dernier est défini à partir de la vitesse de chute en eau calme.

Pour les particules de taille comprises entre 5 et 100 microns, les courbes granulométriques peuvent être obtenues par tamisage. Ce procédé consiste à faire passer des échantillons représentatifs de la phase solide à travers des tamis dont les mailles sont de taille décroissante (en progression logarithmique).

Cet étalement est effectué en mesurant les coefficients d'uniformité de KRAMER ou de finesse et par la porosité "e".

Quant au diamètre représentatif d'un mélange, il est défini en raison de l'étendue de la gamme granulométrique. De ce fait pour étudier les contraintes sur le fond ou étudier d'une façon générale le transport solide on choisit d_{35} et d_{50} (diamètre moyen, $d_m = \sum p_i d_i$, $(i=1, n)$)

b) Caractéristiques massiques:

- La masse volumique des particules solides, $\varphi_s = \frac{W_s}{V_s}$

W_s : masse des particules solides;

V_s : volume des particules solides;

$$\varphi_s = 2.65 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{sable})$$

- La masse volumique apparente φ_a , laquelle est égale au rapport de la masse des particules solides au volume total (volume des vides + volume des particules solides).

$$\varphi_a = \frac{W_s}{V_t}$$

2.1.2 Paramètres concernant l'écoulement :

Vis à vis de l'entraînement des particules, les caractéristiques importantes de l'écoulement sont le gradient de vitesse près du fond (tenseur de REYNOLDS), l'état de l'agitation turbulente, et, bien sûr la valeur de la vitesse à une côte déterminée.

En fait, on ne sait pas exactement déterminer ces grandeurs- là près d'un fond sédimentaire, à une échelle très petite, étant donné la complexité des conditions au limites imposées par la présence des solides, aussi, utilise t'on des paramètres moyens que l'on espère les plus représentatifs possible. Ce sont en générale la tension tangentielle moyenne sur le fond "Z", ou la vitesse moyenne "u", qui ne pourront être que des paramètres de comparaison à des cas physiquement proches.

2.1.3 Paramètres concernant l'interaction fluide - solide:

Le fluide exerce sur chaque particule une force de trainée et une force de portance qui constitue, comme déjà dit, des forces motrices. Le poids propre de chaque particule, et la réaction des particules voisines, constituent des forces résistantes à l'entraînement.

Une analyse, même succincte, montre qu'il y a une interaction entre ces deux systèmes, sachant que les forces motrices dépendent fortement de l'environnement de chaque particule, et ce dernier dépend des mouvements du matériau. Il est impossible d'évaluer avec précision ces efforts, d'autant plus que l'agitation turbulente est importante.

On se contentera donc de caractériser l'entraînement par des paramètres moyens qui ne constituent pas des paramètres absolus mais des valeurs de comparaison sur des cas physiquement semblables, ce qui nous amène à faire le classement de ces cas.

On distingue deux classes de problèmes:

- a) L'étude de l'érosion dans les canaux ouverts
- b) L'étude de l'érosion dans les conduites fermées ou il existe le dépôt

a) Paramètres moyens caractéristiques du début d'entraînement dans le cas des canaux découverts

Les deux paramètres moyens les plus utilisés sont:

- tension moyenne sur le fond
- vitesse moyenne de l'écoulement

Cependant (voir abaque 2, 3, 4, 5), le concept utilisant la tension tangentielle est certainement le plus précis, en ce sens qu'il est lié aux pertes d'énergie.

La finesse de l'analyse présente un intérêt certain en ce qui concerne la compréhension du phénomène mais, d'un point de vue pratique elle n'amène rien de plus que les critères précédents dans la mesure où les constantes sont étalonnées globalement et se ramènent à l'estimation d'un seul paramètre proche de la tension tangentielle.

b) Paramètres moyens caractéristiques du début d'entraînement dans les conduites fermées:

D'une façon générale, le paramètre moyen retenu est toujours la vitesse moyenne dans la conduite, mais le problème est de définir les conditions critiques, on peut trouver:

- vitesse minimale de transport: vitesse pour laquelle le débit solide est nul, donc il n'y a pas de transport.

- vitesse limite de dépôt: pour laquelle apparait un dépôt au fond c'est à dire qui caractérise la passage du transport en suspension au transport par charriage
- vitesse critique: qui correspond au minimum de pertes de charge linéaire dans la conduite

Etant donné que les études des écoulements solide-liquide en conduite sont faites pour transporter les matériaux solides en suspension, celles-ci portent sur les deux dernières valeurs des paramètres.

Là aussi, la grande diversité des formules voir [tab 2.1] montre le peu de précision de chacune d'elle, d'autant plus qu'il y a souvent confusion entre le "minimum de pertes de charge" et "la vitesse limite de dépôt".

② 2-2- La suspension:

C'est un état d'équilibre purement mécanique entre les forces de gravité qui ont tendance à entrainer les particules vers le fond suivant la loi de chute limite propre à chacune de ces particules (notion de vitesse de chute) et les échanges turbulent de quantité de mouvement qui tendent à homogénéiser la concentration le long d'une verticale.

L'importance relative de chaque paramètre et son rôle dans le transport en suspension varient selon les conditions hydrauliques de l'écoulement mais, l'existence de fluctuations turbulentes est indispensable pour expliquer le maintien en suspension, ceci prouve que la condition fondamentale du maintien des particules en suspension est la production d'énergie turbulente qui entraine la variation de la concentration le long de l'écoulement.

L'énergie que doit fournir ce dernier pour maintenir la suspension (pour remonter les particules decantables) est fonction de deux paramètres qui sont la vitesse d'écoulement et la vitesse de chute de la particule.

$$E = (\varphi_s - \varphi) g W L \cdot \frac{W}{U}$$

E : Energie

W : vitesse de chute

φ_s : masse volumique du solide

w : volume du reservoir

φ : masse volumique de l'eau

L : longueur

U : vitesse de l'écoulement

2.3 Vitesse de chute

La vitesse de chute se définit comme étant la vitesse en eau calme, sans interaction particule / particule, et en dehors de l'influence des parois. Elle est fréquemment utilisée comme référence, son calcul est simple lorsqu'on a une particule sphérique.

La formule de stock est bien adaptée aux écoulements laminaires ou de faible turbulence, celle de Newton aux écoulements turbulents (voir abaque 7).

2.4 Calcul de débit solide

Pour le transport par entraînement dans les canaux découverts, les modèles permettant d'estimer le débit solide font intervenir soit la vitesse critique, soit la tension tangentielle critique. Ils ont été établis pour des régimes permanents et uniformes, et, compte tenu du peu de précision de la détermination des conditions critiques, elles ne peuvent être que relativement peu faibles, notamment dans des conditions hydrauliques proches du débit d'entraînement.

Pour les écoulements en conduite, les modèles mathématiques relient les pertes de charge du débit transporté en suspension, suivant les différents régimes d'écoulement. Là aussi, on trouve un grand nombre de formules représentées par le tableau (2.2).

CHAPITRE III

**Effet des courants d'infiltration
sur le transport solide**

Chapitre III

Introduction

Les courants d'infiltration influent largement sur les conditions critiques d'entraînement

- en augmentant la sous couche limite; / $R \rightarrow v \quad \sigma$
- en diminuant la rugosité hydraulique; \rightarrow
- en augmentant le niveau de turbulence;
- en diminuant les zones mortes; /

D'un point de vue global, les courants d'infiltration modifient la répartition des vitesses près du fond et surtout la force de portance sur les particules.

3.1 Equilibre d'un milieu poreux

3.1.1 Effort entre deux particules

L'effort exercé sur deux particules en contact dans un milieu poreux fig 3 est :

$$P = P_s S_s + P_g S_g + P_L S_L$$

où les indices S, g, L représentent respectivement le solide, le gaz et le liquide.

D'où la contrainte normale:

$$\sigma = p / S = p_s \phi_s + P_g \phi_g + P_L \phi_L$$

si on suppose le milieu saturé: $\phi_L P_L = (1 - \phi_s) P_L \simeq P_L$

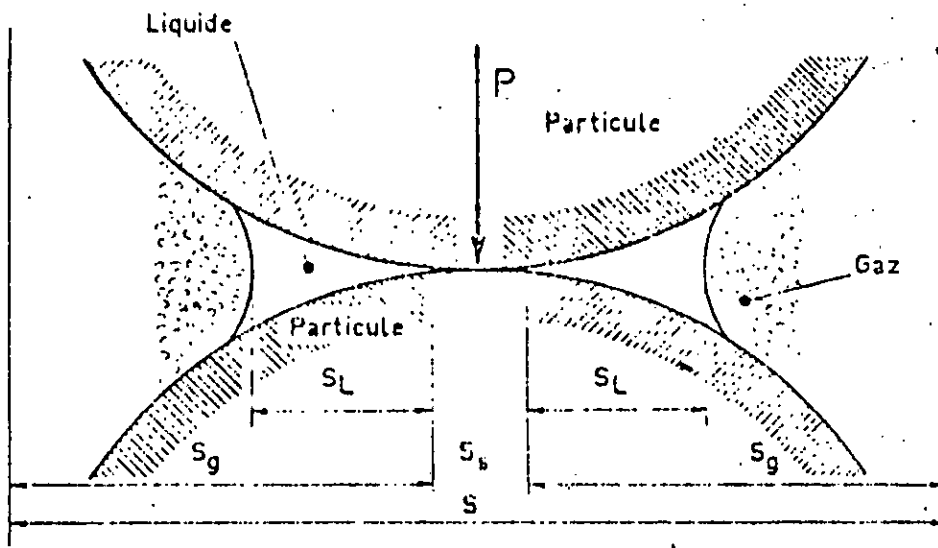


Fig (3.1)

$$\sigma = \bar{\sigma} + PL$$

où

$\bar{\sigma}$: pression efficace (pression de contact)

PL : pression du pore (pression neutre)

3.1.2 Effort dans un massif saturé non cohésif

Dans ce cas, la répartition de la pression hydrastatique (ou efficace) est modifiée par la pression hydrodynamique due à l'infiltration (fig.3.2) elle la diminue ou l'augmente suivant le sens du courant d'infiltration (aspiration-ou injection).

La contrainte au point a est:

$$\sigma_a = PL + \bar{\sigma} \pm \sigma_{in}$$

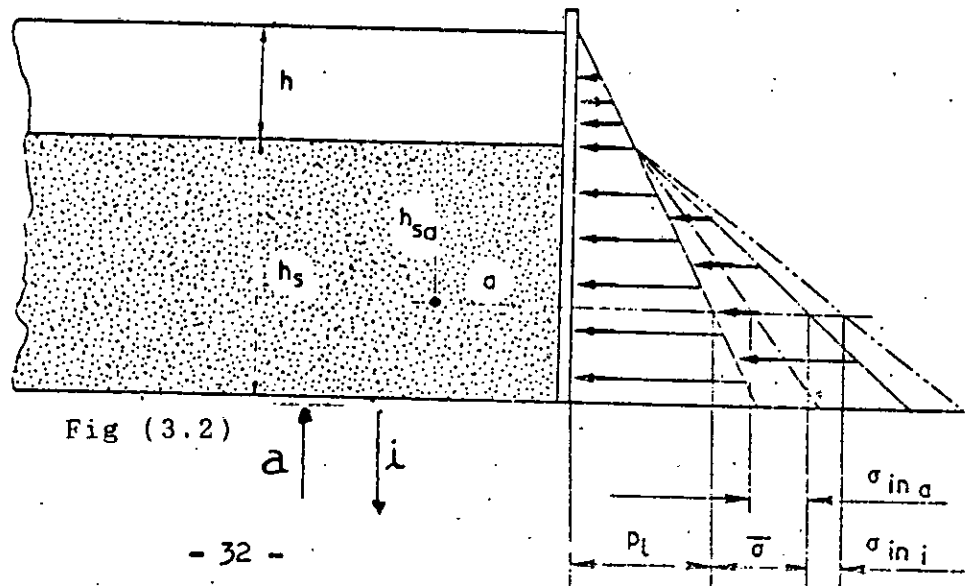


Fig (3.2)

avec $PL = \rho g (h + h_{sa})$

$$\bar{\sigma} = g h_{sa} (\rho_{sat} - \rho)$$

$$\alpha_{in} = \rho g h_{sa} \cdot i_{in}$$

I_{in} : gradient de pression due à l'infiltration (m/m)

ρ_{sat} : densité volumique du massif dans le liquide $= (e + (1-e)S) \cdot \rho$

e : porosité = volume du vide / volume du massif

$$S = \rho_s / \rho$$

A partir de cette relation, on peut écrire le rapport entre la force due à l'infiltration et la force de pesanteur:

$$\frac{F_{in}}{P_s} = \pm \frac{I_{in} (1+e)}{s - 1}$$

3.2 Modification des conditions d'entraînement

De ce qui précède, on peut conclure que l'infiltration modifie les forces d'entraînement si on considère le paramètre de SHIELDS ϕ :

a) en négligeant l'infiltration,

$$\phi = Z / \left\{ \rho g d (S - 1) \right\}$$

b) en prenant en compte l'infiltration, et en ajoutant à la force due à l'infiltration l'action de la gravité,

$$\phi = \frac{Z i_{in}}{\rho g d (s - 1) \pm g \rho d I_{in} (1 + e)}$$

pour les conditions critiques d'entraînement, MARTIN (1970) a donné le rapport:

$$\tau_{cin} = \frac{(S - 1) \pm I_{in} (1 + e)}{(S - 1)}$$

et TURCOTTE (1960) a donné la relation:

$$\frac{\tau_{cin}}{\tau} = 1 - 13.9 \frac{U_{in}}{U^*}$$

dans le cas de parois lisses et pour $\frac{U_{in}}{U^*} \leq 13.9$

② Généralement, on peut constater que l'infiltration peut, soit faciliter l'entraînement, soit stabiliser le massif suivant le gradient de pression I_{in} et le sens du courant d'infiltration. Pour un écoulement ascendant, lorsque le gradient (I_{in}) atteint une valeur critique

$$I_{inc} = \frac{S - 1}{1 + e}$$

Les contraintes effectives s'annulent, le squelette solide flotte au milieu de l'écoulement et les particules solides deviennent bouillonnantes (condition de fluidisation).

Dans le cas de grains "erodables", une érosion régressive se développe au sein du milieu perméable.

3.3 Ecoulement à travers le massif poreux

Si l'on considère un tube fendu, passant au dessous d'un massif de solides, de hauteur h_s , immergé dans l'eau ayant une charge H (voir fig. (6.1) chap 6); une aspiration se développe dans le tube à cause des pertes de charge dans celui-ci. Grâce à cette aspiration, un courant d'infiltration se crée dans le massif et s'écoule à travers la fente.

On peut calculer la vitesse d'écoulement en utilisant la loi de DARCY (1856) qui s'écrit, pour un régime permanent:

$$U = K i$$

où K est la perméabilité. Une estimation du coefficient K est:

Matériaux	K m/s
Gravier	10^{-3} à 10^{-2}
Sable	10^{-5} à 10^{-3}
Argile	10^{-13} à 10^{-9}
Roches apparemment non fissurées	10^{-12} à 10^{-10}

KOZENY - CARAMAN ont donné la perméabilité K par:

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{S_p^2} \cdot \frac{(1-e)^3}{e^2}$$

où S_p : surface spécifique d'une particule ($= \frac{6}{d}$ pour la sphère).

K est un facteur 3 à 6 (=4,84 pour quartz)

A. HAZEN (1895) a proposé la formule:

$$K = 100 \frac{d_{10}^2}{10} \text{ en unité C.G.S.}$$

et CASAGRANDE a proposé la relation:

$$K = 1,4 K_{0.46} \frac{e}{1-e}$$

dans laquelle $K_{0.46}$ représente la perméabilité au matériau ayant $e = 0,46$.

Deuxieme partie

Etudes experimentales

CHAPITRE IV

Installation expérimentale

Schema de l'installation

① Vanne de réglage

② Luve amont

③ Tranquillisateur

④ Canal vitré

⑤ Pointe de mesure

⑥ Meure de pression

⑦ Tube d'aspiration
du sable

⑧ Massif de sable

⑨ Vanne

⑩ Vanne de réglage

⑪ Deversoir de
récupération

⑫ Deversoir
triangulaire

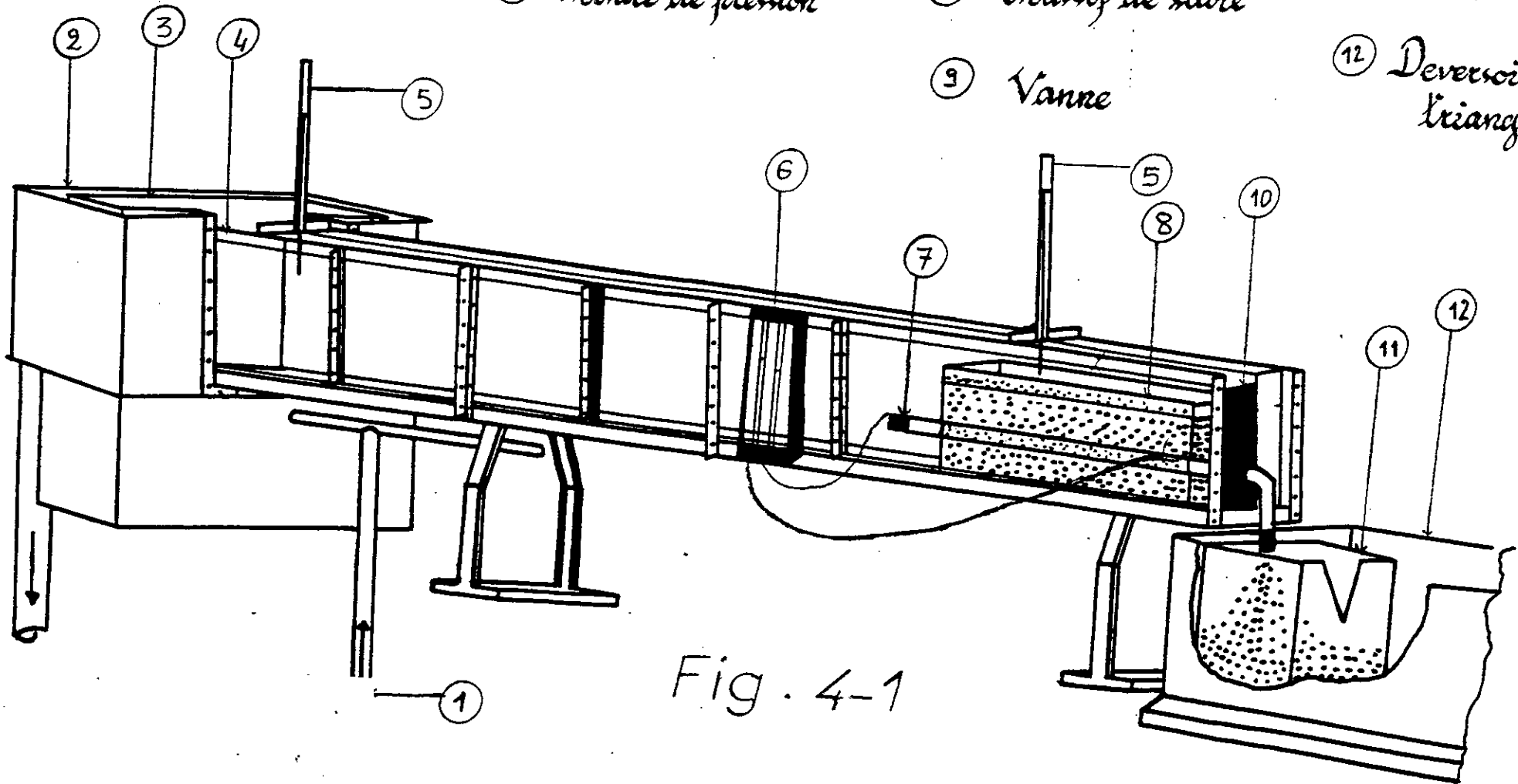
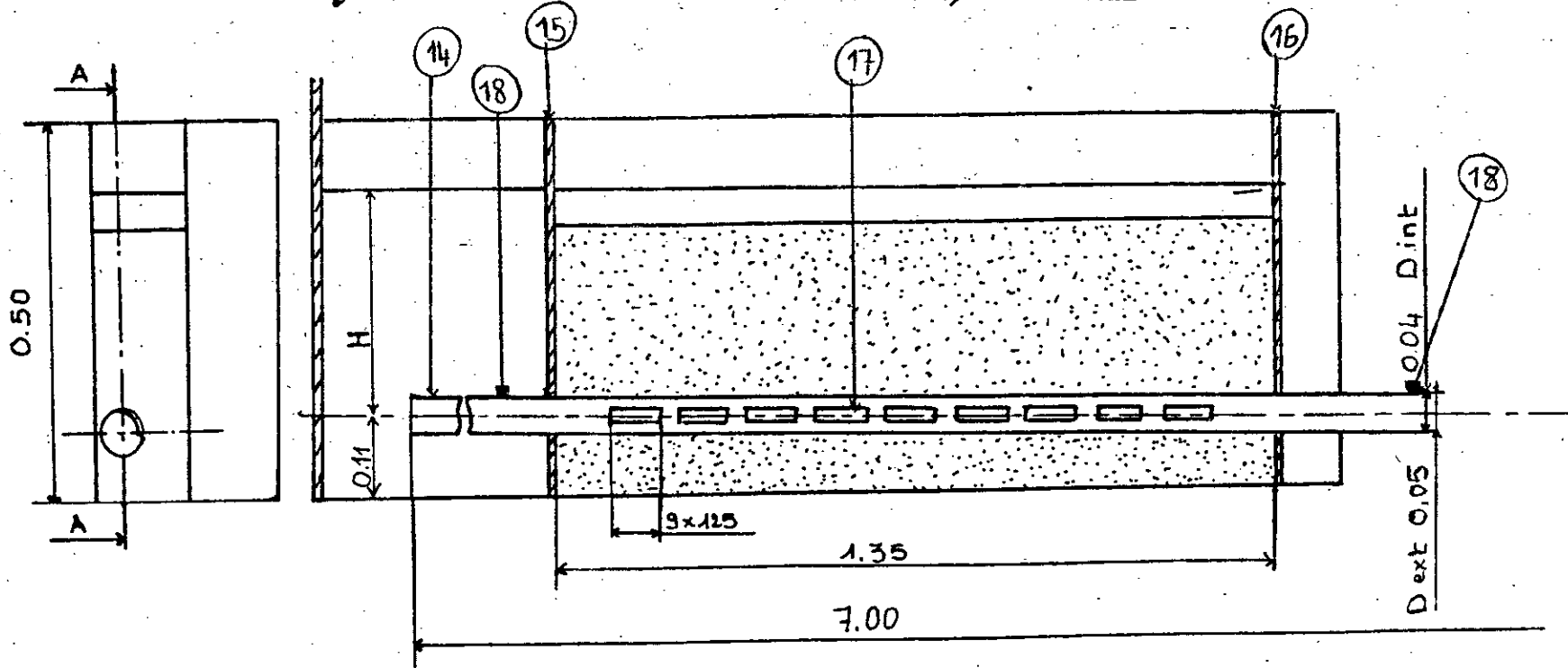


Fig. 4-1

FigA.2 Section de mesure coupe A.A



- (14) Tuyau de récupération (15) Parillon amont (18) Buse de pressions
 (16) Parillon aval (17) 9 Fentes

Chapitre IV

Introduction:

Le système de récupération proposé fonctionne sur le principe suivant:

"un tube fendu est installé à travers le massif de sédiments, à évacuer d'une retenue d'eau. Afin de ne pas l'obsturer lorsque l'on ne crée pas d'écoulement, les fentes sont pratiquées dans la partie basse.

Lorsque l'on met le système en marche, une dépression au niveau des fentes permet d'aspirer les particules solides; ces particules sont alors maintenues en suspension et peuvent être transportées à l'extérieur de la retenue".

Les premiers essais que nous avons effectué, afin de tester la méthode, nous ont permis de déterminer les paramètres essentiels intervenant dans l'évolution du phénomène:

- a- La charge dans la retenue H, qui est un des éléments de contrôle du débit à travers la conduite d'une part, et du courant d'infiltration à travers le massif sédimentaire d'autre part;
- b- La hauteur et la composition sédimentaires du massif;
- c- Les caractéristiques géométriques du tube et des fentes: diamètre de la conduite D, longueur de la conduite L, dimensions des fentes et leur position par rapport à la position la plus basse θ^0 .

Il est évident que l'on ne peut concevoir une installation où tous ces paramètres varient de façon commode. Nous avons conçu un modèle d'essais où les caractéristiques géométriques de la conduite de récupération sont fixes et où la charge de la retenue est maintenue constante et nous avons fait varier les autres paramètres.

4.1 Description générale de l'installation:

Pour réaliser le système de récupération des matériaux solides, une installation expérimentale a été construite au laboratoire hydraulique de l'école nationale polytechnique d'ALGER (fig 4.1 - 4.2);

- a- La retenue d'eau est réalisée dans un canal vitré horizontal (0,28 * 0,50 m); afin de maintenir la charge H constante, on utilise les vannes (1) et (10) permettent de régler le débit d'arrivée qui doit compenser le débit à travers la conduite de soutirage.
- b- Le massif de sédiments est disposé à l'aval du canal entre deux pavillons (15,16) sur une largeur de 0,15 m.
- c- Le tube de récupération en plastique à un diamètre extérieur de 50 mm et un diamètre intérieur de 40 mm. Il est installé contre une paroi du canal afin de pouvoir suivre, visuellement le phénomène. Il est muni de neuf fentes de 125 mm de long sur 9 mm de large, réparties sur 1.35 m (fig 4.2).
- d- Le débit est contrôlé par des ajutages calibrés afin d'éviter une vanne toujours délicate à manipuler pour les écoulements diphasiques solides-liquides. Par ailleurs, ils évitent la phase transitoire correspondant à une ouverture toujours progressive de la vanne.

4.2 Mesure du débit liquide

A l'entrée de la conduite, le débit est Q_E ; à cause du courant d'infiltration, le débit à la sortie est $Q_S \neq Q_E$. Au fur et à mesure que le massif est érodé, le débit d'infiltration augmente, si bien que les débits Q_E et Q_S sont des fonctions du temps. Il nous a paru très rapidement absolument nécessaire d'estimer ces différentes valeurs, notamment pour établir le modèle mathématique. Nous avons pensé utiliser plusieurs méthodes:

a) Pour le débit de sortie Q_S , nous avons utilisé deux deversoirs triangulaires (12-11). L'un pour le débit de sortie du canal, l'autre pour le débit de sortie dans la conduite de récupération.

Cette méthode ne nous donne une valeur de débit qu'en régime permanent, et n'est pas, à elle seule, suffisante.

b) Nous avons relié les pertes de charges dans la partie amont de la conduite au débit d'entrée Q_E , et de la charge aval au débit de sortie Q_S par un étalonnage effectué fentes bouchées. La mesure de pression est faite par des manomètres à eau; leur temps de réponse semble suffisamment faible pour suivre correctement les variations du débit d'entrée.

En ce qui concerne le débit de sortie, la loi $H_s(Q_S)$, établie sans matériaux solides en suspension, n'est certainement que très approchée lorsque le débit solide n'est pas négligeable. Toutefois, les mesures que l'on a obtenues avec le deversoir lorsque, l'érosion du massif se stabilisant, le régime devient permanent, ont montré que la loi $H_s(Q_S)$ que nous avons utilisé donnait des résultats satisfaisants.

4.3 Mesure du débit solide

Le débit solide q_s dans la conduite est une fonction de l'abscisse (dans la partie d'aspiration) et du temps. On peut l'estimer suivant deux méthodes:

a- Par enregistrement photographique de la forme du massif: la paroi latérale transparente du canal permet de suivre l'évolution en plan du massif sédimentaire. En prenant des relevés photos à différents instants, on peut donc obtenir le débit solide évacué par la conduite (en tenant compte de la porosité). Ceci suppose, toutefois, que le phénomène est plan, ce qui n'est pas tout à fait le cas, et on a observé que, par cette méthode, on a tendance à sous-estimer le débit solide.

b- Par prélèvement à l'aval de la conduite d'évacuation: A la sortie du tube d'évacuation, on dispose d'une série de paniers-filtres (sacs), qui nous permettent de prélever la quantité de matériaux solides évacués entre deux instants T_1 et T_2 . Cette méthode ne permet pas d'obtenir, en fait, la loi $q_s(T)$ juste à la sortie de la zone d'aspiration, vu la capacité du phénomène entre les deux instants T_1 , T_2 (rapidité de manipulation). En effet, le temps de transit dans la partie avale de la conduite est non négligeable d'une part, et la loi de transport peut déformer un peu la forme de $q_s(T)$.

Cette méthode permet toutefois une vérification de la méthode précédente.

4.4 Observations expérimentales

Afin de mieux observer le phénomène, nous avons utilisé un système de vidéo, qui nous permet de suivre l'évolution du massif sédimentaire d'une part, et de visualiser le mode d'aspiration des particules.

CHAPITRE V

Resultats experimentaux

Chapitre V

Introduction

Les premiers essais nous ont permis de montrer qu'en fait, que si, la fente est dirigée vers le haut, les sédiments vont tomber dans la conduite en grande quantité. On obtiendra certainement une obturation de l'écoulement, et que la quantité de sédiments entraînés par l'écoulement alors que la fente pratiquée dans la conduite est dirigée vers le bas, est déjà, relativement importante; cette constatation nous amène à concevoir le modèle physique pour une étude plus poussée.

5.0 Première série d'essais: Observations du phénomène

Afin de mettre le système proposé en fonction, plusieurs essais étaient effectués afin de trouver les caractéristiques du système exprimant le comportement de ses éléments (voir tab ci-dessous).

h_{so} (M)	0,09	0,14	0,15	0,18
Q_{so} (l/s)	0.74	0.61	0.73	0.61
Q_{so} (l/s)	5.15	4.66	2.45	4.18
Q_{so} (l/s)	X	X	2.67	X

Q_{so} : débit de sortie
 h_s : hauteur du massif à partir de l'axe de la conduite

Pour chaque essai, on a mesuré:

- La pression monométrique H_E et H_i ;
- Le débit solide $q_s(T)$;
- La forme du massif $h_s(T,X)$;

En gardant constant les paramètres suivants:

- pour le tube: D , e , L_T , L_1 , L_2 ;
- pour le canal: H ;

Quant au comportement du système, il est donné par:

- partie amont du tube $HE(T)$; $QE(T)$;
- massif $hs(X, T)$;
- partie transport $qs(T)$; $Hs(T)$;

Des exemples de courbe sont donnés par les figures:

- massif (5.2, 5.3);
- partie transport (5.4, 5.5, 5.6, 5.7);

b) Matériaux solides utilisés

On a utilisé des massifs de sable dont la courbe granulométrique est donnée par la fig (5.0) et les caractéristiques générales par le tableau ci-dessous.

Propriétés	Sable
. densité kg/m^3	2650
. porosité (e)	0.47
. perméabilité (K)(m/s)	$1.2 \cdot 10^{-3}$
. diamètre moyen (mm)	0.5
. vitesse de chute (m/s)	8

Remarque: K , e sont mesurées dans les conditions semblables à celle du système testé.

Vis à vis du tassement et de conditions d'écoulement K et e sont fonction du temps.

5.1 Etude de l'influence de la position de la fente:

On désigne par θ , l'angle définissant la position de la fente par rapport à la verticale, la valeur nulle étant telle que, la fente soit dirigée vers le bas. Les essais ont été menés pour différents débits liquides dans la conduite, (celui-ci varie beaucoup en cours de manipulation, et nous prenons pour référence le débit initial à la sortie).

θ_0	0	15	60	75	90
Q_{s0} (l/s)	0.75	1.8	3.2	1.20	1.30
Q_{s0} (l/s)	4.1	1.10	0.93	2.7	2.1

Le tableau ci-dessus donne l'ensemble des valeurs testées ($h_s=0.18$).

Comme on pourrait s'y attendre, pour des débits comparables, le débit solide maximum q_{smax} augmente avec l'angle θ comme le montre la fig (5.1.a, 5.1.b).

On constate que pour des valeurs de θ supérieures à 15° , ce débit diminue très rapidement par suite d'une obturation partielle ou totale de la conduite, si bien, qu'en définitive, le volume du matériau récupéré diminue lorsque θ augmente et les risques d'obturations deviennent très importantes.

Ceci nous a montré l'intérêt qu'il y avait à maintenir un angle θ proche de zéro, en fait pour θ supérieur à 90° , le système fonctionne comme un piège à sédiment classique, et l'on constate qu'au fur et à mesure qu'elles arrivent, on ne peut pas les laisser s'accumuler avant de les soutirer.

Remarque: Donc pour toutes les autres séries de mesures, on maintiendra θ proche de 0.

5.2 Deuxième série d'essais

5.2.1 Etude de l'influence de la fente aval bouchée

Pour bien comprendre le processus de récupération, un essai a été fait en bouchant une partie de la fente en aval du tube. Dans cette condition, la surface libre du massif se déplace, puis l'aspiration se fait de deux côtés du bord de la fente jusqu'à l'ouverture. Ainsi, elle s'arrête en aval, tandis qu'elle diminue asymptotiquement en amont fig(5.6.a).

Il nous semble que l'obturation de la fente aval donne une solution possible afin de changer la zone d'érosion du massif.

5.2.2 Etude de l'influence de la fente amont bouchée

Pour mettre en évidence la nécessité et le rôle du débit d'eau initial à l'entrée de la conduite, on a effectué un essai en obturant l'entrée du tube, on a constaté que, le système au début, se comporte comme le cas d'entrée ouverte (débit Q_{so} fort) fig(5.6.6) mais avec au départ une récupération du débit solide très forte, qui diminue d'une manière asymptotiquement brusque pendant un intervalle de temps très court, et ceci à cause justement du débit d'eau faible dans la conduite, uniquement dû à l'infiltration; par conséquent, des dépôts se forment et obturent complètement la conduite de transport.

A partir de cette expérience, on peut constater que l'infiltration est une partie importante dans le processus de récupération, mais qu'il est nécessaire de créer un débit initial d'eau claire.

5.2.3 Etude de l'influence de l'obstacle

Afin d'étudier le problème de nettoyage du système lui-même, on a placé un obstacle à l'intérieur de la conduite. La dépression locale, créée au niveau de l'obturation partielle, donne des dépôts dans le tube en aval. Les dépôts provoquent eux-mêmes une obturation qui accélère le processus de récupération fig (5.6.c).

Ce processus semble être l'intermédiaire entre l'obturation aval et l'obturation amont, du fait qu'on a un débit solide fort par rapport à l'obturation aval. Et qui diminue asymptotiquement et d'une façon continue, dans un intervalle de temps très large, contrairement à l'obturation amont.

Donc cet essai témoigne que le système proposé a un grand avantage par rapport aux autres pièges des sédiments, celui d'être au moins partiellement autonettoyant.

5.3 Optimisation du fonctionnement

L'analyse des paramètres $QE(T)$, $qs(T)$, $hs(X,T)$ et $s(T)$ montre que la récupération se fait en deux phases très différenciées

- La phase initiale tant que la fente est totalement recouverte
- La phase finale où la fente est partiellement découverte à l'aval.

5.3.1 Première phase - fente couverte

- Si l'on désigne par α un coefficient de pertes de charge global, et, du fait de la présence de particules solides à l'intérieur de l'écoulement et l'augmentation des courants d'infiltration, elle est une fonction croissante du temps
- La charge étant constante, le débit a tendance à diminuer, si bien que, la pression P_s à l'aval de la zone d'aspiration présente un maximum plus ou moins marquée, la pression d'aspiration continue.
- La hauteur du massif diminuant, la vitesse d'infiltration ne diminue que très lentement, et le débit solide diminue d'une façon plus ou moins sensible; pour augmenter brutalement lorsque la hauteur du massif devient suffisamment faible, pour que la vitesse à travers la fente devient importante. On a alors une ouverture de la fente avale.

5.3.2 Deuxième phase - fente découverte

Lorsque la fente est découverte partiellement, le débit d'entrée chute brutalement tandis que la pression à la sortie P_s augmente rapidement. Le débit solide diminue au fur et à mesure que la fente se découvre pour tendre vers zéro et le massif sédimentaire est alors stabilisé. Dans cette phase, la forme du massif, ne dépend que de la pente naturelle du talus.

5.4 Conclusions sur les résultats expérimentaux

- On peut laisser déposer les matériaux solides sur le système d'extraction si l'angle est maintenu suffisamment petit, inférieur à environ 15° (ou carrément $\theta = 0$), ce qui diminue les risques d'obturation;
- Ce système peut présenter une stabilité de fonctionnement dans la mesure où une obturation a pour effet d'augmenter les vitesses et de créer des dépressions qui favorisent l'aspiration des sédiments ou, il y a, dans certaine mesure, un autonettoyage.
- Les courants d'infiltrations sont un paramètre, essentiel intervenant dans le fonctionnement de l'appareil, dans la mesure où ils ont tendance à entraîner les matériaux solides d'une part, et où ils créent une perte de charge telle qu'ils augmentent fortement vers l'aval, d'autre part.

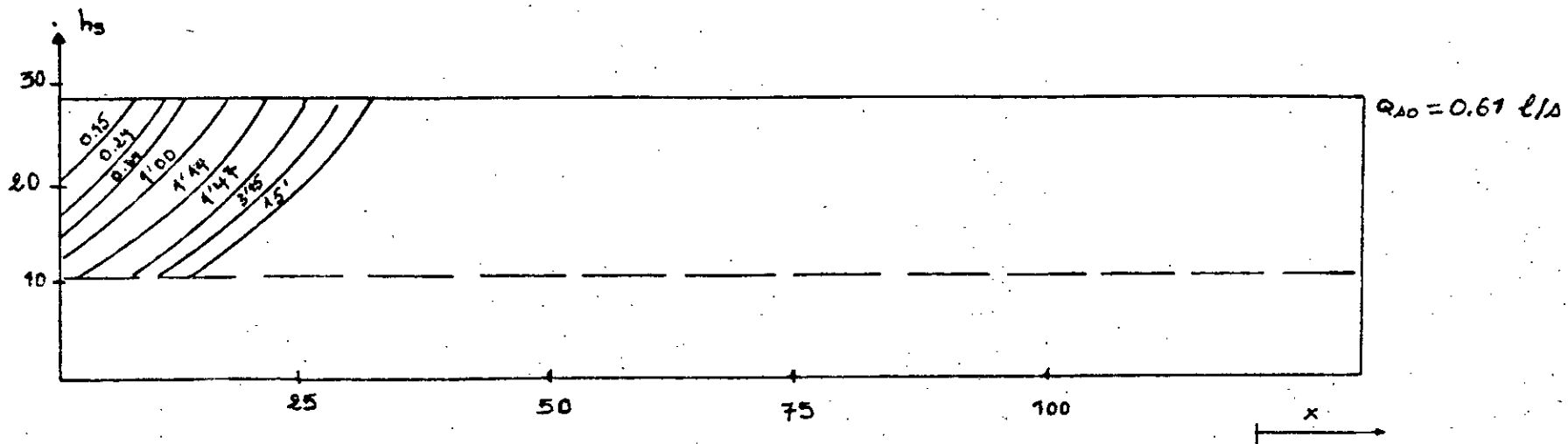
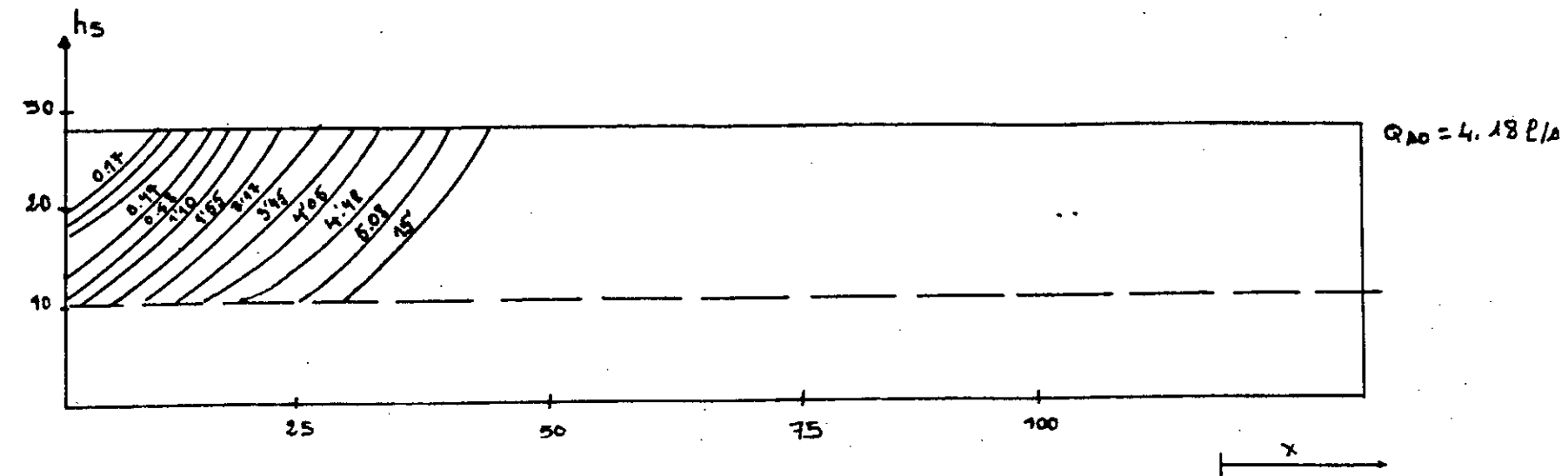
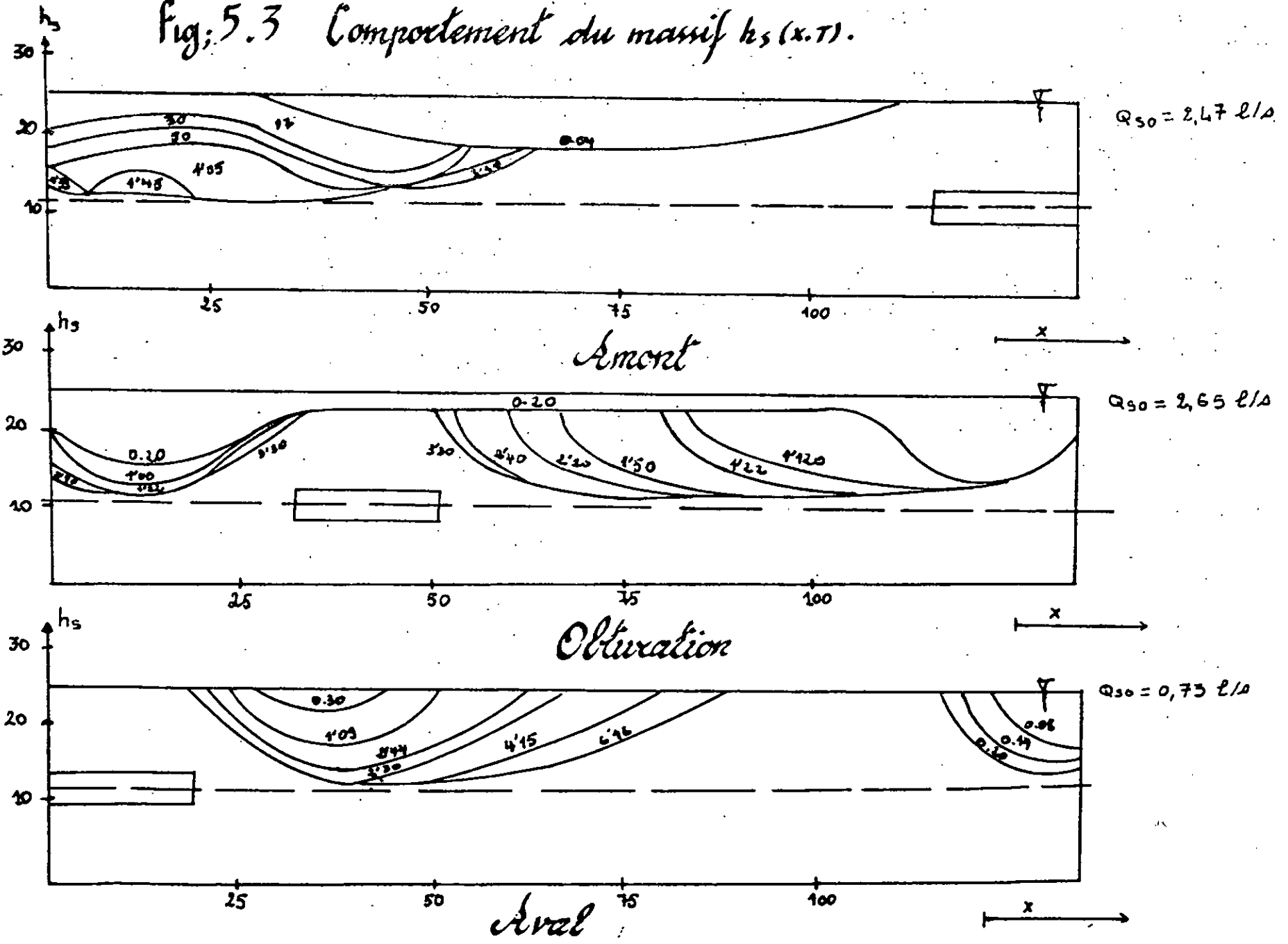
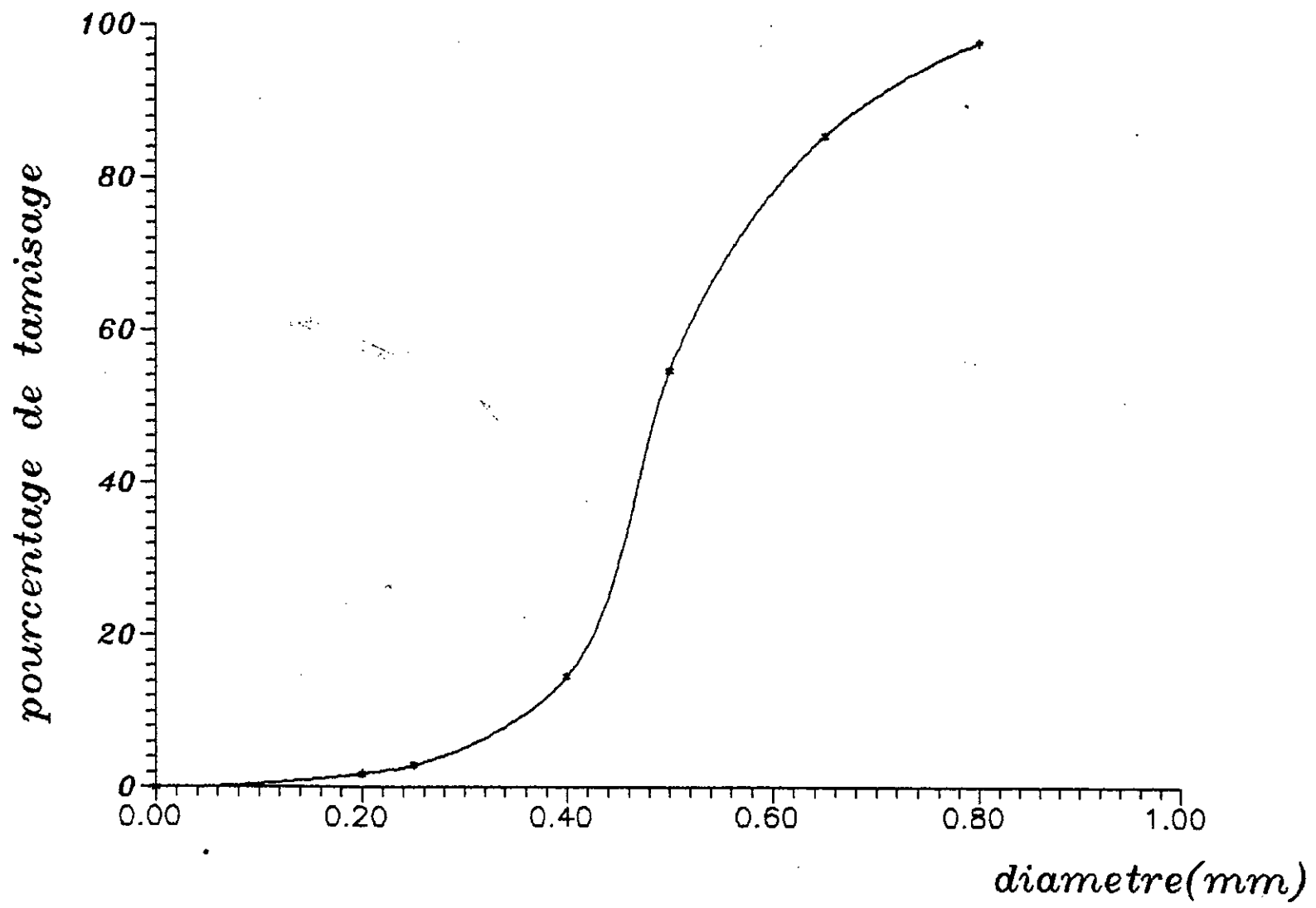


Fig 5.2 Comportement du massif $h_s(x,T)$.

Fig. 5.3 Comportement du massif $h_s(x, T)$.



GOURBES EXPERIMENTALES



Fig(5.0): Courbe granulometrique

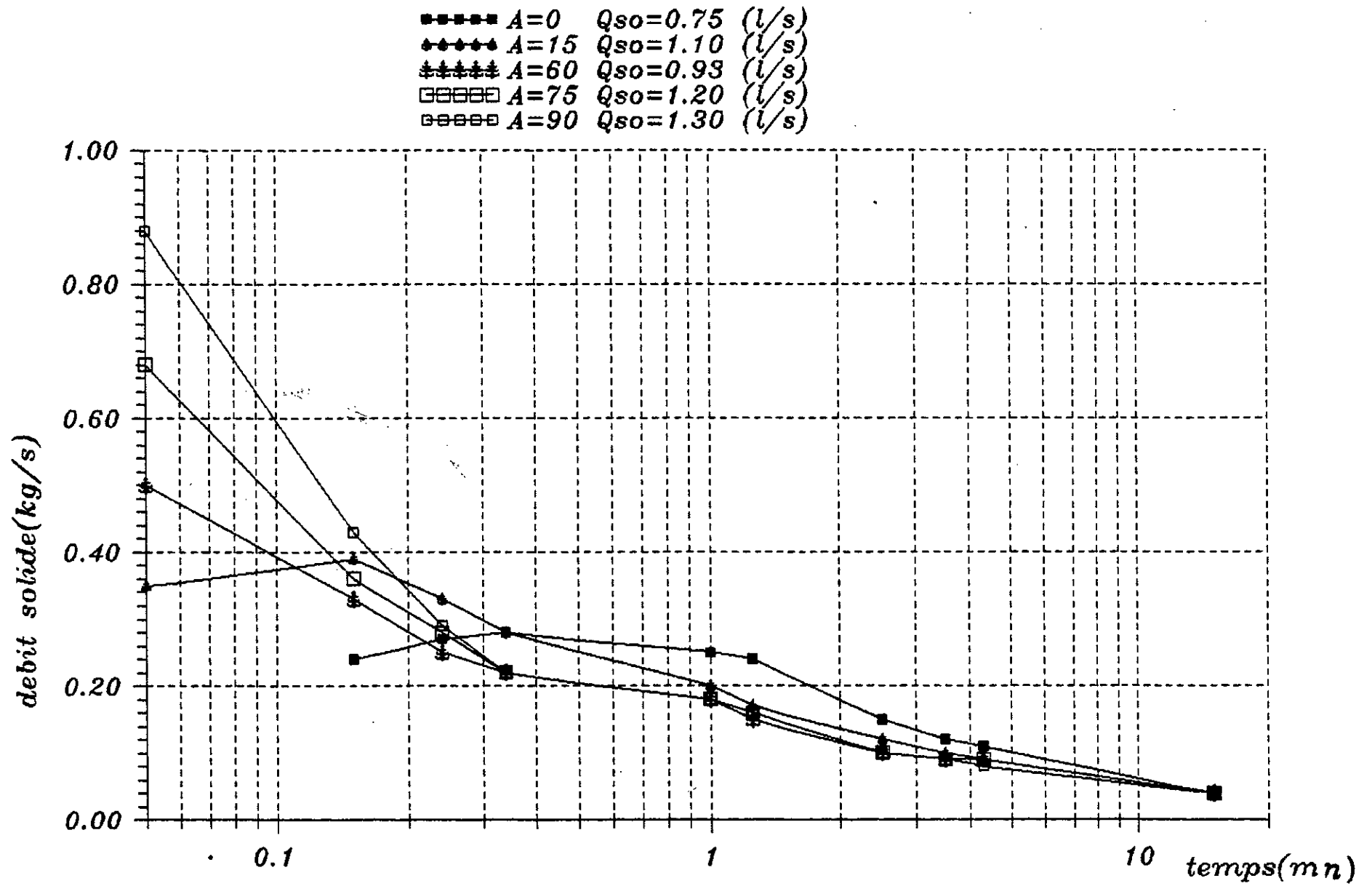


Fig (5.1.a): Etude de l'influence de la position de la fente.

■	A=0	Q _{so} =0.75	(l/s)
▲	A=15	Q _{so} =1.10	(l/s)
◆	A=60	Q _{so} =0.93	(l/s)
□	A=75	Q _{so} =1.20	(l/s)
⊠	A=90	Q _{so} =1.30	(l/s)

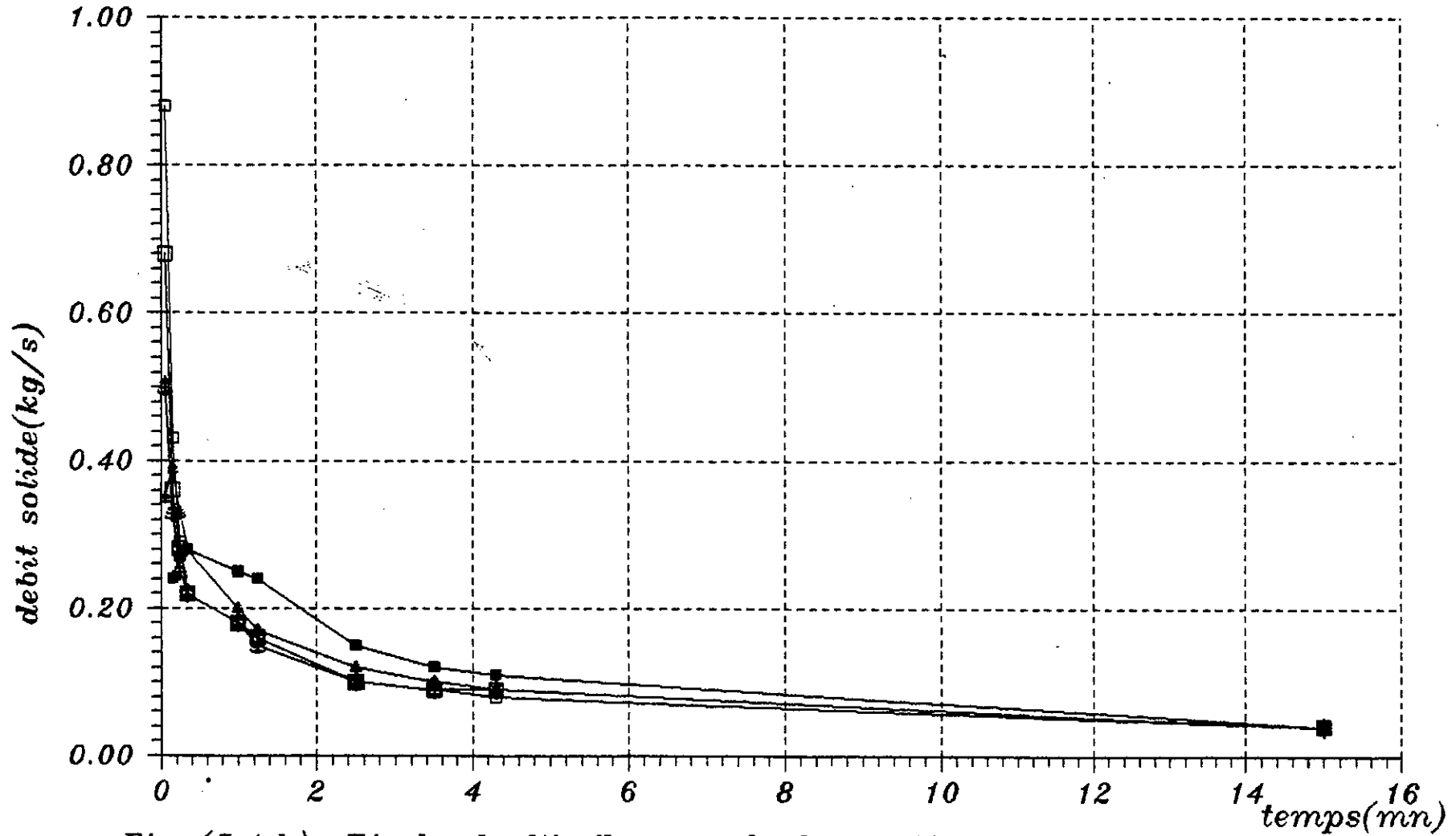


Fig (5.1.b): Etude de l'influence de la position de la fente.

$Q_{so}=0.74(l/s)$
 $Rendement=21.68 \%$

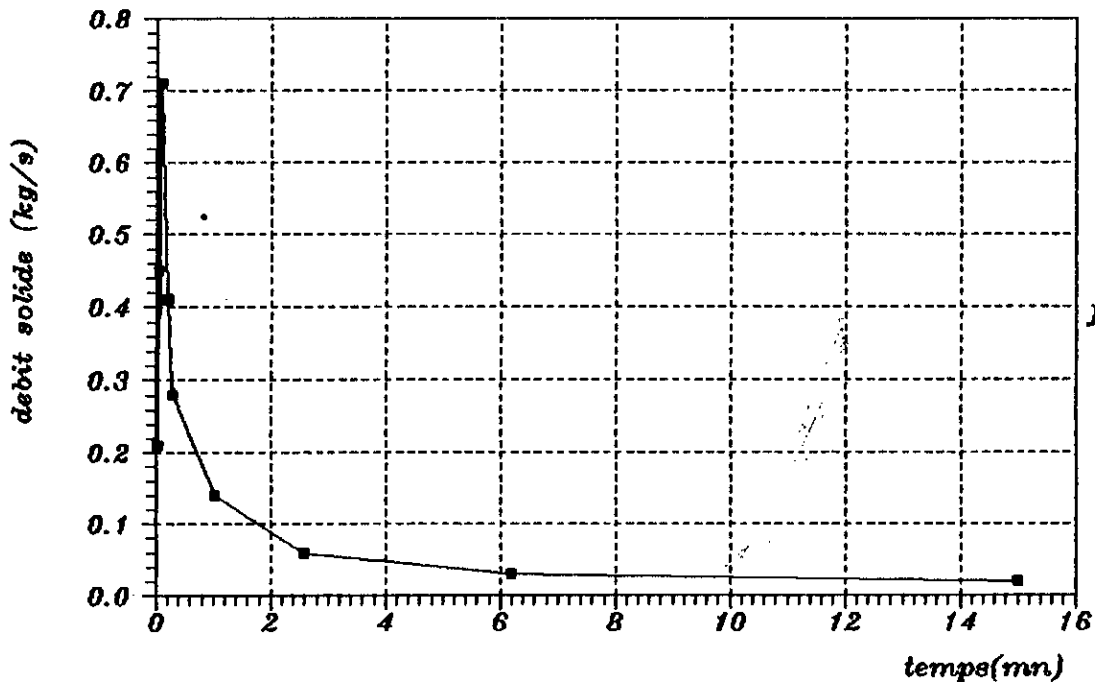


fig (5.4.a)

$Q_{so}=5.15(l/s)$
 $Rendement=35.48 \%$

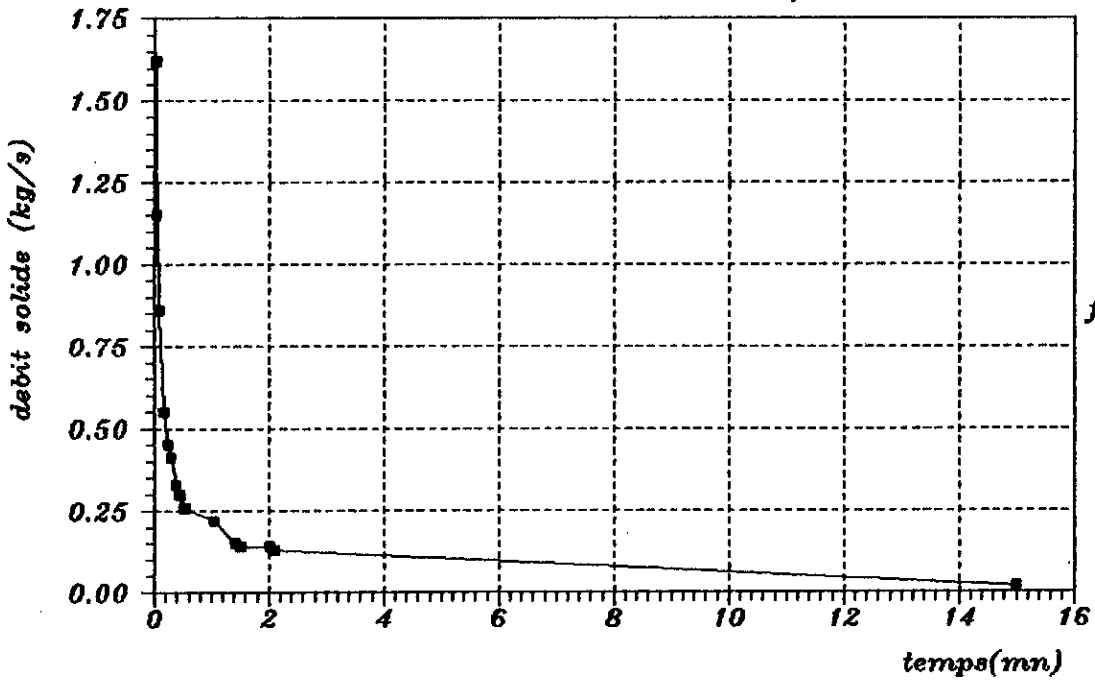


fig (5.4.b)

fig(5.4): Evolution du debit solide en fonction du temps.
 $H_s=19(cm)$

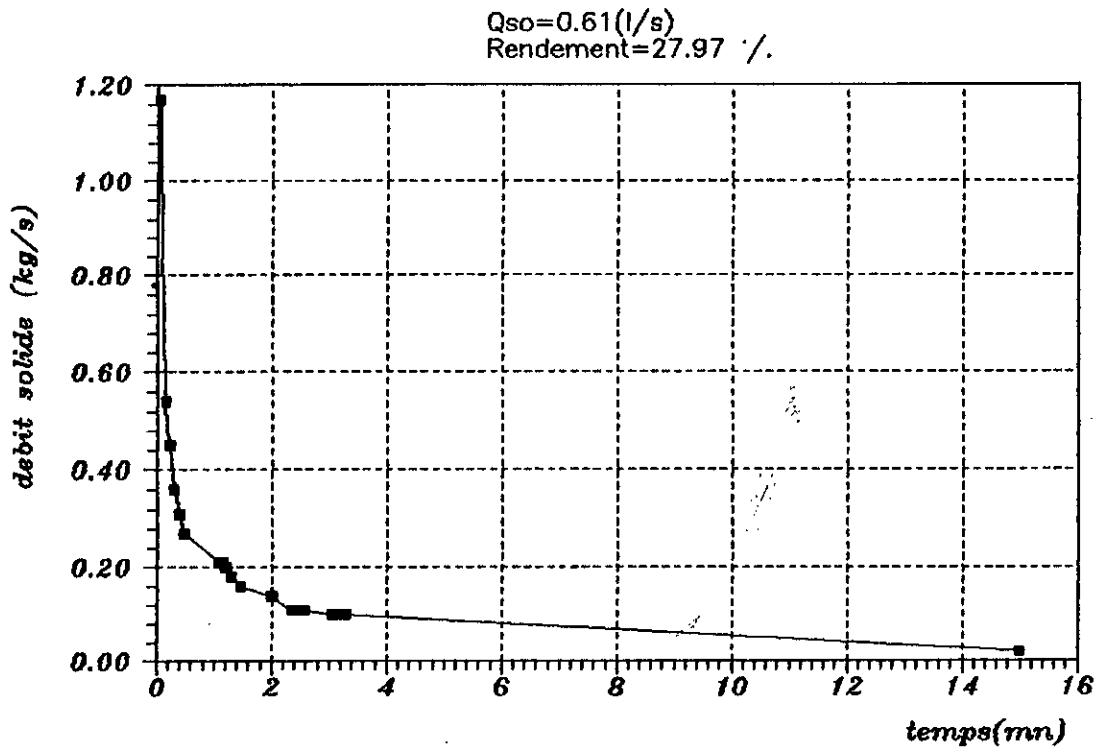


fig (5.5.a)

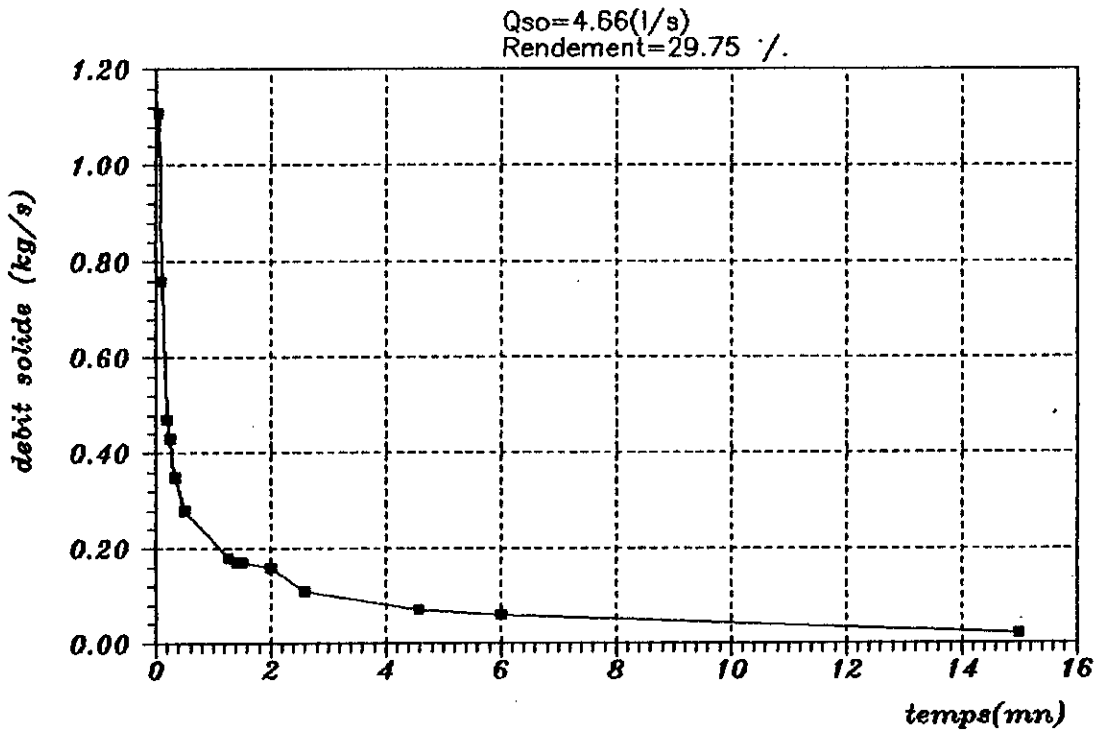
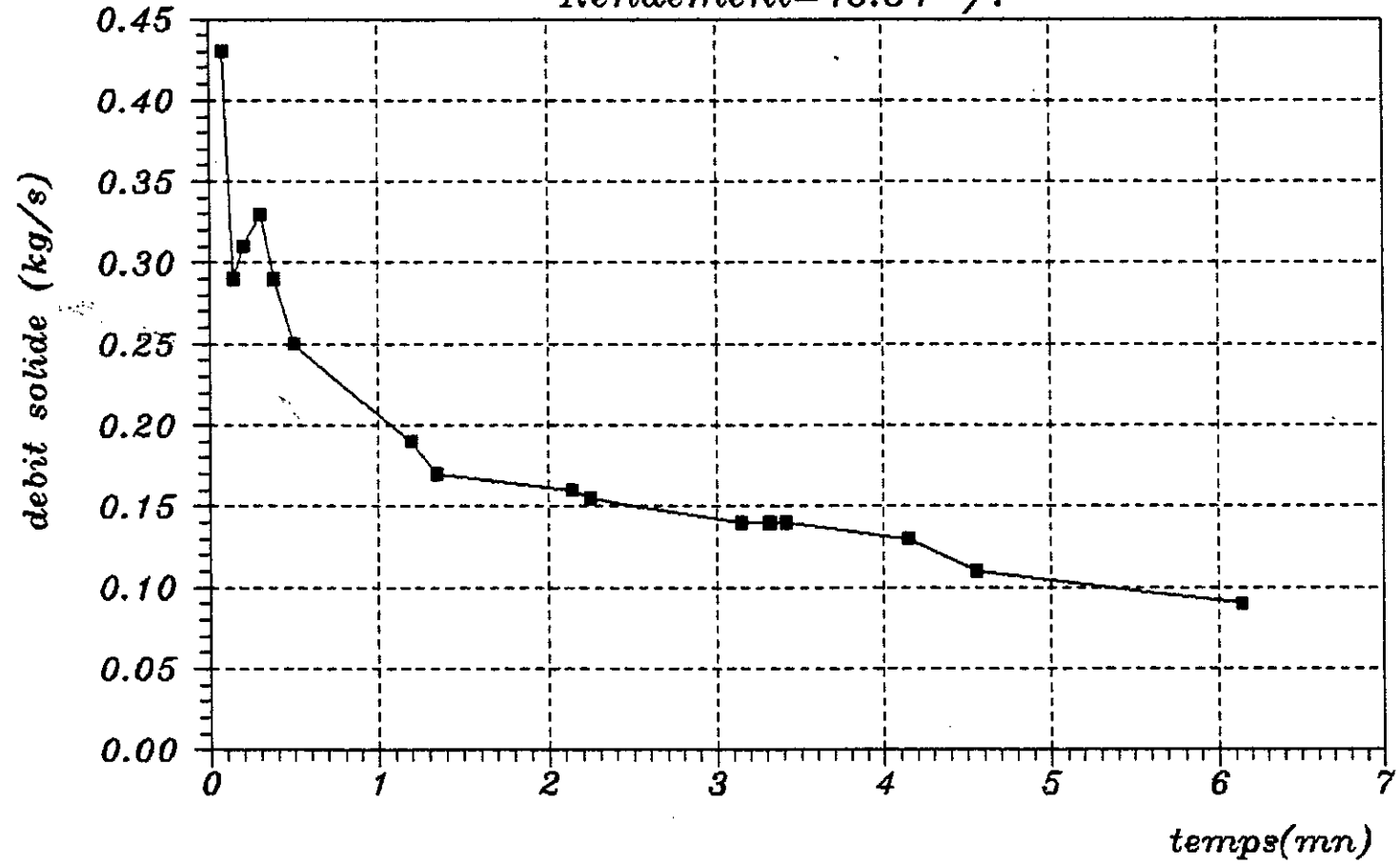


fig (5.5.b)

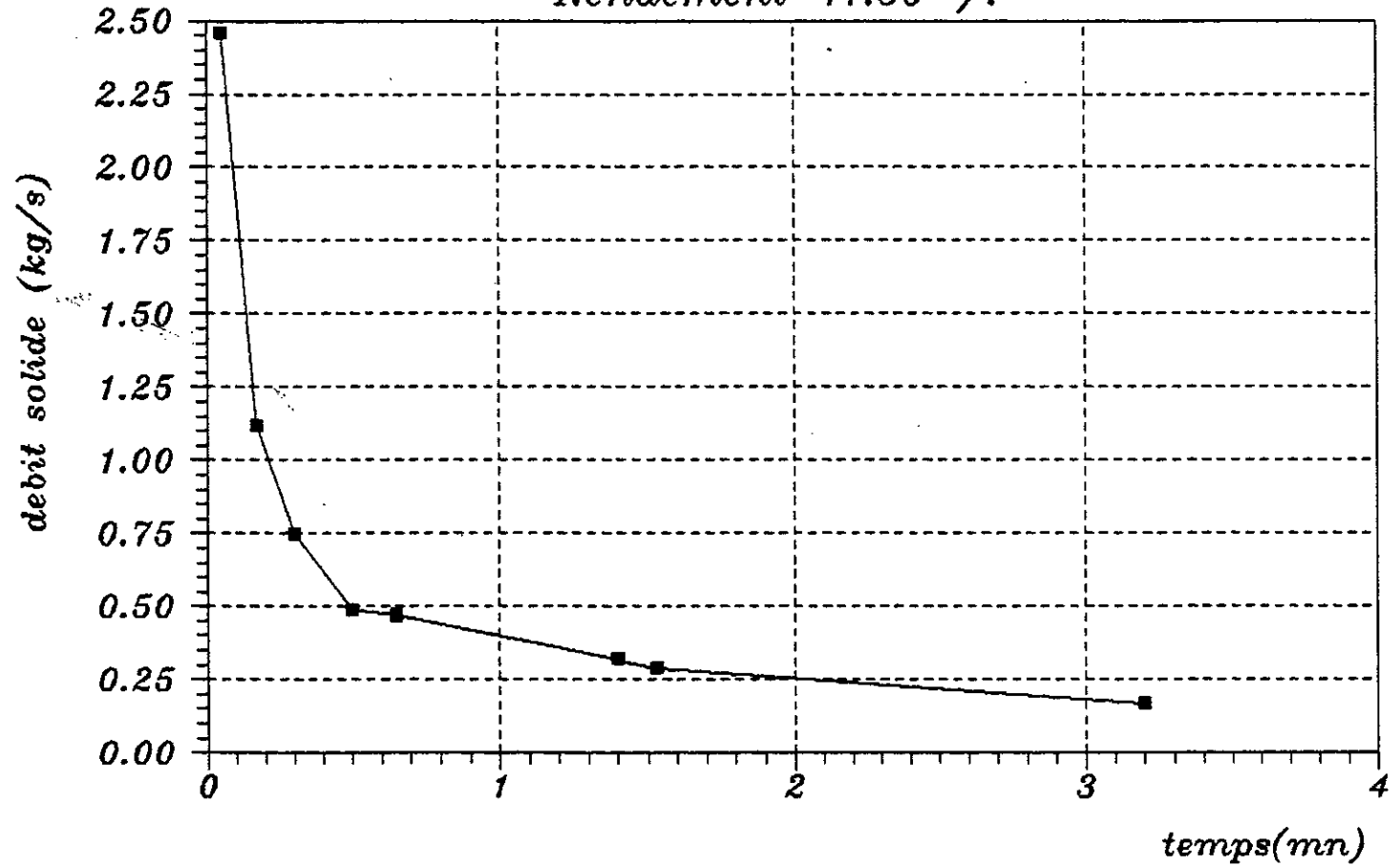
fig(5.5): Evolution du debit solide en fonction du temps.
 $H_s=24(cm)$

obstruction aval: $H_s=25$ (cm)
 $Q_{so}=0.73$ (l/s)
Rendement=43.84 %.



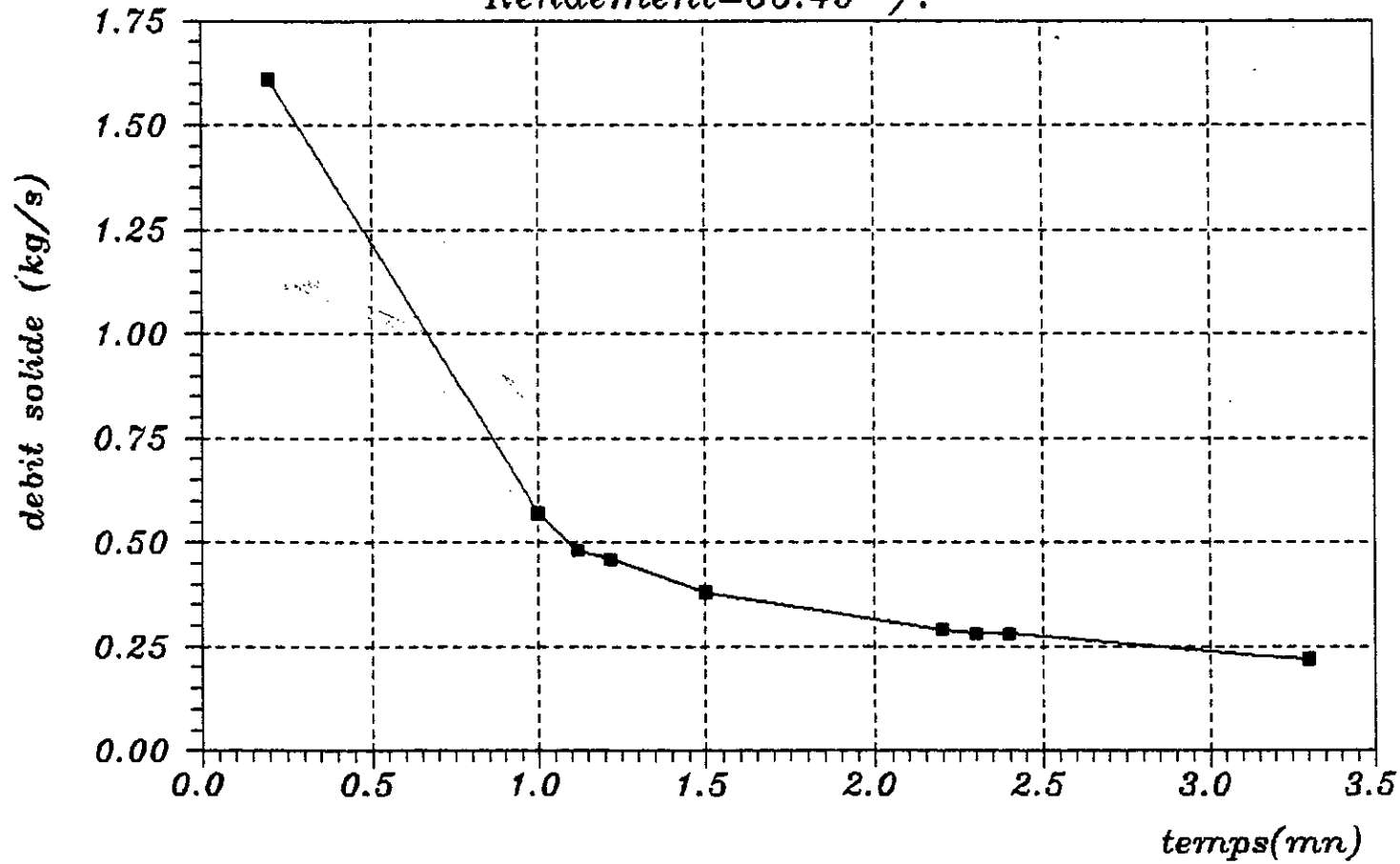
fig(5.6.a): Influence de la fente aval bouchee.

obstruction amont: $H_s=25$ (cm)
 $Q_{so}=2.47$ (l/s)
Rendement=41.59 %



fig(5.6.b): Influence de la fente amont bouchee.

singularite: $H_s=25(\text{cm})$
 $Q_{so}=2.65(\text{l/s})$
Rendement=55.49 %



fig(5.6.c): Etude de l'influence de l'obstacle.

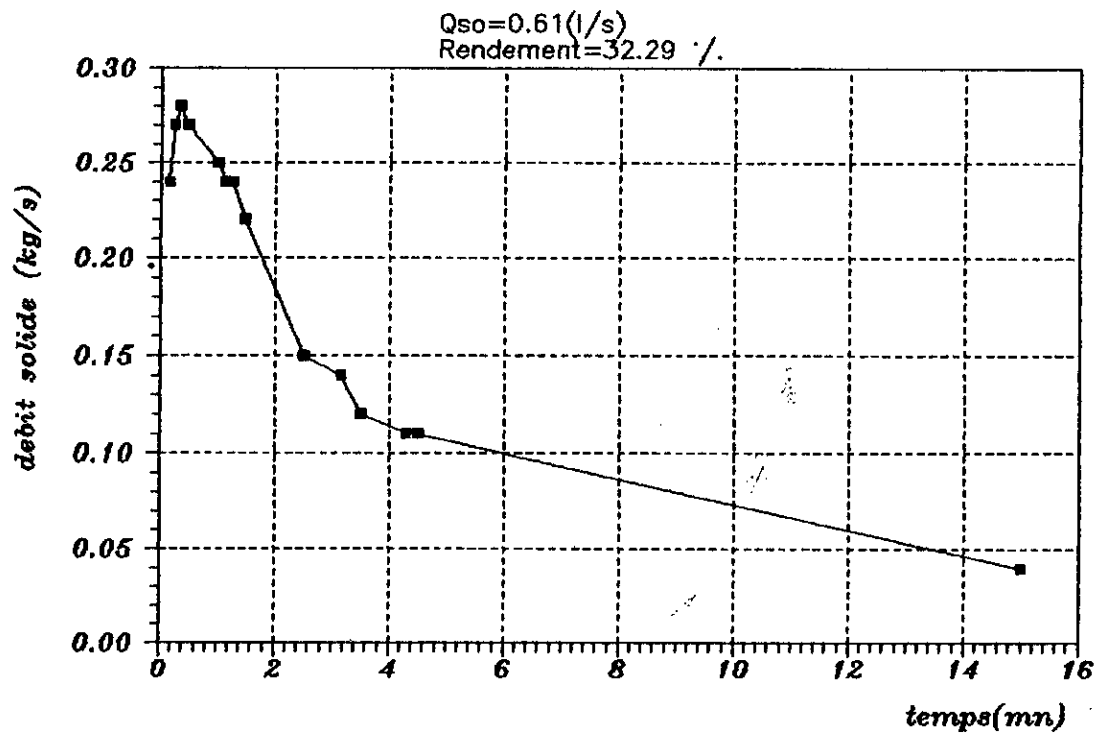


fig (5.7.a)

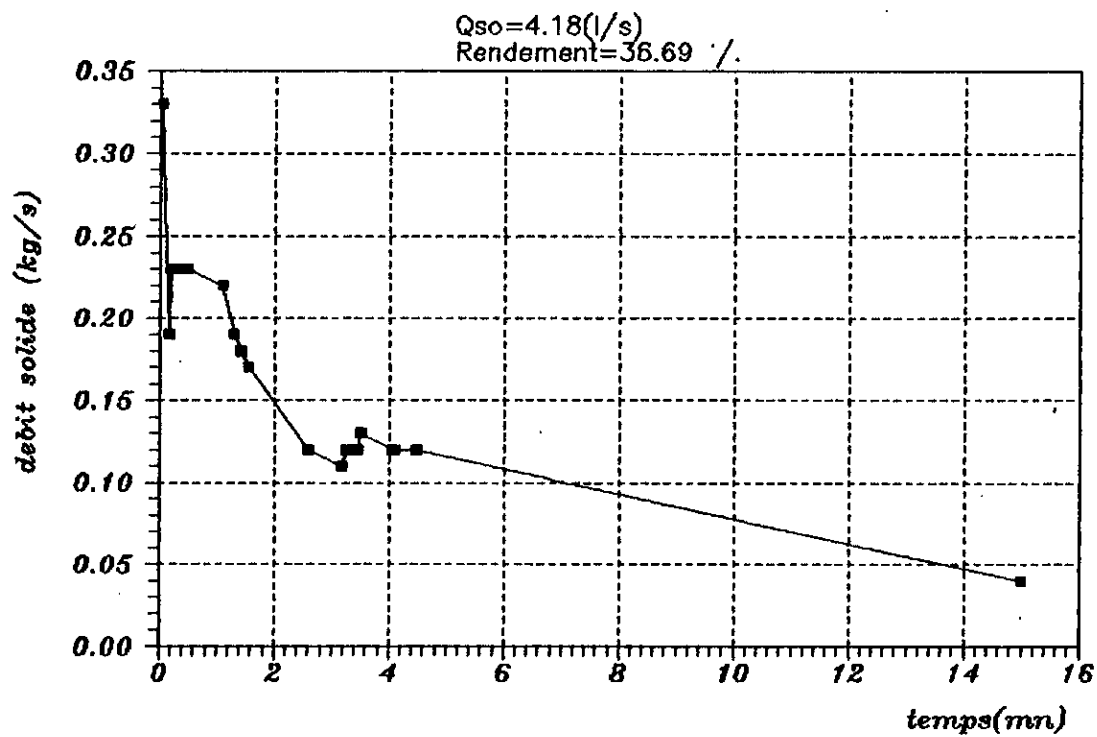


fig (5.7.b)

fig(5.7):Evolution du debit solide en fonction du temps.
 $H_s=28(cm)$

Troisième partie

Approche mathématique

CHAPITRE VI

Mise en equation du phenomene

Introduction

Afin d'une part de remédier à l'inconvénient du modèle physique (limite des paramètres étudiés), et d'autre part de mieux comprendre le processus de récupération des matériaux solides, il nous a paru indispensable de mettre au point d'une façon partielle une modélisation mathématique du phénomène;

D'autant plus, que certain nombre de constantes physiques ne peuvent être déterminées que par un calage sur les expériences effectuées sur l'installation. Afin d'éviter les calages trop artificiels, nous avons procédé pas à pas en partant du modèle numérique afin de lui associer au préalable des essais simplifiés.

6 Mise en équation du phénomène

6.1- Schématisation - définition des paramètres

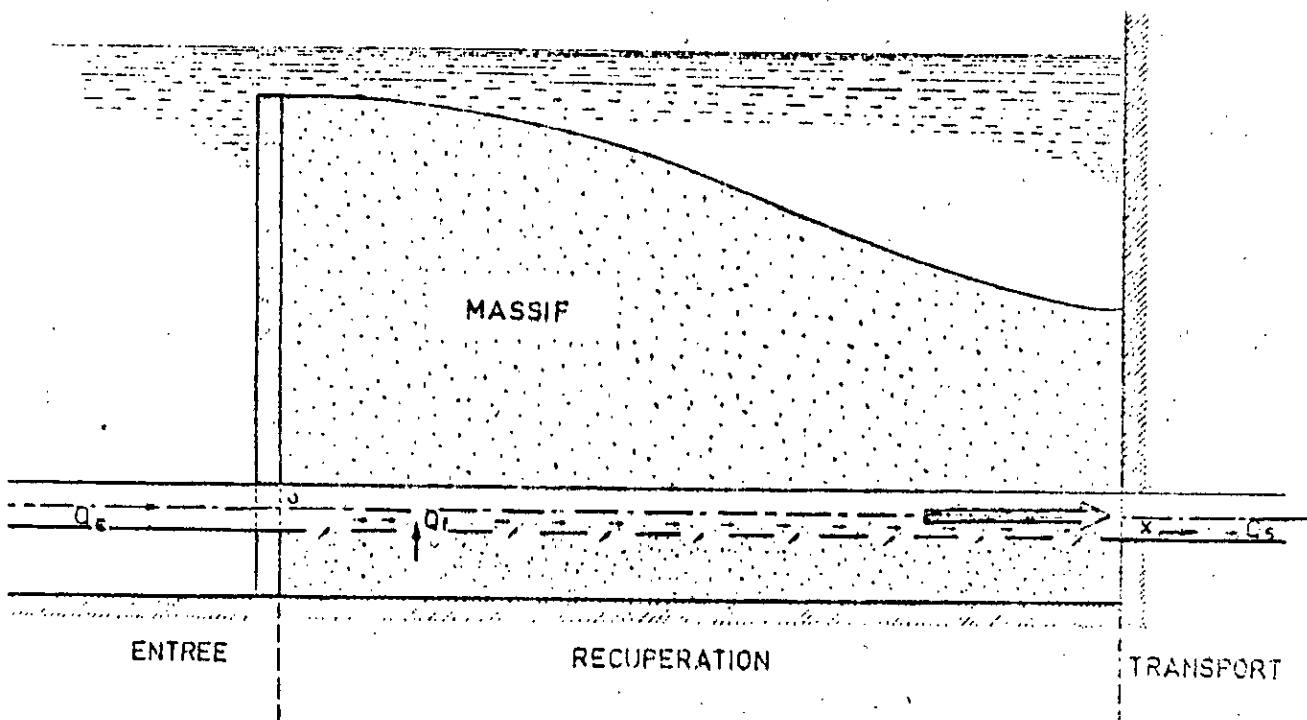


Fig 6.1

Nous désignons par:

Q_E : Débit d'entrée de la conduite;

Q_f : Débit liquide par unité de la longueur à travers la partie fendue du tube;

Q_{s0} : Débit liquide à la sortie;

U_E, U_f, U_s : vitesses associées à ces débits;

H : charge totale à l'amont du tube;

H_s : charge à la sortie de la partie fendue de la conduite;

L_1 : longueur non fendue de la conduite;

L_2 : longueur totale de la conduite jusqu'à la sortie;

e : épaisseur de la fente dans la conduite;

h_s : hauteur du sable au-dessus de la fente;

D : diamètre de la conduite;

L_a : largeur du massif de sable;

L'écoulement comporte quatre zones fig (6.1)

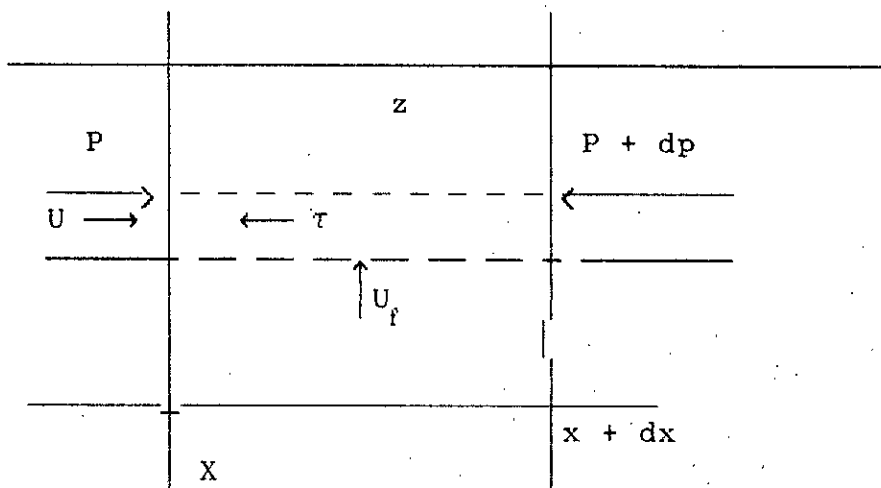
- La zone d'entrée où il n'y a pas de problèmes particuliers de modélisation;
- La zone de récupération qui constitue la partie active de l'écoulement;
- La zone de transport qui comporte tous les systèmes de contrôle de l'écoulement;
- Le massif.

Nous nous attacherons particulièrement à décrire la zone de récupération, en faisant une hypothèse fondamentale:

"Le débit de particules solides reste suffisamment faible pour ne pas perturber l'écoulement fluide tel qu'il serait obtenu s'il n'y avait pas entraînement de matériaux".

6.2 Equations de l'écoulement dans le tube:

6.2.1 Théorème des quantités de mouvement:



Considérons un tronçon de l'écoulement de longueur dx

$$\left[\sum \vec{F} \right]_x = - z \pi D dx - S dp$$

où z : représente la tension tangentielle à la paroi;

p : pression supposée constante sur une section droite;

Admettons que z soit la tension tangentielle correspondant aux pertes de charges en régime uniforme:

$$z = \lambda \rho \frac{U^2}{8}$$

où λ est le coefficient de perte de charge linéaire;

$$\left[\sum \vec{F} \right]_x = - \left\{ \lambda \rho \frac{U^2}{8} \pi D dx + S dp \right\}$$

La variation de quantité de mouvement en projection sur l'axe ox est:

$$D'où \quad \rho \left\{ Q(x + dx) \cdot U(x + dx) - Q(x) U(x) \right\} = 2 \rho S U(x) du$$

$$2 \rho S U(x) du + \pi D \lambda \rho \frac{U^2}{8} \cdot dx + S dp = 0$$

$$\rho \frac{\pi D^2}{2} U(x) dU + \pi D \lambda \rho \frac{U^2}{8} dx + \frac{\pi D^2}{4} dp = 0$$

$$U \frac{dU}{dx} + \frac{\lambda}{4D} U^2 + \frac{1}{2\rho} \frac{dp}{dx} = 0 \quad (1)$$

6.2.2 Equation de continuité

$$Q(x + dx) = Q(x) + Q_f dx$$

$$\frac{dQ}{dx} = Q_f$$

⇓

$$\frac{du}{dx} = \frac{e}{s} U_f$$

6.3 Equations de l'écoulement à travers le massif:

6.3-1 Equation de l'énergie:

En appliquant cette équation en un point A situé dans la fente d'aspiration, on obtient:

$$H = \frac{P(x)}{\rho g} + \frac{U_f^2}{2g} + \nabla hf + \nabla hm \quad (3)$$

où ∇hf : pertes de charge dans la fente;

∇hm : pertes de charge dans le massif;

Par analogie avec les études des élargissements brusques, on

On pose:

$$\nabla hf = \alpha \frac{U_f^2}{2g}$$

où α est un coefficient à déterminer (expérimentale).

Et d'après la loi de Darcy:

$$\nabla h_m = \frac{1}{K} U_{in} h_s(x)$$

où k : est la perméabilité;

U_{in} : est la vitesse à l'intérieur du massif et que nous supposons constante;

6.3.2 Equation de continuité:

L'équation de continuité appliquée à l'écoulement dans le massif et à travers la fente permet d'écrire:

$$U_{in} \cdot L_a = U_f \cdot e$$

d'où en rassemblant (3) et (4):

$$H = \frac{P(x)}{\rho g} + \frac{U_f^2}{2g} (1 + \alpha) + U_f \left[\frac{e}{L} \right] \frac{h_s(x)}{K} \quad (5)$$

ou encore:

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + U_f \frac{du_f}{dx} (1 + \alpha) + \frac{g \cdot e}{L\alpha} \left[h_s \frac{du_f}{dx} + u_f \frac{dh_s}{dx} \right] = 0 \quad (6)$$

6.4- Système différentiel des lois de l'écoulement

Pour une distribution $h_s(x)$ donnée, l'écoulement à travers la zone de récupération par un système différentiel de trois équations à trois inconnues.

Posons: . $Y_1 = U$
 . $Y_2 = P$
 . $Y_3 = Uf$

Les équations (2), (1), (6) peuvent s'écrire:

$$Y_1 = \frac{e}{s} Y_3$$

$$Y_2' = - 2 \rho Y_1 \left\{ \frac{\lambda}{4D} Y_1 + Y_1' \right\}$$

$$Y_3 = - \frac{\frac{1}{\rho} Y_2' + \left[\frac{g \cdot e}{K \cdot L \alpha} \right] Y_3 h_s}{Y_3 (1 + \alpha) + \frac{g \cdot e}{K \cdot L \alpha} \cdot h_s} \quad (7)$$

La solution de ce système est complètement déterminée par les conditions aux limites suivantes:

- pression à l'entrée de la partie fendue,

$$Y_2(0) = \left[H - \left[\frac{(Y_1(0))^2}{2g} \right] \left(1 + Z + \frac{\lambda L_1}{D} \right) \right] \rho g$$

qui provient de l'équation de l'écoulement dans la zone d'entrée, et où Z désigne le coefficient de perte de charge correspondant à l'entrée du tube.

- vitesse dans la fente pour $x = 0$ donnée par l'équation (5):

$$\frac{\rho}{2} \left[Y_3(0) \right]^2 (1+\alpha) + Y_3(0) \rho g \left[\frac{e}{L \alpha \cdot K} \cdot h_s(0) \right] + Y_2(0) - \rho g H = 0$$

dont la seule solution physique acceptable est:

$$Y_3(0) = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$A = \frac{\rho}{2} (1+\alpha)$$

$$B = \rho g \frac{e}{L\alpha \cdot K} h_s(0)$$

$$C = Y_2(0) - \rho g H$$

(Cette solution est la seule positive puisque $A > 0$ et $C < 0$).

- Loi de transport dans la partie aval:

$$H_s = f(Q_s) = f \left[U(L_2) \right]$$

Sur la base des équations précédentes, le modèle permet d'étudier:

- la variation du débit solide Q_s en fonction du diamètre de la conduite;
- la variation du débit solide en fonction de la largeur de la fente et de leurs distance;
- déterminer les conditions d'entraînement critique en fonction de la géométrie de la conduite, et les mécanismes de transport, etc...

CONCLUSIONS

Conclusion

Ce travail préliminaire bidimensionnel ne constitue qu'une approche dans la mise au point d'un système de récupération de matériaux solides décantables dans une retenue d'eau. Il représente en quelque sorte une étude de "faisabilité" en employant l'expression connue des bureaux d'étude.

Les critères que l'on doit retenir pour une telle installation sont les suivants:

évacuer par un écoulement sur une longueur importante, un massif sédimentaire en utilisant un minimum de quantité d'eau soutirée.

Les essais sur le modèle réduit sont encourageants, et ont permis de montrer que, s'il était possible d'obtenir des concentrations en matériaux solide physiquement raisonnable, avec une géométrie simple, l'érosion débutant à l'aval de la zone de récupération peut être totale mais, nous étions dans l'incapacité d'évacuer tout le massif sédimentaire.

Par contre l'utilisation d'une singularité de rétrécissement de la section de la conduite a permis une augmentation appréciable du débit solide soutiré. Il est de même que la fermeture amont de la conduite a pour effet d'attendre aussi bien les sédiments amont que celle du milieu du massif sédimentaire.

Suite à ces résultats préliminaires encourageants, il nous est paru absolument indispensable sa mise en équation pour une éventuelle modélisation mathématique, afin de décrire l'influence respective des divers paramètres physiques, et proposer une meilleure solution.

Ce modèle doit montrer l'influence fondamentale des courants d'infiltration qui sont responsable:

- de l'entraînement du matériau solide dans la conduite
- de la création des pertes de charge linéaire, paramètre essentiel du contrôle de la répartition de pression le long de la conduite, contrôlant elle-même les vitesses d'infiltration: (C'est à dire le paramètre de "réglage" de l'érosion du massif sédimentaire).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[1] ALQUIER, M

"Le transport solide dans les canaux découverts et les rivières naturelles"

Cours, ENSEEIHT, Toulouse 1976-1977

[2] A. BACHOC

"Le transport des solides dans les réseaux d'assainissement unitaire"

ENPG. 1992

[3] M. BERKANI

"Cours de transport solide par charriage et suspension"

ENP- 1992

[4] GRAF, W.H

"Hydraulics of sediment transport"

MC Graw Hill, 1971

[5] B. Le Gunnec

"Transport solide et morphologie fluviale"

Cours E.NSEEIH, Toulouse 91/92

[6] Guidelines

"Maitrise de l'alluvionnement des retenues"

UNESCO 1988-1989

[7] RAMETTE

"Hydraulique fluviale" jE-DF 1981

[8] B. REMINI

"Etude hydrodynamique du mécanisme de l'envasement"

Magister 1989

[9] P. YVERGNIAUX

"Modèle particulière Euro-Lagrangien pour la
modélisation du transport solide en hydraulique à
surface libre"

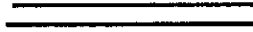
ENPG. 1989

[10] M. Zech

"Conférence sur le transport solide"

E.N.P- dpt hydraulique-1992

ANNEXES



Conditions critiques d'entraînement (tyaux)

tab 2.1

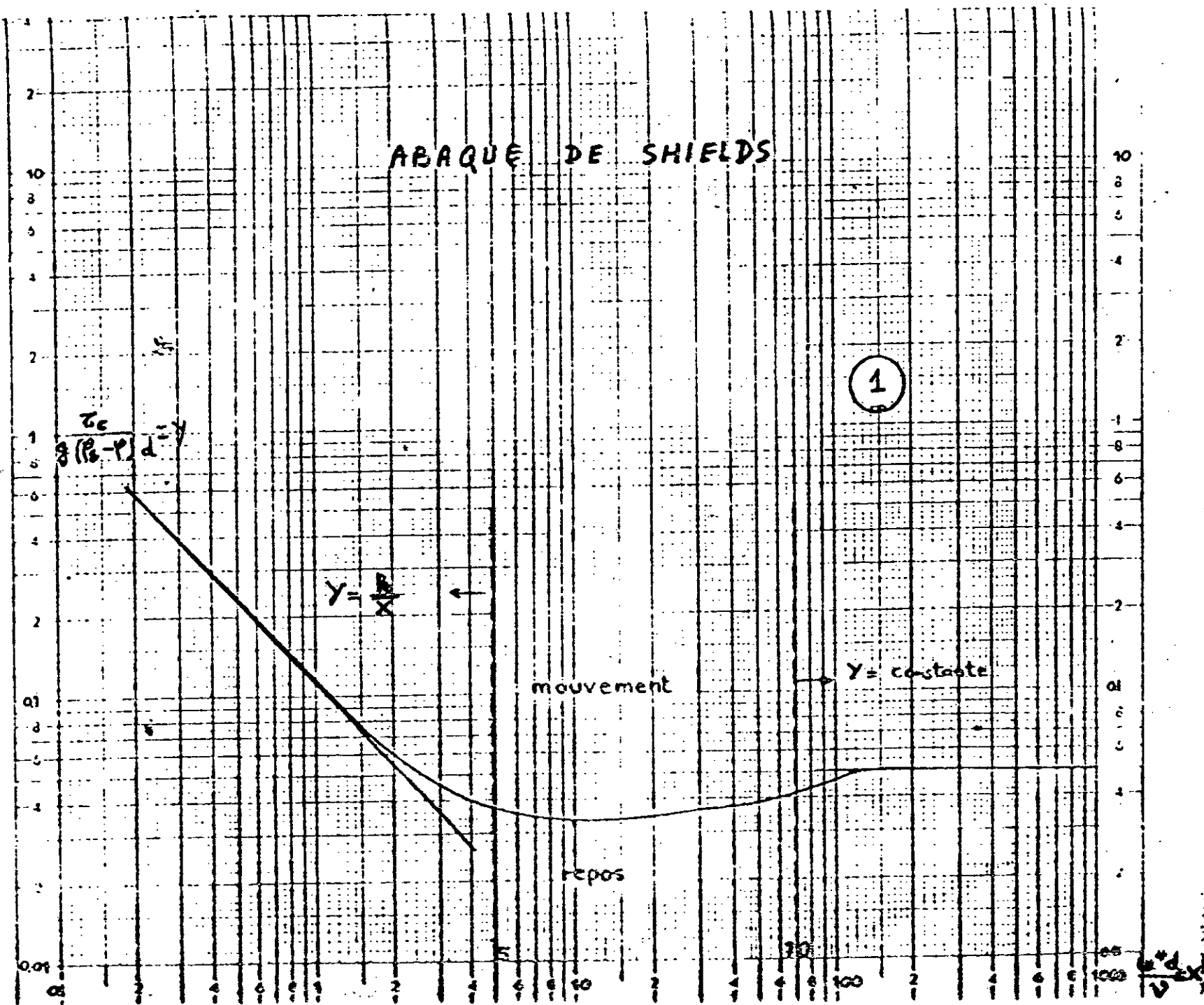
N°	Auteurs	Formules	Conditions
1	YUKIN (1949)	$U_c = 20.08 d^{0.65} D^{0.64} \exp(a)$	$C_y < 0.3$
2	WILSON	$\frac{W}{U_{*c}} = 0.01 Re^{2.71}$	$d < 0.078 \text{ mm}$
3	Tomas (1962)	$\frac{W}{U_{*c}} = 0.01 Re^{2.71}$	$d < 0.078 \text{ mm}$
		$\frac{W}{U_{*c}} = 4.9 R_{e*} R_e^{-0.6} (s-1)^{0.22}$	$d = 0.19 \text{ à } 38.1 \text{ mm}$
4	HUCHMARK (1961)	$\frac{U_c}{\sqrt{g D}} = 10 [(g-1)]^{0.2}$	$C_y (s-1) < 10$
5	TASK committel-ASCE	$U = K d_{50}^{\alpha_1} D^{\alpha_2} C_4^{\alpha_3} (s-1)^{\alpha_4}$	$d \text{ en mm}$ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ dépendent de d_{50}

Pertes de charges en tyaux (charriage)

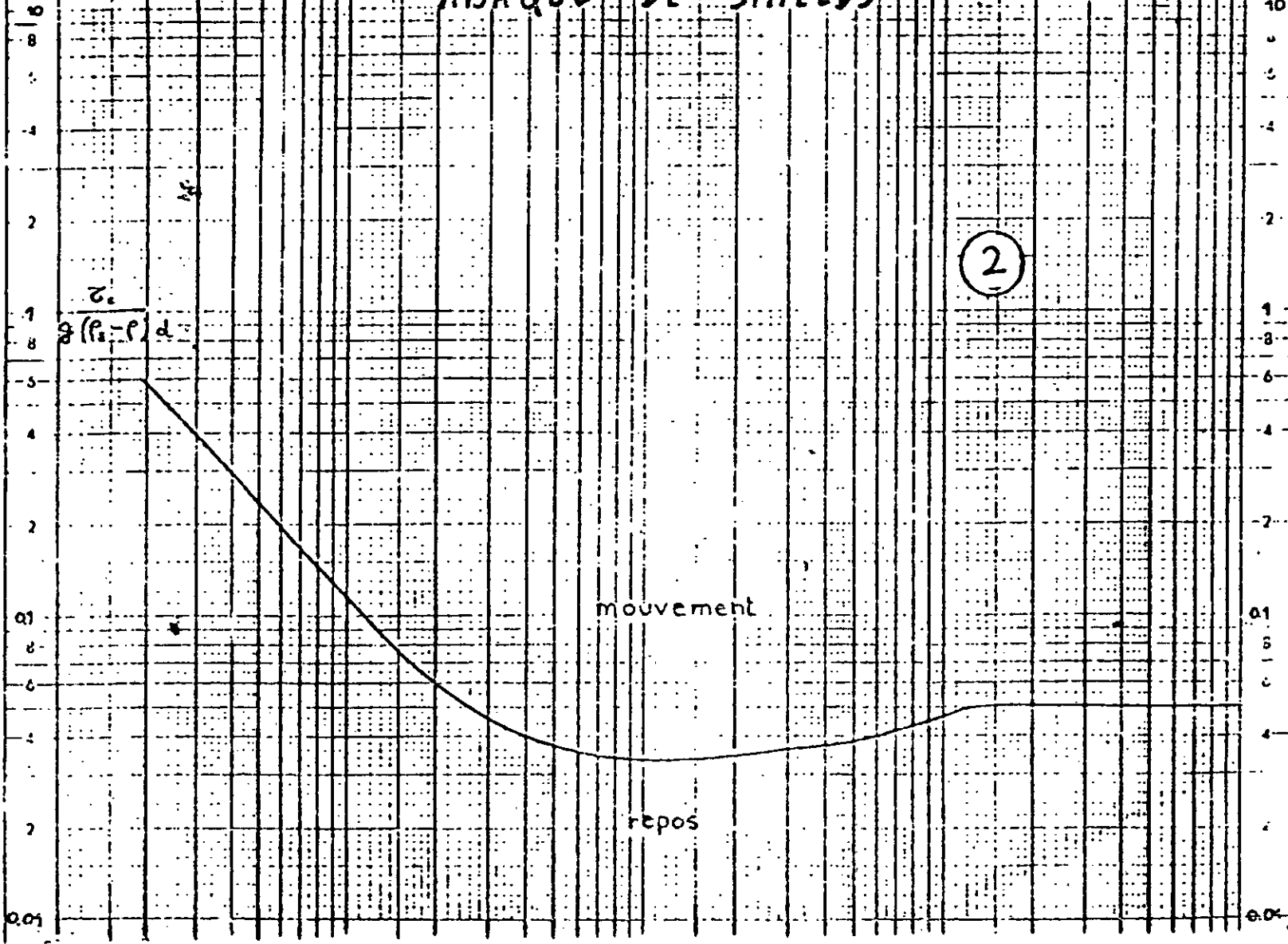
Tab 2.2

N°	Auteurs	Formules	Conditions
1	DURAN CONDOLIOS (1952)	$\phi_T = 66 \psi_T$ $\phi_T = 82 \left[\frac{d D}{U^2} \cdot \frac{1}{C D^{1/2}} \right]^{1/5}$	d=0.2 à 25mm D=40 à 500mm $C_m = 5$ à 60%
2	ZANDI-GOVATE (1967)	$\phi_T = K \psi_T^m$ $K = 280, m = 1.93$ $K = 6.3, m = -0.354$	$\psi_T < 10$ $\psi_T > 10$
3	CHARLE	$\phi_T = 8144^{-1.5} + (s-1)$	$C_y \leq 0.25$
4	NEWITT (1955)	$\phi_T = 1100(s-1) \frac{g D}{U^2} \cdot \frac{W}{U}$ $\phi_T = 66(s-1) \frac{g D}{U^2}$	Suspension hétérogène Suspension à lit mobile
5	GILBERT (1960)	$\phi_T = K \left[\frac{U^2 \sqrt{CD}}{4 g R_H (s-1)} \right]^{-1.5}$	avec dépôt
6	HAYDON - STELSON (1971)	$\phi_T = 100 \left[\frac{g D W (s-1)}{U^2 (gd(s-1))^{1/2}} \right]^{1/3}$	—

ABRQUE DE SHIELDS



ABRQUE DE SHIELDS



$$X \frac{1}{1000} \sqrt{\frac{X^2}{g}}$$

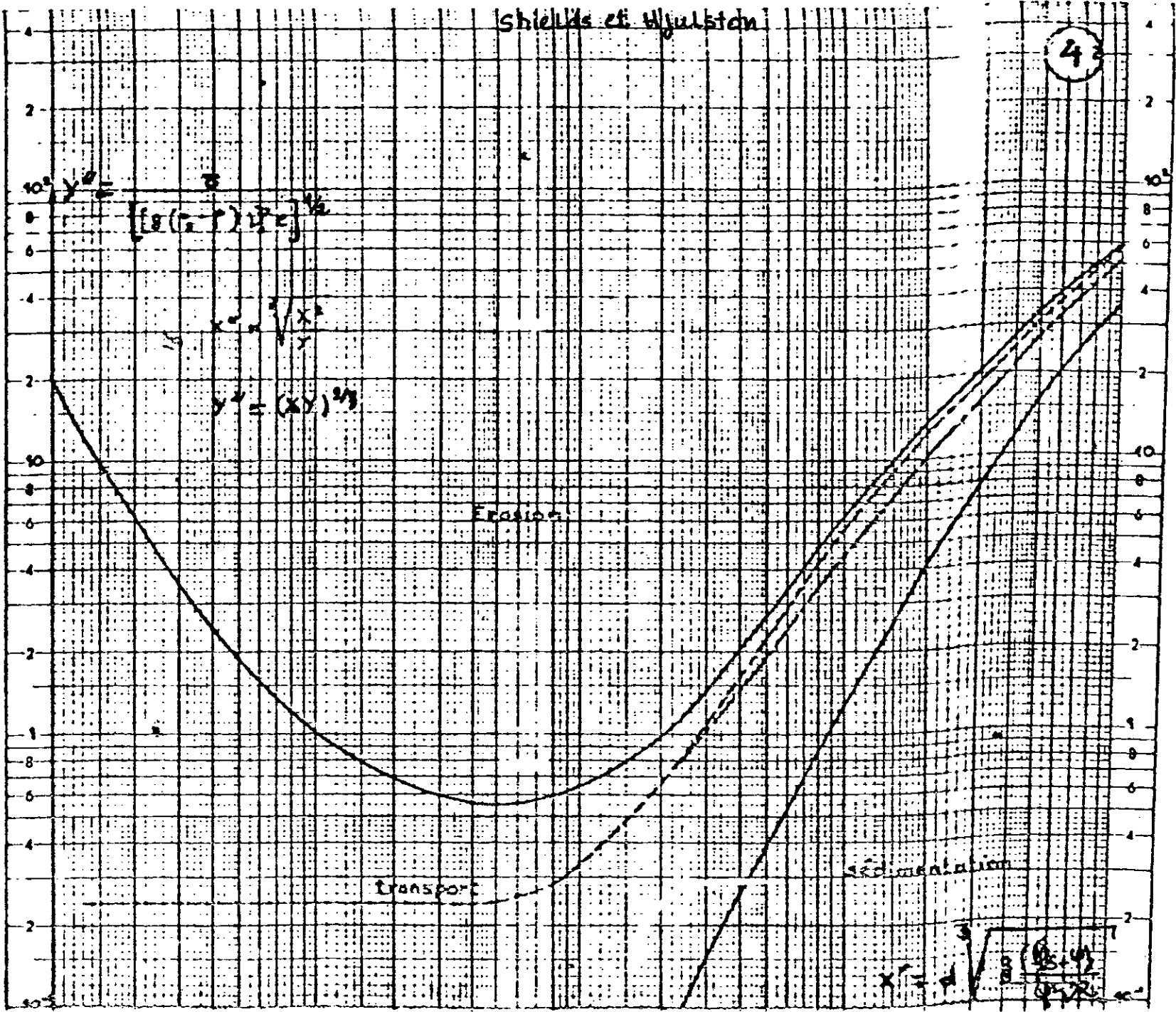
Shields et Hjulston

43

$$10^3 y^2 = \frac{8}{[8(\tau - 1) + \tau^2]^{3/2}}$$

$$x^2 = \frac{3}{\tau} \sqrt{\frac{x^2}{\tau}}$$

$$y^2 = (x\tau)^{2/3}$$



Erosion

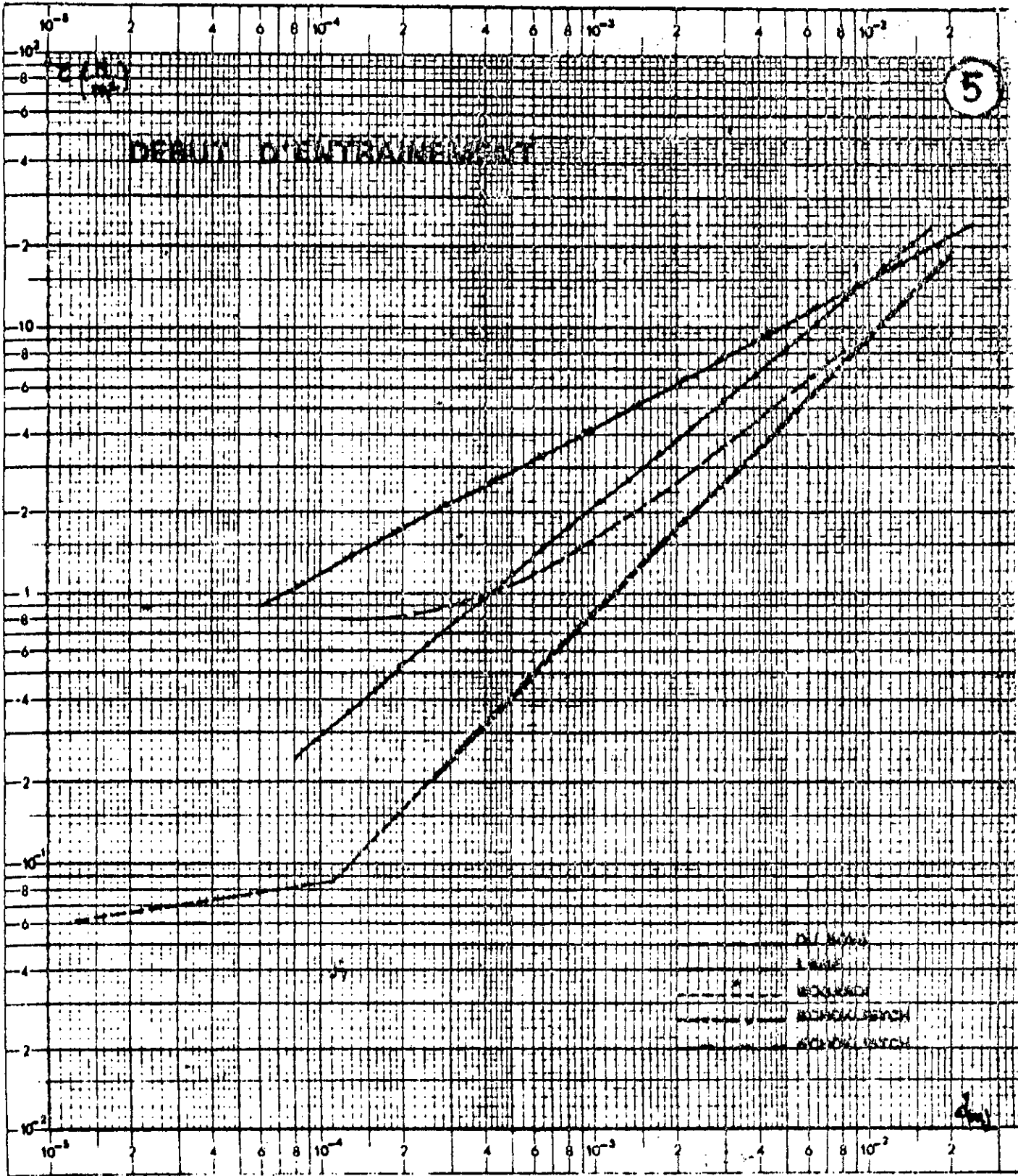
Transport

Sedimentation

$$x^2 = d \sqrt{\frac{8(\tau - 1)}{g \tau^2}}$$

5

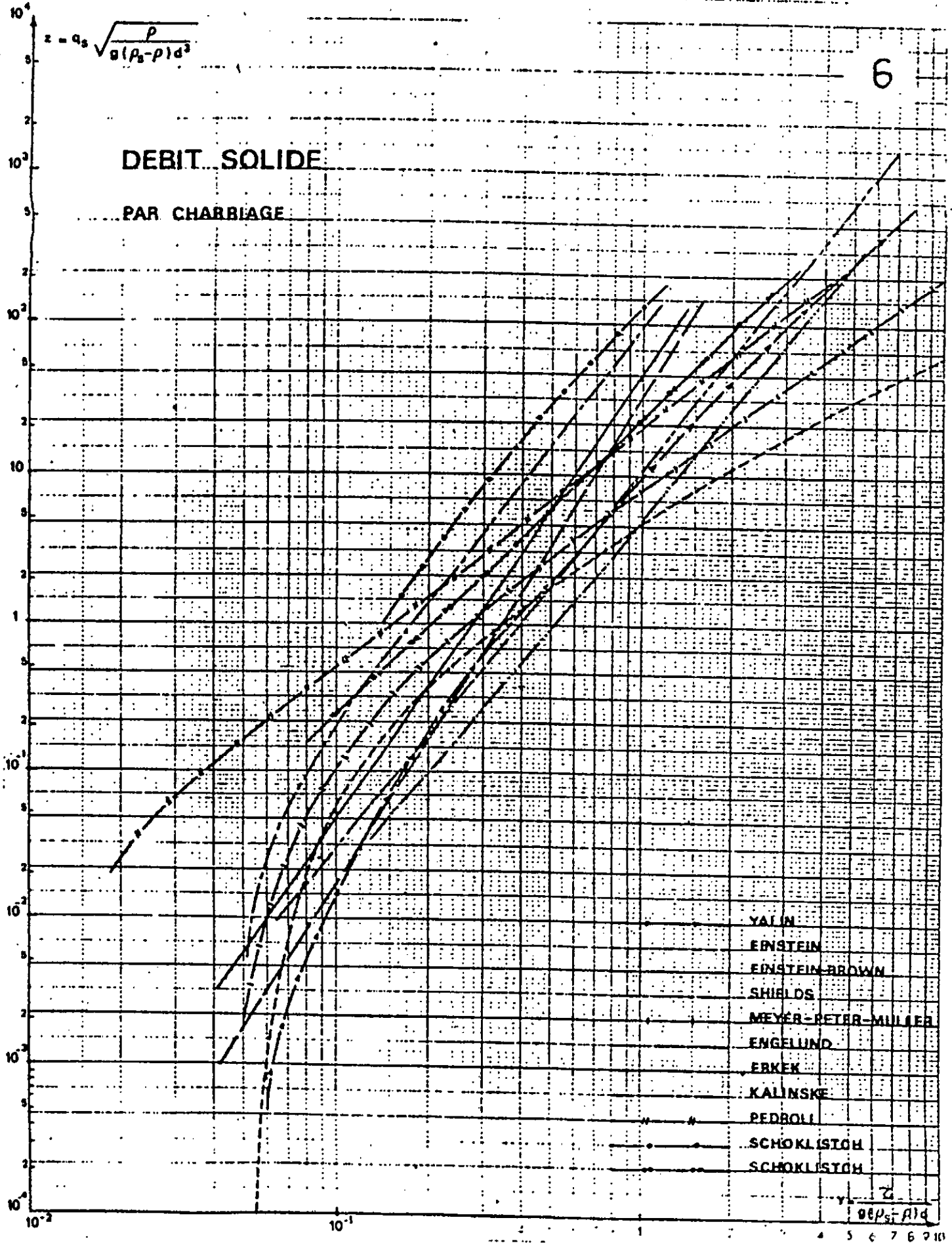
DEBITO DISUTRANEMENYAT



$$z = q_s \sqrt{\frac{\rho}{g(\rho_s - \rho)d^3}}$$

DEBIT SOLIDE

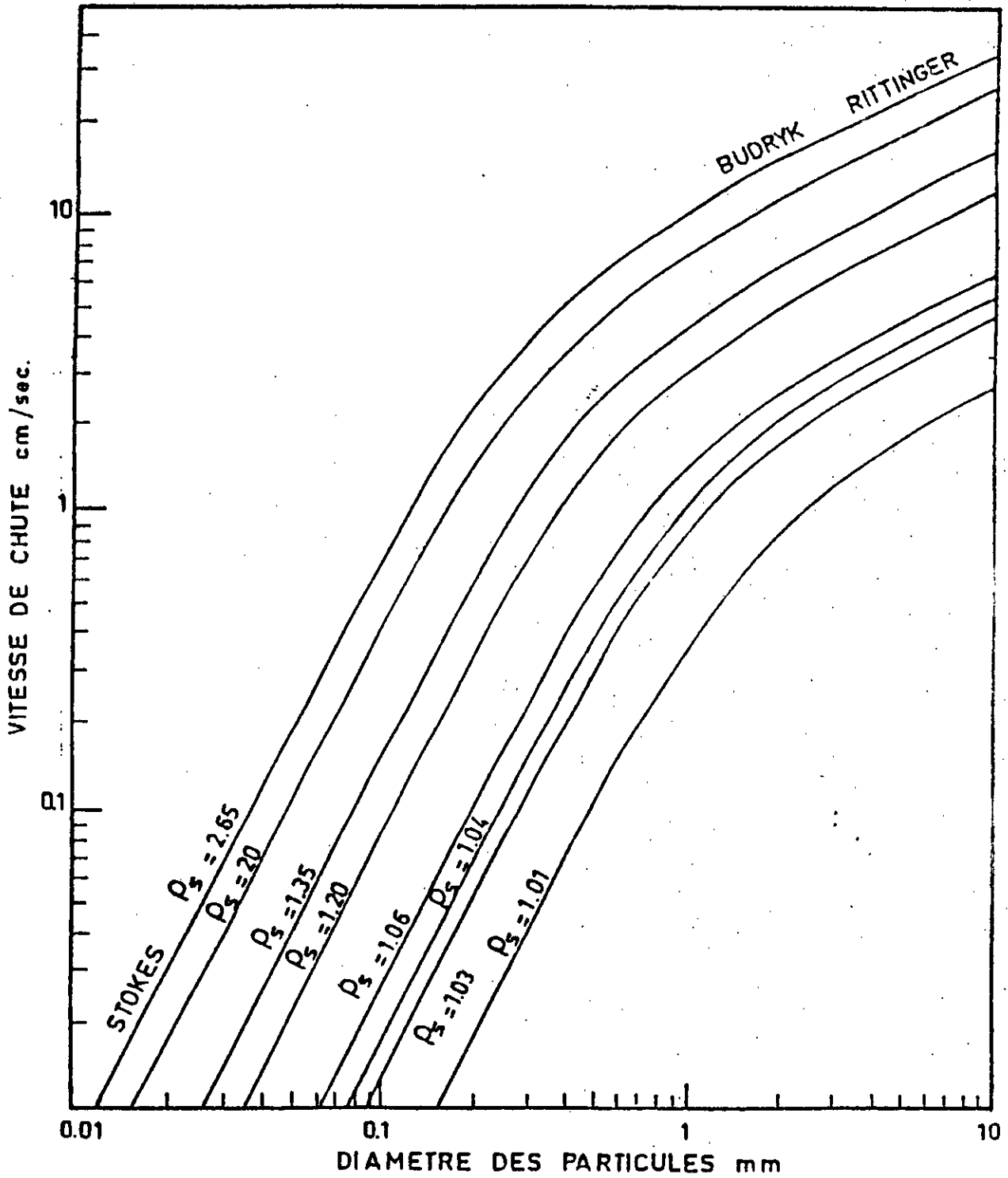
PAR CHARBIAGE



- YALIN
- EINSTEIN
- EINSTEIN-BROWN
- SHIELDS
- MEYER-PETER-MULLER
- ENGELUND
- ERKEK
- KALINSKE
- PEDBOLI
- SCHOKLISTOH
- SCHOKLISTOH

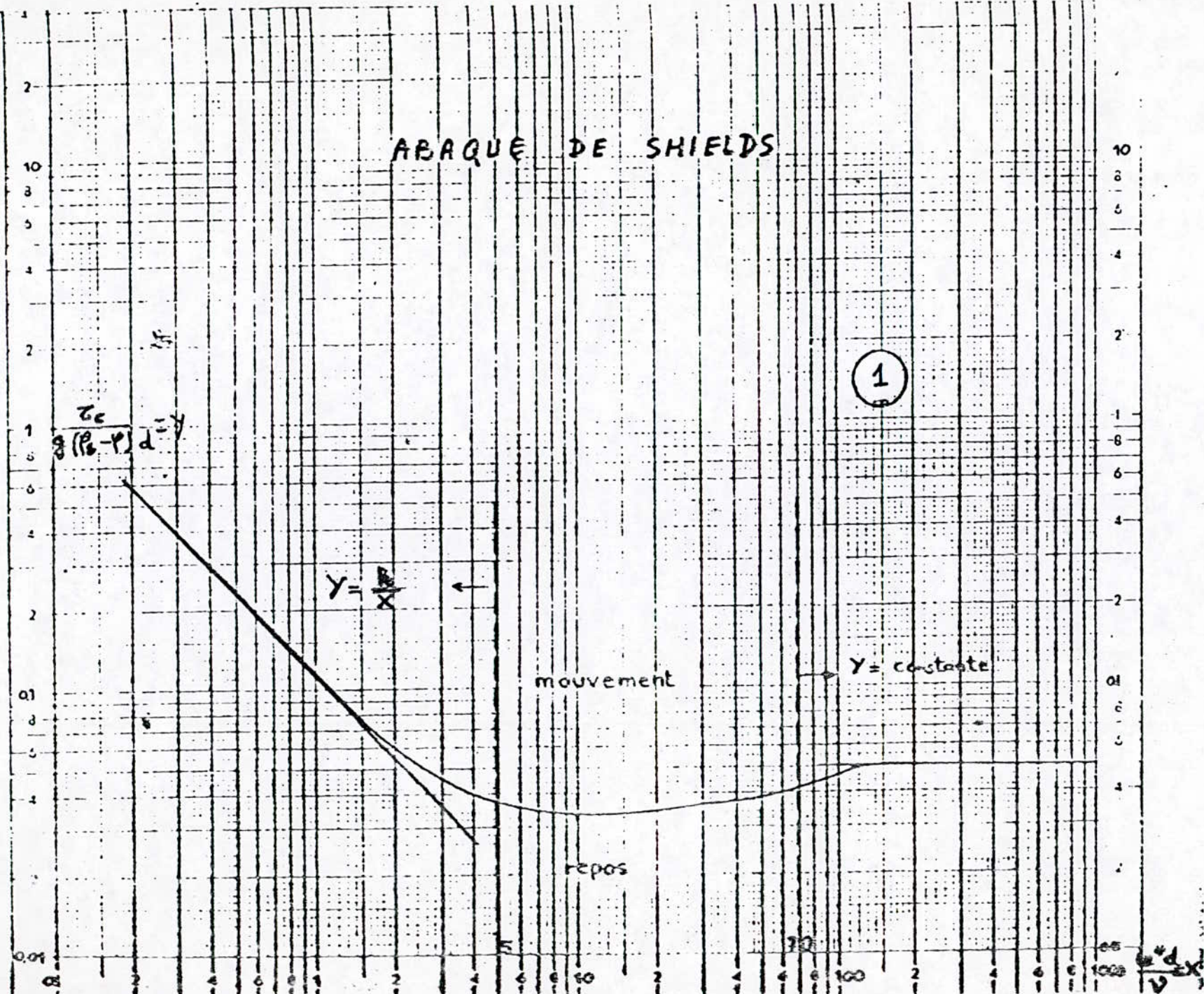
q_s

Reference : Hydraulique et Granulats J. Larras

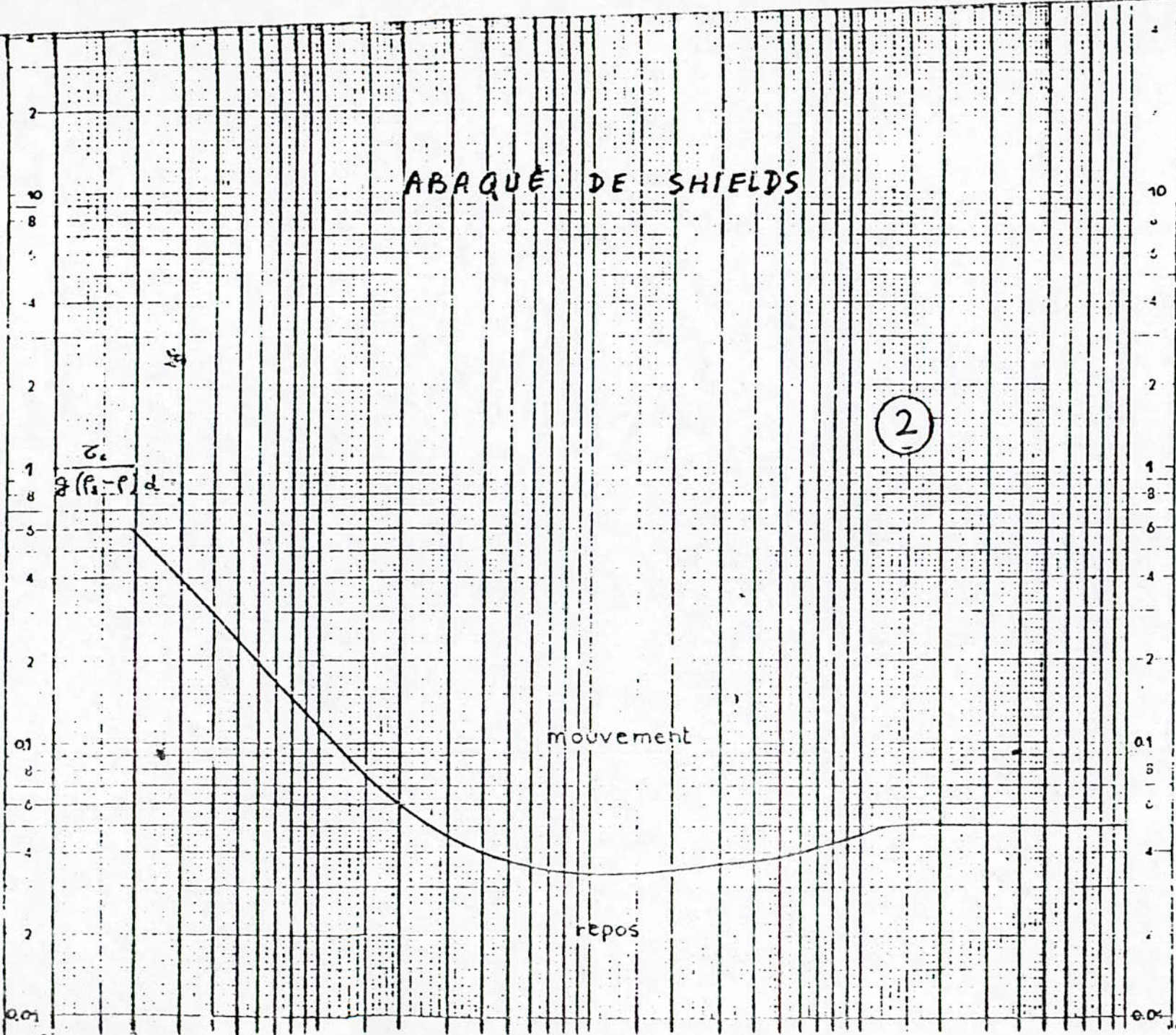


VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES SOLIDES EN EAU CALME

ABOQUE DE SHIELDS



ABRÈGE DE SHIELDS



$$\frac{\sigma_c}{\rho(\rho_s - \rho) d}$$

mouvement

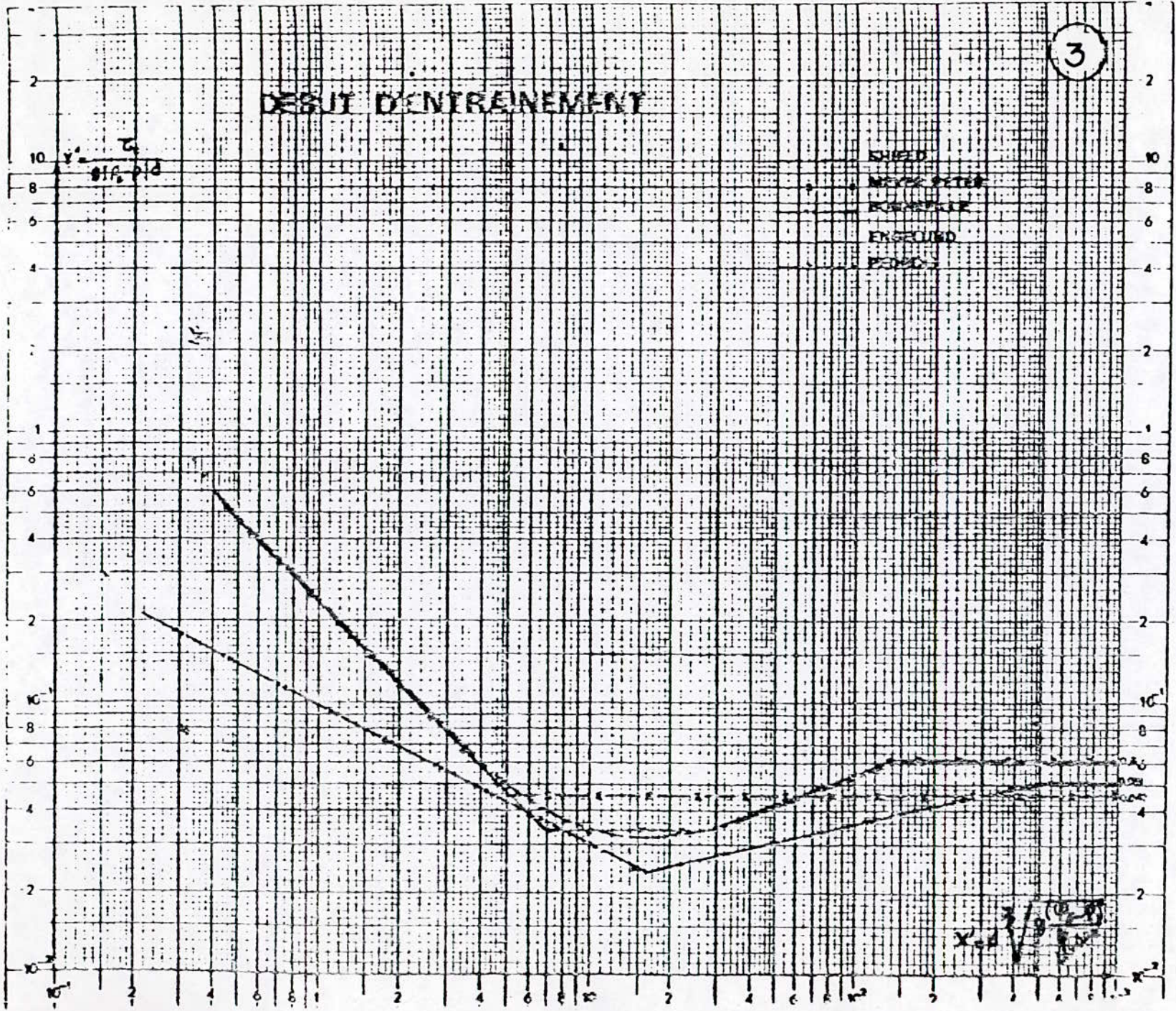
repos

2

$$X_1 = \sqrt[3]{\frac{X_2}{\rho}}$$

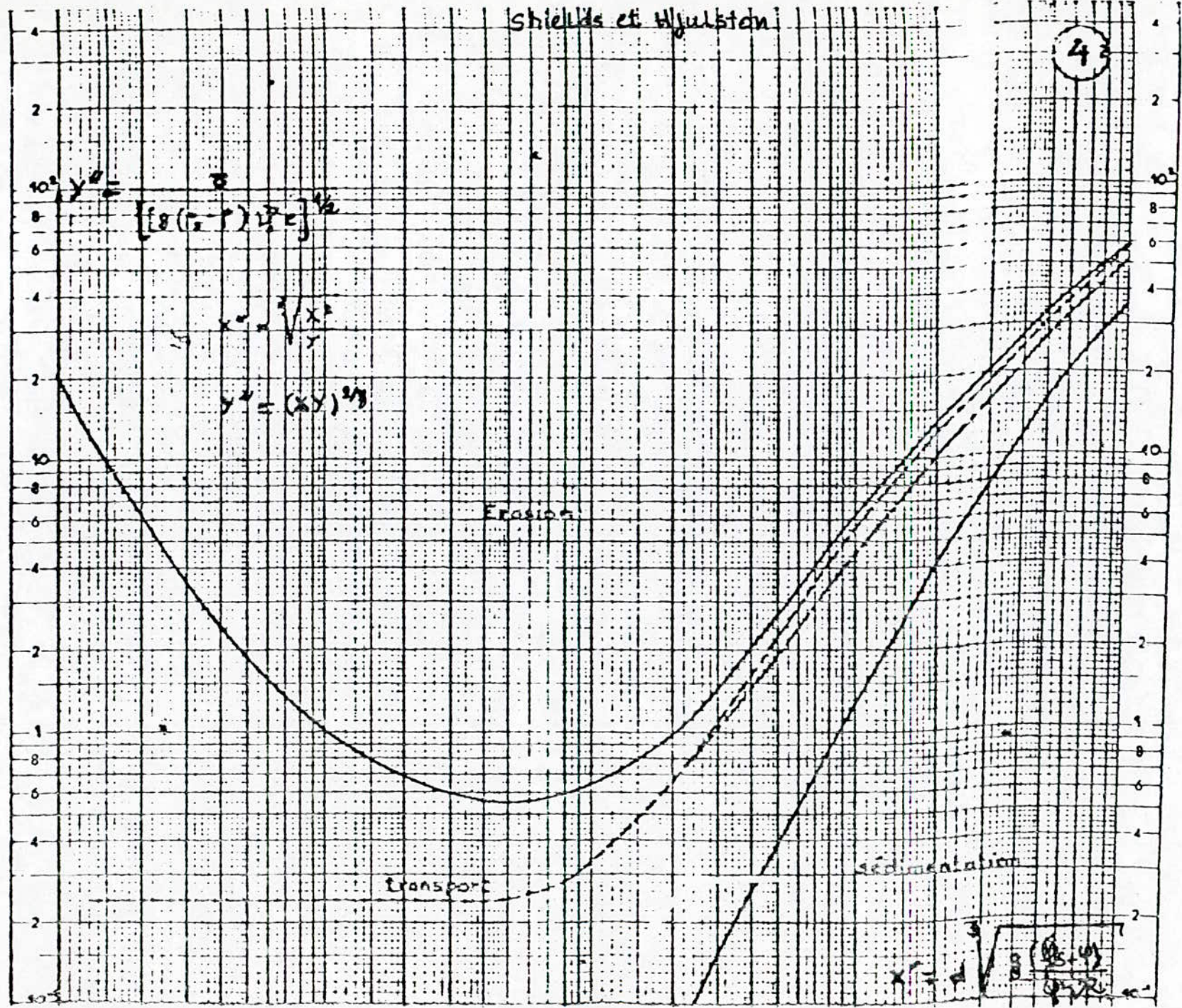
3

RESUL D'ENTREINEMENT

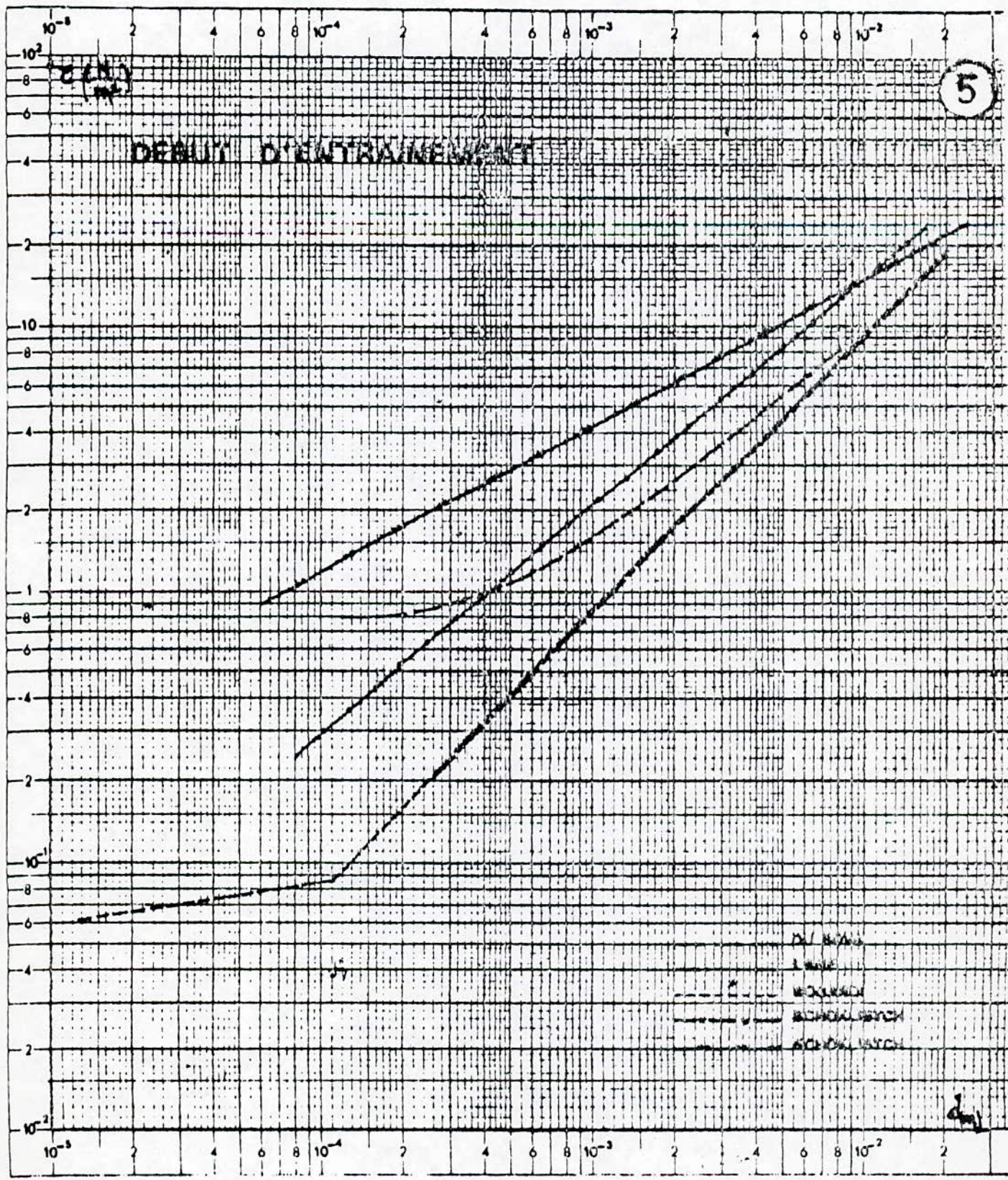


Shields et Hjulstén

4



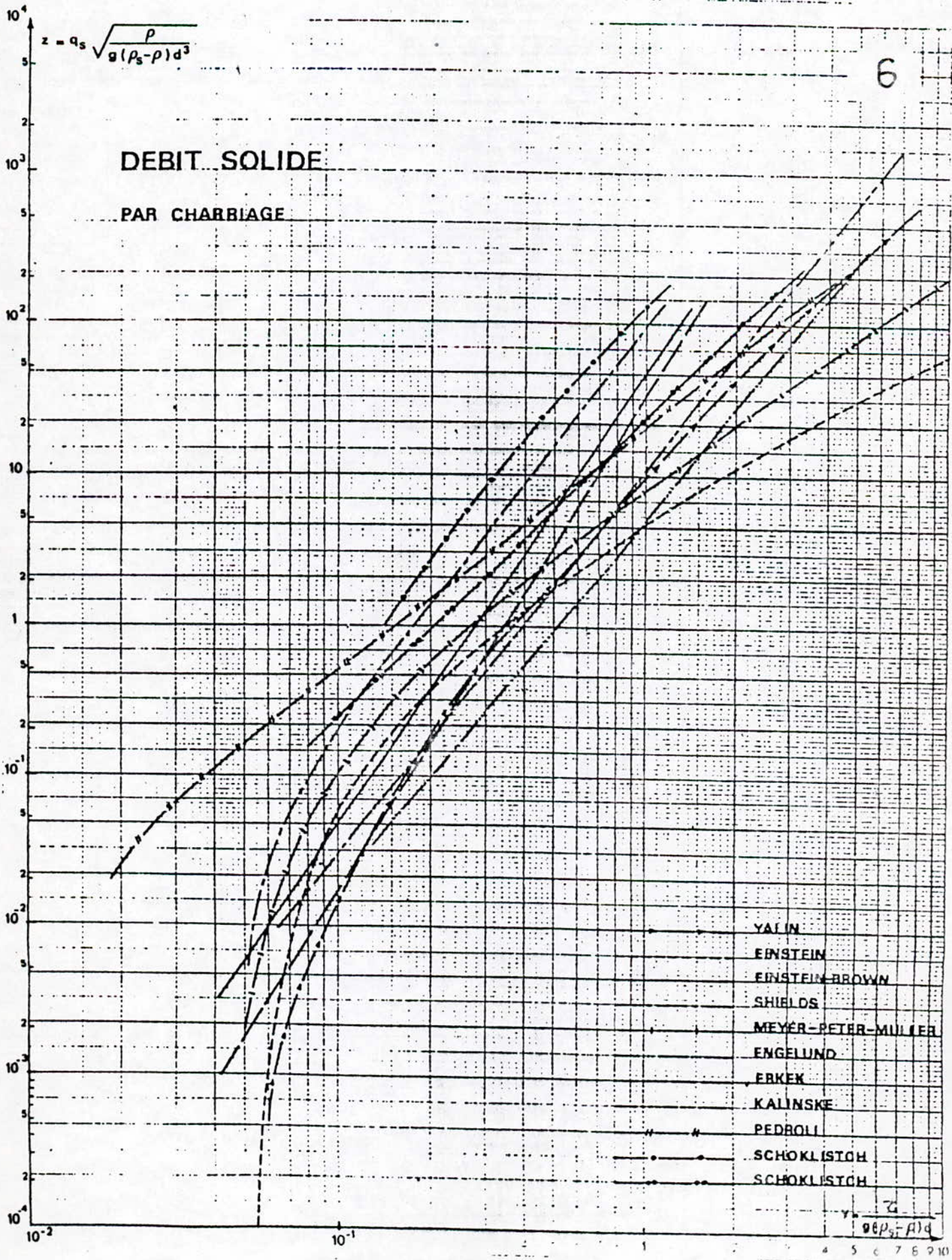
DEBIT D'ENTRAINEMENT



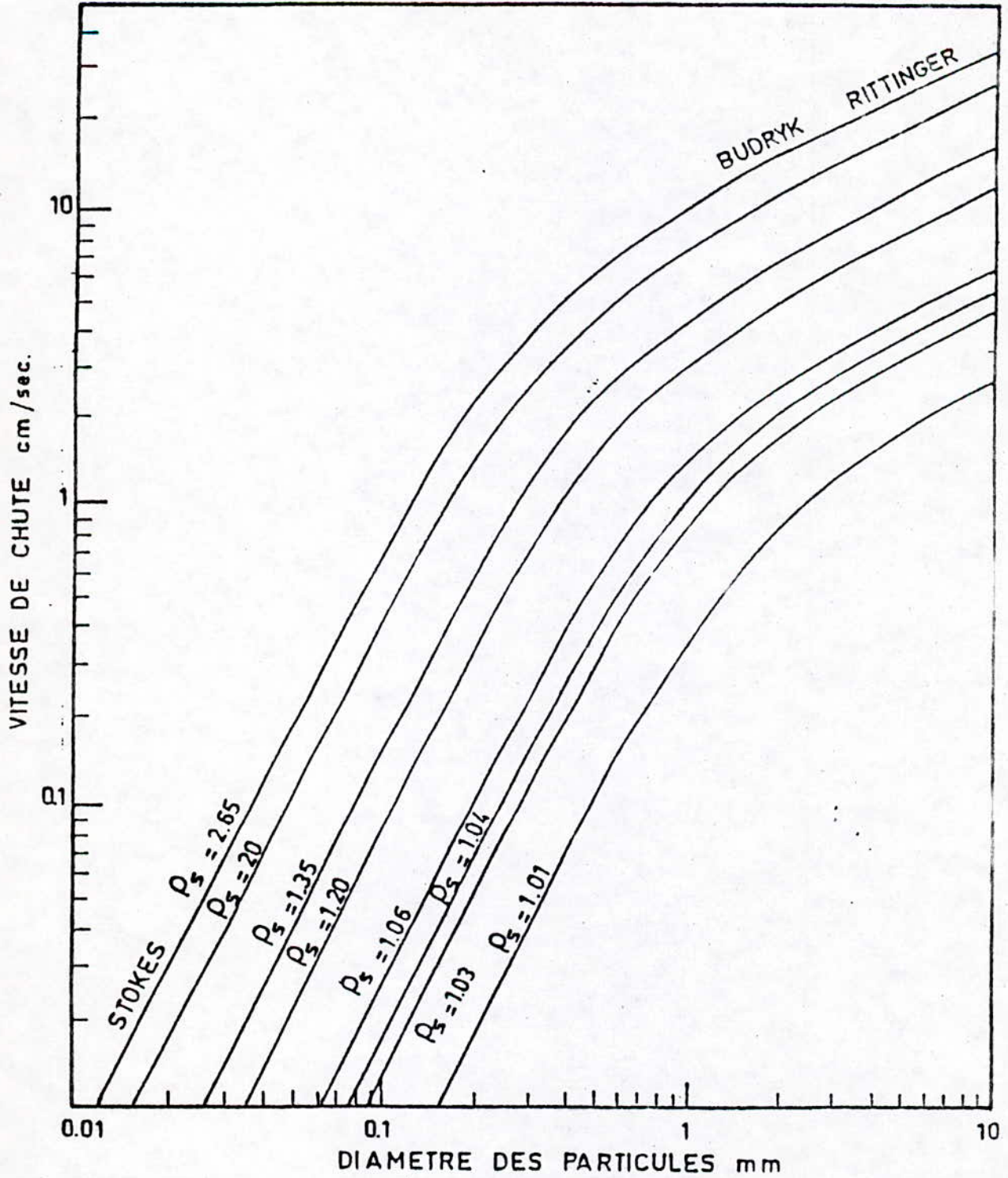
$$z = q_s \sqrt{\frac{\rho}{g(\rho_s - \rho)d^3}}$$

DEBIT SOLIDE

PAR CHARBIAGE



Reference : Hydraulique et Granulats J. Larras



VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES SOLIDES EN EAU CALME