

9/91

وزارة الجامعات

Ministère aux Universitaires

المدسة الوطنية للعلوم والتقنيات

BIBLIOTHEQUE - المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

2ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE HYDRODYNAMIQUE DE LA CIRCULATION
EN REGIME TRANSITOIRE DANS UNE RETENUE:
BARRAGE DE BENI-AMRANE

Proposé par :

Mr M. BERKANI

Etudié par :

Mr H. MATALLAH

Mr K. BENKAHLA

Dirigé par :

Mr M. BERKANI

PROMOTION

Juin 1991



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE HYDRODYNAMIQUE DE LA CIRCULATION
EN REGIME TRANSITOIRE DANS UNE RETENUE:
BARRAGE DE BENI-AMRANE

Proposé par :

Mr M. BERKANI

Etudié par :

Mr H. MATALLAH

Mr K. BENKAHLA

Dirigé par :

Mr M. BERKANI

PROMOTION

Juin 1991

—ooOO R E M E R C I E M E N T OOoo—

Nous tenons à exprimer toute nos sincers remerciements à toute personne ayant contribuer de prés ou de loin à la realisation de ce travail.

nos remerciements s' adressent à:

- M^{our} BERKANI ,maitre assistant à l'ENP qui a bion voulu assurer la direction de nos travaux.

- M^{our} H.BENKAHLA ,pour son aide.

- M^{our} K.KASTALI? pour sa precieuse aide.

-ooOO D E D I C A C E OOoo-

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes parents
- mes frères et sœurs
- mes tantes
- tous mes amis

pour
M K; BENKAILLA

Je dédie ce travail à :

- Mes parents
- Mes frères et sœurs
- mes neveux et nièces
- ma nièce Asmaa
- mes amis.

M H. MATALLAH.

ملخص

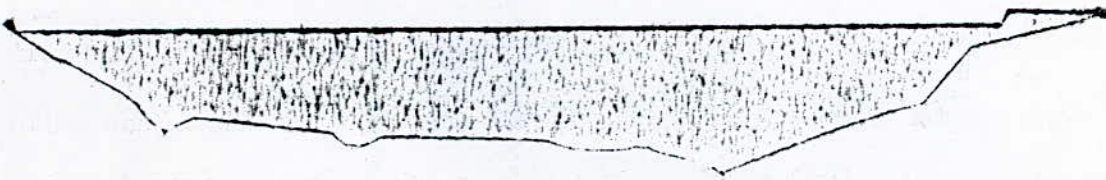
الهدف من هذه الدراسة الهيدرو ديناميكية هو تحديد التشغيل البياني لخواص
التغير خلال المرحلة غير المستقرة بسبب فيضان الفيضان عن طريق البرمجة الرياضية
للمعادلات الديناميكية .
هذه التشغيلات ماثلة للتي وجدت عن طريق والتصوير وعن طريق اليزيس بواسطة
اجهزة قياس السرعة ومؤكدة لوجود لفات الدوران التي تمثل تيرت مراكزه
محلات الترسيب .

RESUME

L'objet de cette etude hydrodynamique est de determiner en regime
transitoire dû à un apport de debit de crue exceptionnel, la configur
ation des lignes de courant à partir de la modelisation mathematique
des equations dynamiques. Les configurations determinnées sont similaires
à celles obtenues par la methode photogrammetrique et par mesure à l'
aide d'un micromoulinet et confirme la presence de rouleaux de recir
culation dont l'évolution de leur centre est le siège de dépôt.

ABSTRACT

The objective of hydrodynamique study is to determinethe configuration
of the flow lines under unsteady state due to an exceptionally high
flood, through mathematical modelling of equations of dynamics. The
obtained configurations are similar to those traced by the methode of
photogrametrie and those obtained by the measurements of field of
velocity with the help of recirculation rollers, whose centre is the
seat of deposition.



* <u>CHAPITRE I</u>	INTRODUCTION
* <u>CHAPITRE II</u>	ANALYSE DU PROBLEME ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE
II - 1	OBJECTIF DE L'ETUDE
II - 2	APPORTS SOLIDES AUX REVENUES
II - 3	MECANISME DE L'ENVAISEMENT
II - 3- 1	PRESENTATION SUR 1 CAS SIMPLE
II - 3 -1 -1	COMPORTEMENT DES SEDIMENTS GROSSIERS
II - 3 -1 -2	COMPORTEMENTS DES SEDIMENTS FINS
II - 3 - 2	INFLUENCE DES DIFFERENTS CARACTERISTIQUES DES REVENUES
II - 3 - 2 -1	INFLUENCE DU TAUX DE RENOUVELLEMENT DE LA REVENUE
II - 3 - 2 -2	INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE DE LA REVENUE
II - 3 - 2 -3	INFLUENCE DU MODE D'EXPLOITATION DU RESERVOIR
II - 3 - 2 -4	INFLUENCE DE LA PRESENCE D' AFFLENTS
II - 3 - 2 -5	INFLUENCE DE LA PRESENCE DE VEGETATION
II - 3 - 2 -6	INFLUENCE DE LA STRATIFICATION DES REVENUES

*CHAPITRE III: LUTTE CONTRE L'ENVAISEMENT DES REVENUES.

III -1	GENERALITES
III -2	PREVENTION
III -2 -1	TRAITEMENT DU B.V ET DU LIT MAJEUR
III -2 -2	EVACUATION DES SEDIMENTS PAR L'UTILISATION DE PRISES DE FONDS.
III -3	DEVAISEMENT
III -3 -1	DEVAISEMENT PAR MOYENS MECANIQUES
III -3 -2	LES CHASSES.

*****oOo*****

III - 3-2-1 DESCRIPTION DU PROCÉDE

III - 3-2-2 FACTEURS DÉTERMINANTS L'EFFICACITÉ DES CLASSES

* CHAPITRE IV - MODELES PHYSIQUES

* CHAPITRE V - MODELE MATHEMATIQUE

V - 1 FORMULATION MATHEMATIQUE

V - 2 DISCRETISATION

V - 3 ETUDE DE LA CONVERGENCE

V - 4 ETUDE DE LA STABILITE

V - 5 ETUDE DES CONDITIONS AUX LIMITES

V - 6 RESULTATS ET ANALYSE

* CHAPITRE VI - CONCLUSION

-oOo- /) / O P A T I O N S -oOo-

- U.....composante de la vitesse suivant l'axe Ox
V.....composante de la vitesse suivant l'axe Oy
W.....composante de la vitesse suivant l'axe Oz
H.....hauteur bathémétrique.
.....Pofondeur de la surface libre à partir du repère de
réfrence .
Z.....Côte
g.....accélération de la pesanteur.
c.....Coefficient de CHEZY
x.....pas d'espace suivant l'axe Ox
y.....pas d'espace suivant l'axe Oy
t.....pas de temps.
.....masse volumique.
.....contrainte tangentielle.

CHAPITRE I :

INTRODUCTION

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

La sédimentation accélérée des retenues des différents barrages en exploitation, pose de grave problème pour le maintien et la préservation des potentiels Hydrauliques mobilisés à un prix de revient élevé.

Ce phénomène qui s'inscrit dans un cadre général du transport solide, constitue actuellement une préoccupation essentielle qui met aussi bien les services d'exploitation et de gestion, que les services d'aménagement des ressources hydrauliques devant des difficultés du fait que les procédés de lutte, schématiquement préconisés sous deux aspects: prévention et dévasement s'avèrent peu efficaces et onéreux.

Le premier aspect consiste à empêcher l'arrivée des sédiments arrachés par les eaux de ruissellement au versant dans la retenue. 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 vidange de fond et l'emploi des courants de densité par soutirage sélectif, et d'autre part, le dévasement par moyen mécanique. Ce dernier procédé est le plus couramment et fréquemment 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 processus d'envasement.

Ainsi l'emploi de tous ces procédés n'a pas pour autant réduit l'effet de l'envasement, il est alors, jugé nécessaire de connaître l'évolution hydrodynamique du mécanisme de l'envasement afin de prévoir des solutions moins onéreuses et plus efficaces c'est dans cet objectif que notre étude s'inscrit. Il s'agit de la modélisation mathématique de l'écoulement en régime transitoire du à un apport de débit de crue transportent des particules solides.

Une étude préliminaire sur modèle physique par visualisation chronophotographique a permis la mise en évidence des zones de recirculation, siège de la décantation et du dépôt des sédiments transportés par la crue le développement de ces zones au cours du temps forme le delta de vases. Il s'agit pour notre modèle, portant des équations de base des écoulements en régime transitoires, équation de dynamique et de conservation de masse de retrouver ces configurations de l'écoulement, a rouleaux de recirculations, la connaissance de leur emplacement permettra d'une part de dégager les organes sensibles du barrage, et d'autre part d'améliorer le programme d'exploitation du barrage.

CHAPITRE II

ANALYSE DU PROBLEME ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I/ DESCRIPTION GENERALE DE L'ENVASSEMENT DES RETENUES ET DES MECANISMES PHYSIQUES IMPLIQUES.

I-1/ LES APPORTS SOLIDES AUX RETENUES.

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

- Par charriage.
- En suspension.

Le charriage est un transport de fond par roulement ou qui interesse les matériaux grossiers (sables, graviers et galets) le transport en suspension interesse les sédiments fins (sables fins, silts et argiles).

Ces matières solides proviennent essentiellement de l'érosion des bassins versants due au ruissellement des eaux de pluie.

On comprend donc que les matières solides ne sont pas apportées de façon continue toute l'année mais essentiellement lors des crues.

Le mécanisme de l'alluvionnement des retenues revêt des formes assez diverses en raison de la multiplicité des types de retenues, d'où l'on va étudier dans un premier lieu le cas type d'une grande retenue de topographie régulière exploitée à niveau sensiblement constant puis nous étudierons la façon dont diverses caractéristiques de la retenue influent sur son ensablement.

I-2/ MECANISME DE L'ENVASSEMENT : PRESENTATION SUR UN CAS SIMPLE

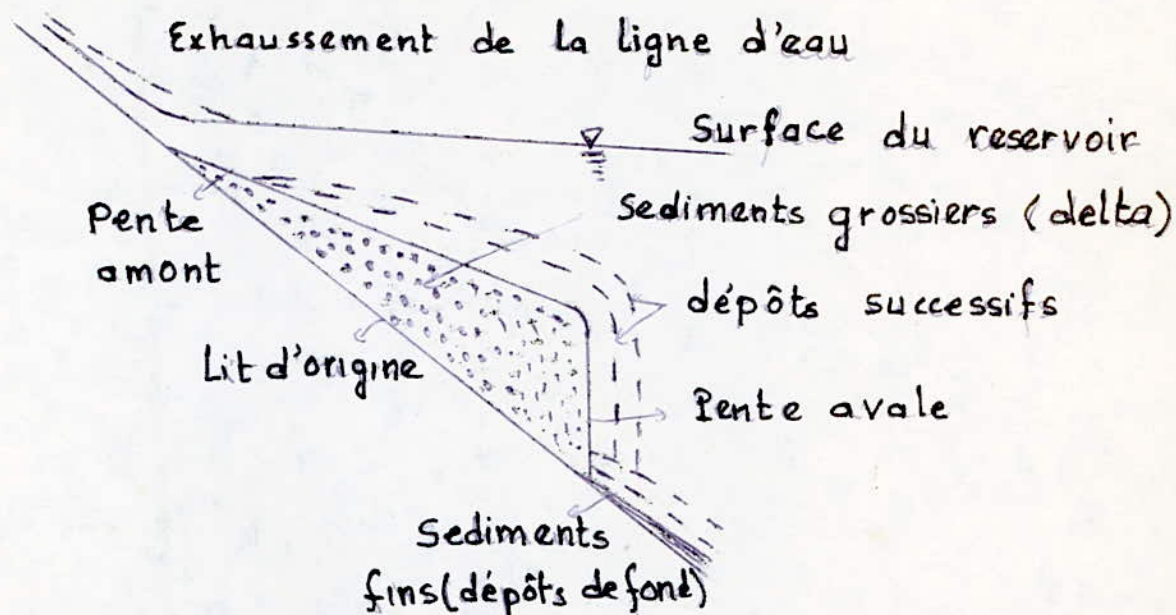
L'on considère donc une retenue de forme simple et de topographie régulière, exploitée à niveau haut constant, et dont les évacuations de fond ne sont pas utilisés.

I-2-1 COMPORTEMENT DES SEDIMENTS GROSSIERS:

Les eaux de la rivière arrivant dans les eaux claires de la retenue sont freinées dans la zone du remous, qu'on peut généralement caractériser par la présence d'objets flottants. Elles perdent là, leurs matériaux grossiers qui vont former un delta en queue de retenue.

Ce delta de surface limitée mais de hauteur relativement grande, présente une pente raide (taches naturelles des sédiments).

a sa limite aval, plus douce à sa surface. Il s'étend en amont de la limite des eaux calmes en rehaussant les lignes d'eau à l'amont, et avance vers le barrage avec le temps au fur et à mesure des apports.



I-2-2/ COMPORTEMENT DES SÉDIMENTS FINS

Dans la zone du remous, les eaux turbides entrant dans la retenue forment avec les eaux claires de celles où un front plus ou moins net et plus ou moins vertical d'où l'on distingue deux cas (Duquenois).

Si l'écoulement amont est torrentiel, les eaux chargées plongent au fond de la retenue et s'y écoulent sous la forme d'un courant de turbidité, de densité supérieure à celle des eaux claires. Le débit de ce courant de densité est supérieur au débit entrant en raison de la dilution dans la zone du remous qui est fortement turbulente.

Si l'écoulement amont est fluvial, il y a toujours une tendance à l'écoulement des eaux au pied du front, avec contre courant d'eau claire à la surface. Mais il ne se forme un véritable courant de densité que pour des débits et concentrations des apports suffisamment élevés.

Si ce n'est pas le cas et que les apports et les eaux du lac sont à des températures voisines, le front est discontinu, sujet à des fluctuations importantes.

L'écoulement amont se disperse alors plus ou moins dans la retenue.

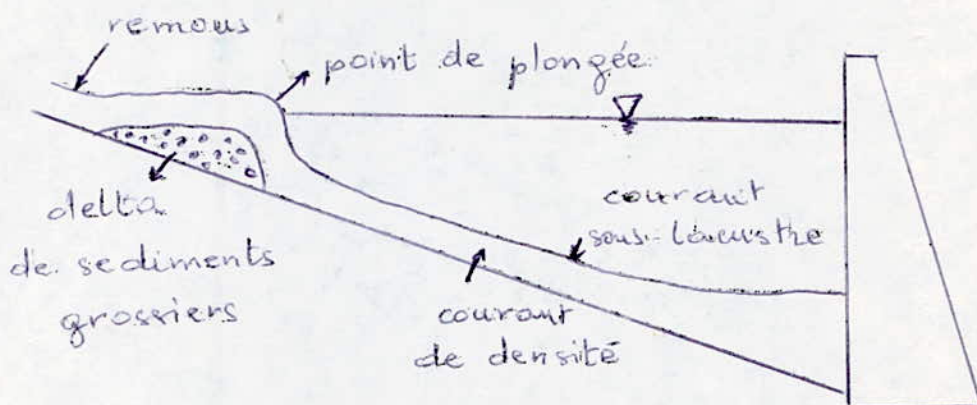
Par la suite, les sédiments fins peuvent donc se comporter de deux façons. Si un courant de densité s'est formé, il peut sous certaines conditions hydrauliques, s'écouler au fond de la retenue (dans l'ancien lit de rivière) et transporter les vases jusqu'au pied du barrage, elles s'y accumulent en l'absence de sous tirage de fond en formant un lac de vase d'un volume qui peut être important.

Dans le lac de vase, les particules sédimentent et les couches les plus profondes sont les plus chargées. Les nouveaux apports en eaux chargées se comportent donc comme un courant de densité intermédiaire (interflow) et leur régime tend à devenir laminaire.

Tant que la rigidité des dépôts est insuffisante, un écoulement laminaire persiste dans le lac de vase vers le barrage car la consolidation interesse des couches plus épaisses à son voisinage. Si le courant de densité ne s'est pas formé, les sédiments fins sont tributaires de la gravité de la turbulence et des écoulements dans la retenue. Les particules argileuses, de taille inférieure à 2 microns, ont une vitesse de l'état individuel qui les empêcherait de sédimenter. Mais en général, la salinité des eaux lacustres est insuffisante (0,5 gl) pour produire la floculation de ces particules. Les flocons ainsi formés ont une vitesse de chute beaucoup plus importante (0,1 mm/s) et décantent aussi rapidement que les silts.

Une fois déposées au fond, les vases sont susceptibles de former des coulées boueuses vers les parties les plus basses de la retenue. Lorsqu'elles sont stabilisées et en l'absence de mouvement important dans la retenue, les dépôts vont se consolider en se débarrassant de leur eau interstitielle. On observe de grandes disparités dans la vitesse de consolidation des vases argileuses. Elle dépend à la fois du milieu aqueux, de la nature minéralogique des argiles et de l'histoire des contraintes.

Les deux premiers facteurs déterminent les forces physico-chimiques des complexes sol eau, qui sont responsables du comportement mécanique des vases.



I-3/ MECANISME DE L'ENVESEMENT: Influence des différentes caractéristiques des retenues:

Le cas simple qu'on a présenté précédemment, s'il permet de se faire une idée des différents mécanismes de l'envasement, ne rend pas compte de la multiplicité des formes qu'il revêt en raison de la variété des types de retenue.

I-3-1/ INFLUENCE DU TAUX DE RENOUVELLEMENT DE LA RETENUE:

Le taux de renouvellement de la retenue a une importance essentielle pour le mécanisme de l'envasement. Tout d'abord, il détermine le pourcentage des sédiments entrant dans la retenue qui y seront piégés, appelée "efficacité de piégeage". D'après l'étude faite par Brune sur 44 réservoirs américains (efficacité de piégeage en fonction du taux de renouvellement ou rapport capacité/ apport liquide annuel). Ce dernier montre que l'efficacité de piégeage augmente avec la grandeur du barrage jusqu'à arriver à 100% pour les grands barrages en l'absence de dispositions particulières et que le piégeage des sédiments fins est moins important.

Par contre les petites retenues (retenue de basse chute) sont beaucoup plus brassés, et les phénomènes ne sont pas aussi distincts.

Les courants de densité en sont absents.

Le classement granulométrique est moins net et l'envasement plus uniforme sur toute la retenue.

I-3-2/ INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE DE LA RETENUE:

La topographie de la retenue modifie l'envasement en modifiant les conditions d'écoulement des courants.

Cet effet, bien que peu étudié et difficile à quantifier, est probablement déterminant pour la localisation des dépôts. En général, plus la forme de la retenue est tortueuse, plus l'envasement se déplace vers l'amont. Les élargissements brusques de vallées sont des zones de dépôt et de disparition des courants de densité. Pour la même raison, le resserrment des vallées qu'on observe souvent au barrage déplace l'alluvionnement vers l'amont. D'autre part, pour les retenues de basse chute sinusoïdales, les méandres créent des zones d'eau calmes qui favorisent les dépôts. Mais la divagation peut modifier les zones de dépôt et d'évasion au cours du temps.

I-3-3 INFLUENCE DU MODE D'EXPLOITATION DU RESERVOIR.

Le mainage, s'il est important, peut avoir essentiellement deux effets:

- D'une part la remise en mouvement des sédiments dans la partie découverte de la nature, où la rivière va en creusant son chenal parmi les alluvions précédemment déposées. De plus des talus glissent, soit du fait de l'érosion progressive due au rétablissement du cours d'eau, soit simplement parce que les pentes d'équilibre des talus sont plus faibles hors d'eau.
- D'autre part, dans la partie de la retenue restant immergée, la baisse des pressions interstitielles provoque des ruptures d'équilibre des sédiments déposés qui peuvent se manifester par les coulées boueuses ou des glissements de talus selon leur état de consolidation.

L'exploitation de la retenue à niveau bas déplace d'autant vers l'aval l'ensemble de l'alluvionnement, ceci explique que dans la pratique on n'observe pas toujours un classement granulométrique régulier en fonction de la distance

.../...

.../...

au barrage, même pour les grandes retenues. L'utilisation fréquente des vidanges de fond contribue à limiter l'envasement, soit en favorisant l'écoulement des courants de densité, soit en ayant un effet de chasse

I-3-4 - PRÉSENCE D'AFFLUENTS:

Des affluents se jetant dans le lac de retenue perturbent parfois le mécanisme classique de l'envasement, notamment s'ils sont eux-mêmes chargés en matières en suspension.

I-3-5 - PRÉSENCE DE VÉGÉTATION:

La végétation existant en fond de retenue peut retenir une grande partie des sédiments. De plus, elle accélère la consolidation des argiles par drainage naturel. La présence de forêts entières submergées empêche probablement le maintien de tout courant de densité en raison de la "rugosité" artificielle très importante ainsi créée.

I-3-6 - INFLUENCE DE LA STRATIFICATION DES RETENUES;

La stratification thermique d'été de très grandes retenues est susceptible de transformer les underflou en interflou dans le cas d'arrivée d'eaux chaudes turbides dont la densité serait intermédiaire entre les eaux denses du fond et les eaux moins denses de surface. Il faut toutefois que ce cas ne soit qu'exceptionnel, car ~~exceptionnel~~ les périodes de stratification thermique ne sont, en général, pas celles des transports de sédiments importants, et de plus, les écarts de densité dus à la concentration en matériaux fins sont généralement supérieurs à ceux dus aux écarts de température (un écart de 20°C correspond à une variation de masse volumique de 2g/l seulement).

CHAPITRE III

LUTTE CONTRE
L'ENVASEMENT
DES RETENUES

GENERALITES

On peut de façon très schématique distinguer dans la lutte contre l'envasement des retenues 2 aspects : prévention et dévasement.

II-A PREVENTION:

La prévention peut prendre deux formes :

-Empêcher l'arrivée des sédiments de la retenue. Cette solution relève du traitement du bassin versant et du lit majeur des cours d'eau.

-Prendre des dispositions pour que les sédiments transitent, dans la retenue sans y être piégés. Cela revient à agir sur les courants dans la retenue pour minimiser les dépôts, en particulier en prenant des dispositions d'évacuation appropriées.

II-A-1- TRAITEMENT DU BASSIN VERSANT ET DU LIT MAJEUR:

Cette question déborde le sujet de cette étude. Notons simplement que des dispositions appropriées de conservation des sols sont de nature à diminuer fortement l'apport en sédiments, notamment pour les retenues à bassin versant peu étendu. Ces dispositions sont essentiellement le reboisement, l'amélioration des pratiques agricoles et l'aménagement du cours d'eau de l'amont (petits creteurs de crues, seuils dans les ravines...). Pour les retenues au grand bassin versant, ce type de mesures est souvent d'un coût dépassant largement le gain d'exploitation de la retenue qui en résulterait. Notons toutefois que les plus importantes sources de sédiments sont parfois très localisées.

Les résultats encourageants obtenus aux Etats-unis (17) et en Algérie (43) incitent à systématiser l'étude économique de ce type de dispositions pour les nouveaux aménagements, et à les privilégier lorsqu'elles présentent un bilan économique acceptable.

Des auteurs proposent également d'implanter une végétation appropriée sur le lit majeur : cette disposition ralentit l'écoulement et donc favorise le dépôt des sédiments. Toutefois, la réduction des vitesses entraîne un rehaussement des lignes d'eau qui peut-être préjudiciable à l'écoulement des crues et dont il faut tenir compte.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS.

II-A-2- EVACUATION DES SEDIMENTS PAR L'UTILISATION DE PRISES DE FOND

Dans certains cas on peut tirer profit de la présence d'un courant de densité pour éviter le dépôt des sédiments fins dans la retenue. Il faut alors prévoir des organes de soutirage spécifiques. Mais on peut aussi agir sur la formation et l'écoulement du courant de densité par l'aménagement du fond de la retenue. De telles dispositions étudiées

.../...

préalablement sur modèle physique, ont été prises par exemple au barrage Mohammed Ben Abdolkrim au Maroc (El Khabote et Boutaye) (56a).

Dans le cas où le courant de densité domine jusqu'au barrage, il est possible de le soutirer et d'évacuer ainsi une partie des sédiments fins entrant dans la retenue. Les résultats les plus probants ont été obtenus dans certaines retenues Algériennes (Duquesnois, Thevenin. Pour ces retenues, les courants de densité sont la principale cause de l'envasement. Le phénomène y revêt une ampleur exceptionnelle : courants de densité dont la concentration dépasse habituellement 100g/l.

Au barrage d'Irîl Enda, premier grand barrage doté d'organes spéciaux de soutirage, on évacue, en 10 jours de crue par an, au 50% des sédiments fins apportés annuellement dans la retenue, de qui est considérable. Ces organes spéciaux d'évacuation des courants de densité sont constitués par un ensemble de vannettes de petits diamètres (40 cm à Irîl Enda), située en partie basse du barrage.

Ce sont des vannettes tout ou rien, placées en by-pass des vannes de vidange.

La définition de ces organes est justifiée par le fait qu'il ne faut pas soutirer des débits supérieurs au débit du courant de densité sous peine de former un entonnoir d'eau claire. Les observations faites lors de leurs utilisations confirment que plus le débit de soutirage est élevé plus la concentration en matières solides est faible. Il existe donc a priori un optimum entre la perte d'eau et le gain en volume de retenue.

L'utilisation de prises et d'évacuateurs de fond, ainsi que d'organes spécialisés de dévasement à petits débits pour les retenues en fonctionnement normal. (Mais !!)

Ces ouvrages présentent en général trois inconvénients : leurs coûts plus élevés, leur sécurité moins grande, leur usure plus rapide.

II- B- DEVASEMENT

Le dévasement des retenues, rendu souvent nécessaire pour assurer le fonctionnement nominal d'un aménagement est classiquement opéré de deux façons : soit en utilisant des moyens mécaniques, soit de façon naturelle en procédant à des chasses.

II-B-1- LE DEVASEMENT PAR MOYENS MECANIQUES:

Le dévasement mécanique est dans tous les cas un procédé au coût élevé (au moins 15 F/m³ de retenue préservée en 1983). Malgré cela, il est utilisé relativement fréquemment, notamment lorsque les consignes

.../...

d'exploitation interdisent toute perte d'eau et imposent par là, l'emploi de la drague à siphon. Le curage de la retenue par engins mécaniques (bulldozers) après la vidange complète est utilisé dans certains cas, il ne justifie économiquement que pour de très petites retenues.

Le moyen le plus couramment utilisé est le dragage hydraulique, à la drague "suceuse" à siphon. Certains ont proposé d'améliorer son rendement en branchant des tuyaux flexibles armés aux conduites de prises. On tire ainsi parti de la charge de la retenue, et le coût du dragage est réduit par réduction de la dépense d'énergie. Mais le gain économique est relativement moins important dans les pays de main d'œuvre chère.

Les divers procédés posent souvent le problème de stockage et/ou de l'utilisation des sédiments ainsi évacués. La méthode la plus "élégante" utilisée en Chine est de les mettre en valeur en les épandant sur des terrains agricoles. Mais la qualité biochimique des vases ne le permet pas toujours. Plus souvent, on les stocke à proximité de la retenue (en veillant à ce qu'elles n'y retournent pas!), ou même on les rejette à l'aval de celle-ci comme au Japon.

Le dragage est une industrie qui exige des capitaux considérables. Les frais variables, tels que la main d'œuvre, les combustibles et les matériaux sont d'importance mineure en comparaison des frais fixes résultants des investissements de fonds. Il s'agit là d'une différence fondamentale qui distingue le dragage de la plus part des autres secteurs du génie civil. La mise de fond pour le personnel est très importante, en 1970 par exemple, on l'évaluait à 60.000 dollars environ par personne. Un employé dans l'industrie du dragage aux Pays Bas. Le rapport entre les frais fixes et les dépenses courantes varie de 1,0 pour le petit matériel à 3,5, ce qui est beaucoup pour l'équipement de grandes dimensions que l'on utilise 24 heures par jour, en pratiquant un roulement de trois équipes.

CHOIX DE L'EQUIPEMENT :

Le dragage est aussi une industrie qui comporte de grands risques. Ainsi, il est difficile d'établir des prévisions précises et fiables en matière de production lorsqu'il s'agit de nouveaux travaux, et plus spécialement de projets de dragage initial. Le choix du type d'équipement nécessaire à la réalisation de travaux déterminés se fait en

fonction d'une série limitée d'essais pratiqués lors de soulages, essais qui ne permettent pas d'exclure l'éventualité de sols difficiles à travailler que prévu. En outre, il faut compter sur les incertitudes d'un autre ordre que présentent les conditions de travail (vagues, courant, vents) et le taux de réensemencement durant la période d'exécution des travaux.

Aux risques qu'impliquent les travaux mêmes s'ajoutent les risques d'ordre économique associés au chômage du matériel et de la main-d'oeuvre se trouvent amplifiés en raison de l'utilisation intensive de capitaux à l'industrie du dragage.

II-B-2- LES CHASSES

II-B-2-1- Description du procédé:

On appelle généralement "chasse" toute procédure d'abaissement rapide du plan d'eau par ouverture à débits des évacuations de fond. On augmente ainsi les vitesses dans la retenue, les augmentations les plus sensibles se trouvant en queue de retenue. Ceci remet en mouvement une partie des sédiments déposés au fond de la retenue. L'écoulement creuse un chenal dans les dépôts, qui s'agrandit au fur et à mesure que l'érosion progresse. Après fermeture des vannes, lorsque le réservoir a atteint le niveau maximum autorisé par les consignes d'exploitation, la suspension continue pendant un certain temps à progresser et les concentrations augmentent au voisinage du barrage (même phénomène que lors du soutirage des courants de densité). Lorsque la retenue est revenue au niveau haut, on peut répéter l'opération.

On poursuit parfois l'opération jusqu'à la vidange complète de la retenue. Mais il faut remarquer que toute vidange n'est pas nécessairement une chasse: on peut par exemple vouloir vidanger une retenue sans chasser les sédiments, on procédant alors à un abaissement plus lent du plan d'eau et même en respectant des paliers pour stabiliser les vases.

Les vidanges complètes ont pour effet de remettre le cours d'eau dans les conditions d'écoulement naturel, donc augmenter les vitesses de façon plus importante que les chasses sans vidange. Mais la surface mouillée, donc la surface d'érosion est plus faible en écoulement naturel. De plus les vases découvertes consolident beaucoup plus rapidement et leur érosion lors d'une prochaine vidange compromise.

Facteurs déterminant l'efficacité des chasses

Lors des chasses, les sédiments sont remis en suspension soit par érosion (progressive en queue de retenue, régressive au voisinage de barrage) soit encore à la suite de glissement de talus rendus instables par cette érosion ou par la baisse du plan d'eau. Par conséquent, c'est la variation relative des conditions d'écoulement dans la retenue lors de la chasse par rapport aux conditions de début d'entraînement qui détermine l'efficacité des chasses.

D'une façon générale, les chasses sont d'autant plus efficaces que le réservoir est court, rectiligne, pontu, que les évacuateurs sont profonds et que le débit de chasse est élevé. Tous ces facteurs augmentent la vitesse des écoulements lors des chasses, donc la contrainte de cisaillement au fond. C'est les réservoirs les plus favorables aux chasses sont les petits réservoirs de montage, situés dans des gorges sensiblement rectilignes.

Pour des réservoirs de plaines ou de montagne (réservoirs plus larges, pentes plus faibles), les chasses sont d'une façon générale beaucoup moins efficaces. L'état de consolidation des vases argileuses devient un facteur prépondérant.

Qualitativement, on peut dire que sur des sédiments ayant consolidé au moins un an, une chasse sans vidange complète n'a pour effet que de dégager un cône de vase au voisinage des évacuateurs. Si la vidange est complète, il peut se creuser en plus un canyon de faible largeur. L'érosion peut-être importante si l'on vidange la retenue en période de crue.

Techniquement, pour ces retenues de basse ou moyenne chute, les chasses seraient beaucoup plus efficaces si elles étaient réalisées, par exemple tous les mois, au moins après les mois d'apports solides importants. Des procédures de chasse "à répétition" (abaissement rapide du plan

.../...

.../...

d'eau de quelques mètres, remontée lente, cycle répété plusieurs fois), réalisées fréquemment seraient très probablement plus adaptées au maintien du volume utile de la retenue que les vidanges tous les trois ans ou tous les dix ans, c'est le bilan économique qui dictera le type d'exploitation optimal.

CHAPITRE IV

MODELES PHYSIQUES
ET INTERPRETATION
DES RESULTATAS

III- MODELE PHYSIQUE

L'expérimentation a été réalisée par Mr REMINI sur le barrage de BENJAMRANE de caractéristiques physiques décrites ci dessous.

Le choix de cet ouvrage se justifie par un double rôle de régulateur des crues et d'accumulateur des débits solides transportés par l'oued ISSER.

III-A- Description et caractéristiques de l'ouvrage:

Le barrage de BENI AMRANE fait partie du système de transfert ISSER-KEDDARA pour augmenter l'alimentation en eau potable de la ville d'Alger. Il régularise 4,5 % du débit d'apport de l'oued ISSER, soit un volume de 18 hm³.

Le bassin versant du site de prise, couvre une superficie de 3710 Km². L'oued ISSER d'une pente moyenne 4m/Km transporte une eau fortement chargée de solides, constituée de limons et de sables fins de concentration allant jusqu'à 265 g/l, le poids annuel moyen de ces sédiments traversant le barrage est 67 millions de tonnes dont 4,3 Km³ y restent dans la retenue. Cette position importante comble au cours du temps le barrage et met en danger son existence à cours terme. Ainsi par un simple calcul, pour une crue exceptionnelle répétitive en deux années successives similaires à la crue de 1972-1973, le barrage de BENI AMRANE serait complètement envasé. Pour réduire l'effet de ce phénomène, le barrage de BENI AMRANE est doté de 6 vannes de fond permettant de faire le soutirage de la vase. A présent ce système s'avère peu efficace pour deux raisons qui ne peuvent être satisfaites conjointement : la première est d'ordre économique en préservant le maximum d'eau stockée, la seconde, en prelevant par soutirage le maximum de débit solide. Cette contrainte de la préservation de la ressource mobilisée n'est pas spécifique à la retenue du barrage de BENI AMRANE, elle caractérise l'ensemble des barrages Algériens, ce qui justifie d'ailleurs le choix de notre étude sur ce site, afin de comprendre et de remédier cet handicap.

Justification de la modélisation:

L'écoulement étant à surface libre (écoulement posant), la similitude obéit donc à l'égalité des nombres de Froude de l'ouvrage et du modèle.

D'où trois conditions : géométrique, cinématique et dynamique doivent être vérifiées.

.../...

.../...

Le modèle est réalisé à l'échelle géométrique : $= 1/100$ pour atteindre le débit de 10 l/s au laboratoire équivalent à un débit d'une crue exceptionnelle sur l'ouvrage.

Les autres échelles se déduisent aisément : $= 1/10$

-Echelle de largeur et hauteur : $= 1/100$

-Echelle des vitesses : $= 1/10$

-Echelle des débits : $= 1/100.000$

Ce qui donne les valeurs des caractéristiques suivantes du modèle:

Deversoir	Prototype	Maquette au 1/100 cm
*Largeur de crête	102,5 m	102,5 cm
*Hauteur de deversoir	23,5m	23,5 cm
<u>Ouverture de la vanne</u>		
*Hauteur	4,5 m	4,5 cm
*Largeur	6,5 m	6,5 cm
<u>Ouverture de la prise</u>		
*Diamètre	2 m	2 cm
<u>Decharge</u>		
* Crue sécuritaire	4 000 m ³ /S	40 l/S
* Crue moyenne	1000 m ³ /S	10 l/S

.../...

III- B RESULTATS EXPERIMENTAUX:

L'analyse des résultats expérimentaux s'effectue en 3 étapes :

1- L'analyse qualitative de la structure de recirculation obtenue pour différents débits de crue.

2- L'étude quantitative de l'évolution spatio-temporelle des centres de rouleaux de recirculation en fonction des débits d'apport.

3- La 3ème étape a pour objectif de lier les paramètres qui influent sur la configuration obtenue, c'est à dire de voir l'influence du débit apport sur l'évolution de la structure stable, afin de dégager une relation empirique permettant de prédire la structure de recirculation.

III-B-A

ETUDE QUALITATIVE DE LA STRUCTURE DE RECIRCULATION :

A l'instant $t=0$, on injecte différents débits dans la retenue, où l'eau de cette dernière est immobile. L'apport de quantité de nouveau provoque la circulation de l'eau de la retenue. L'évolution de la structure de l'écoulement durant la période transitoire est suivie grâce à un système chrono photographique. Le phénomène observé est constitué de deux rouleaux de recirculation, ces derniers se développent le long de l'axe moyen de la retenue et leurs dimensions croissent rapidement. Ils ont tendance à aller vers une structure définitive stable et qui se présente selon deux cas possibles de configuration.

a- La configuration initiale se déplace et augmente la dissymétrie de l'écoulement on tend alors vers la constitution de deux rouleaux dont l'un relativement petit et que nous appellerons rouleau d'attachement et dont le second occupe la quasi-totalité de la retenue appelé rouleau principal.

b- Dans ce cas on obtient une configuration d'écoulement à la limite de la stabilité. Les deux rouleaux se stabilisent le long de l'axe moyen de la retenue

III-B-2 ETUDE QUANTITATIVE DE L'EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES CENTRES DES ROULEAUX DE RECIRCULATION:

On a caractérisé l'évolution spatio-temporelle de la

.../...

.../...

structure de recirculation par la variation dans le temps des trajectoires des centres des rouleaux. Ces centres sont séparés par la distance D_R qui les sépare et par leurs coordonnées (X_{RI}, Y_{RI}) relatives à des axes liés à la retenue.

On a remarqué que

* Le comportement oscillatoire des centres des rouleaux s'effectue plus rapidement durant les premiers instants de la crue.

* La structure de recirculation tend à se stabiliser lentement. Ceci s'explique par le fait que l'effet de la quantité de mouvement est prépondérant à l'effet de frottement du mécanisme de l'évolution de la structure. *voir les figures (10) à (14) pages 27 à 31*

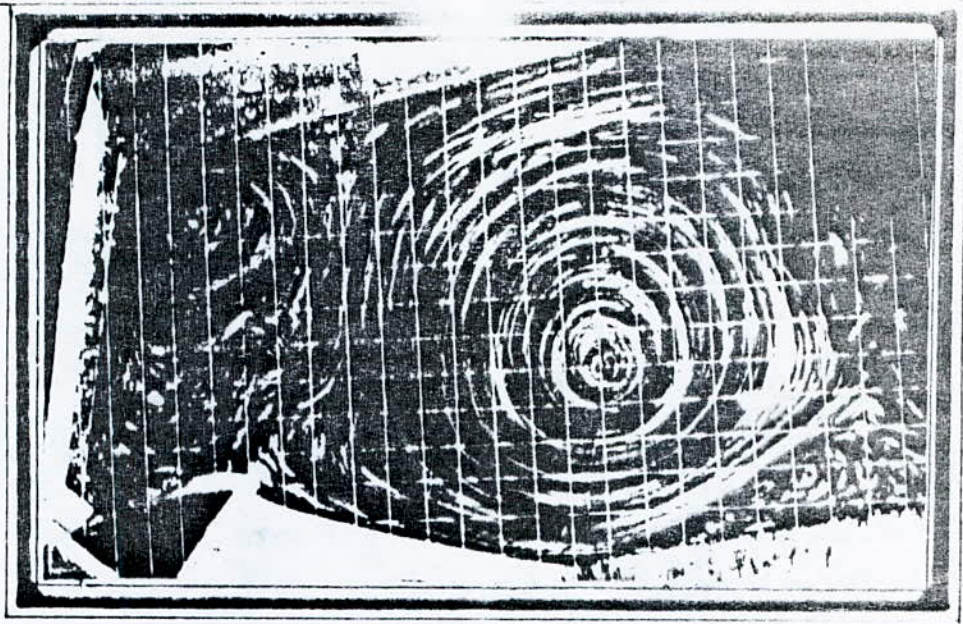
III-B-3 INFLUENCE DU DÉBIT D'APPORT SUR L'ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE STABLE

Les types de structures stables obtenues en fin du régime transitoire pour chaque débit gardent toujours une configuration à deux rouleaux de recirculation.

L'étude des relations adimensionnelles des positions des centres des rouleaux en fonction du nombre de Froude qui est lié au débit d'apport est donnée par la représentation graphique (

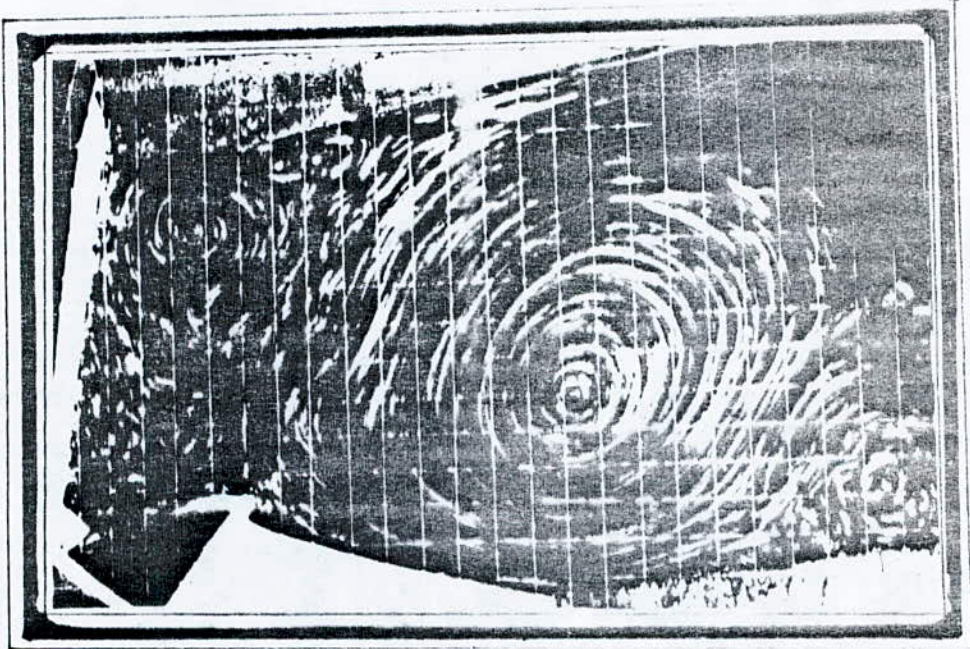
On constate que lorsque le nombre de FROUDE augmente, la structure de l'écoulement composée au départ de deux rouleaux de dimensions différentes non symétriques évolue en ~~trois~~ étape vers une structure constituée toujours de deux rouleaux mais de dimensions équivalentes, dont les centres restent situés sur l'axe moyen de la retenue. Dans la seconde étape, la structure est amenée à un seul rouleau occupant la quasi totalité de la retenue. Ceci explique d'ailleurs la répartition de la va se dans la retenue.

voir figure (15) page 32



$Q = 4 \text{ l/s}$

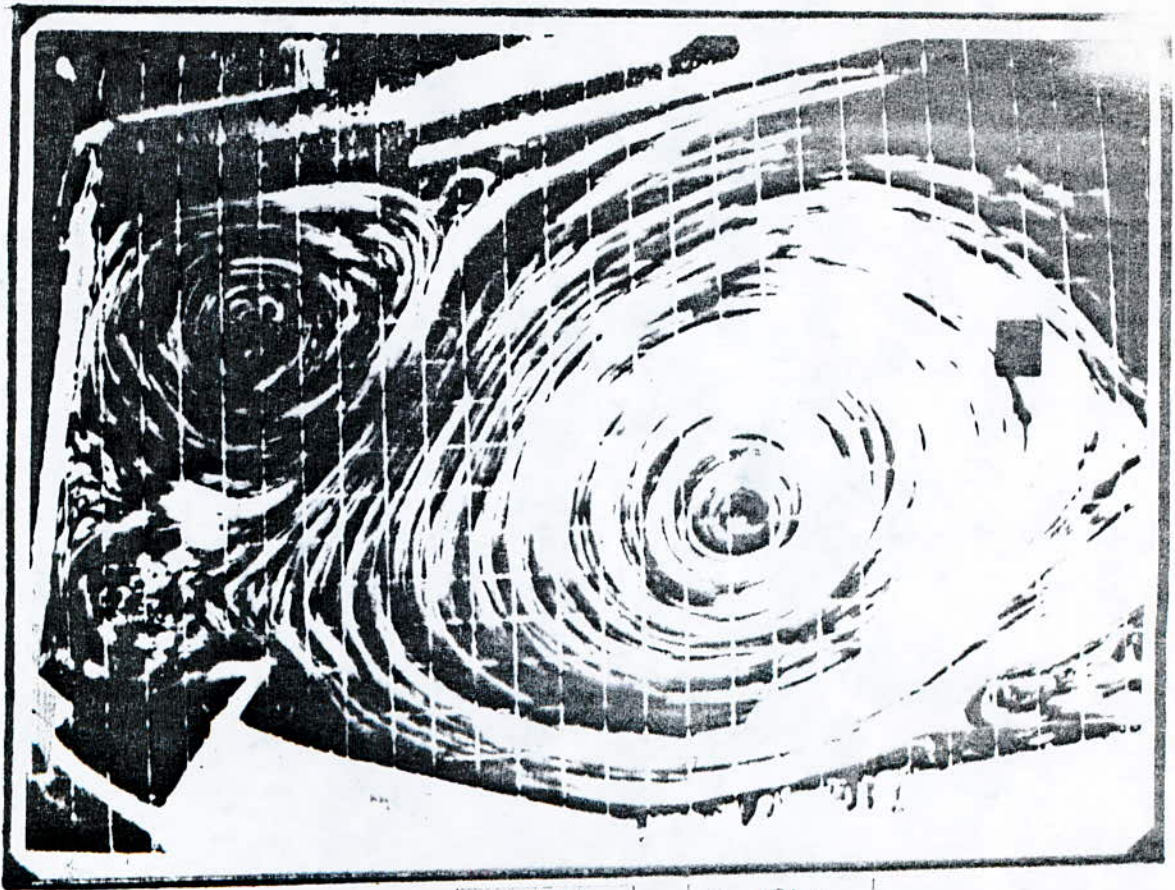
$t = 150 \text{ s}$



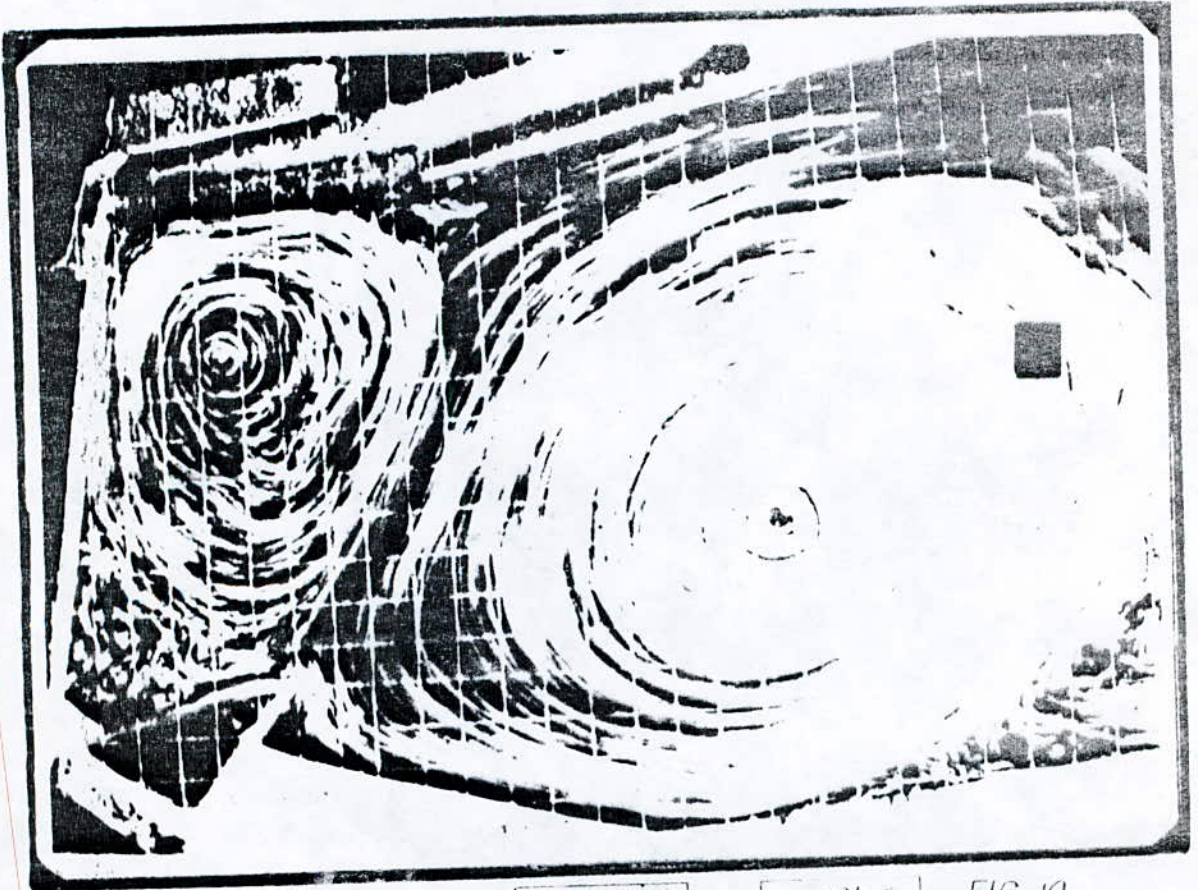
$Q = 4 \text{ l/s}$

$t = 180 \text{ s}$

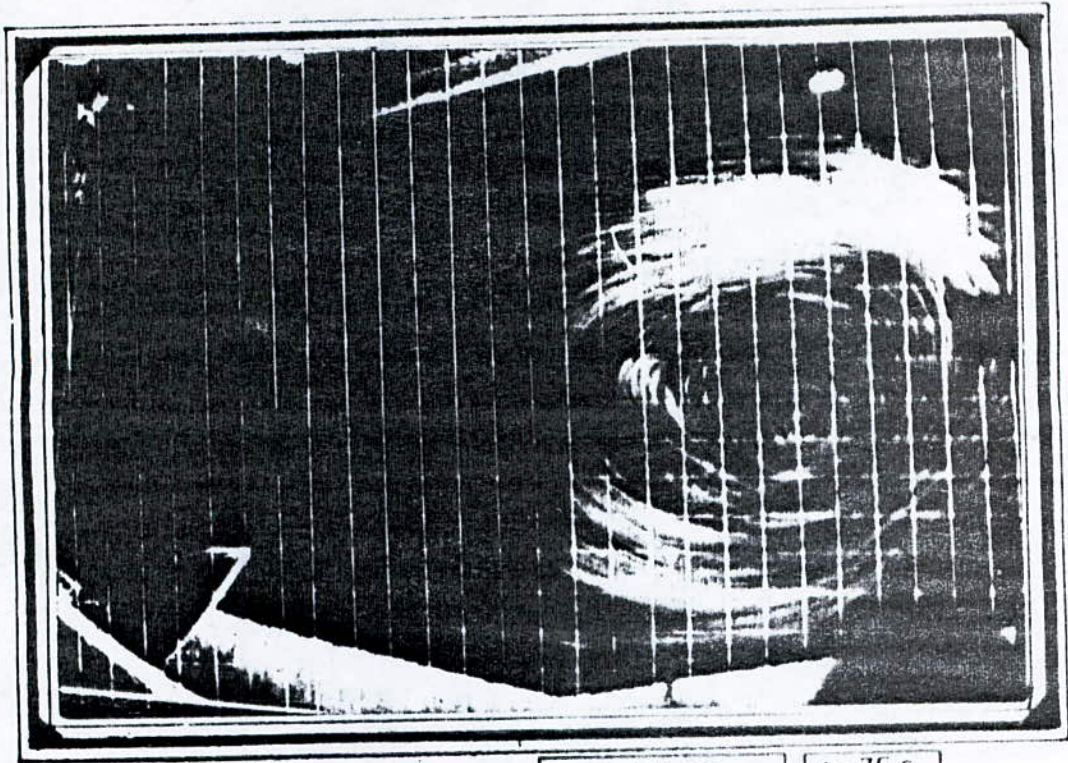
FIG. 13



$Q=10V^s$ | $t=10^5 s$

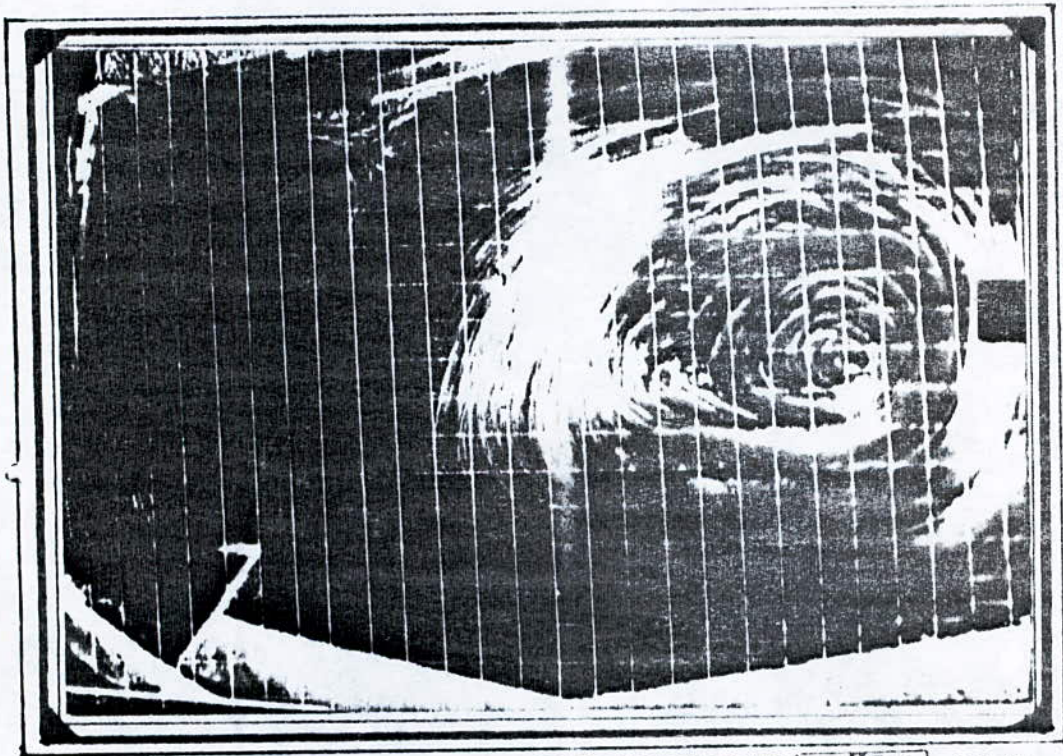


$Q=10V^s$ | $t=12^5 s$ | FIG 19



Q = 20 1/s

t = 75 s

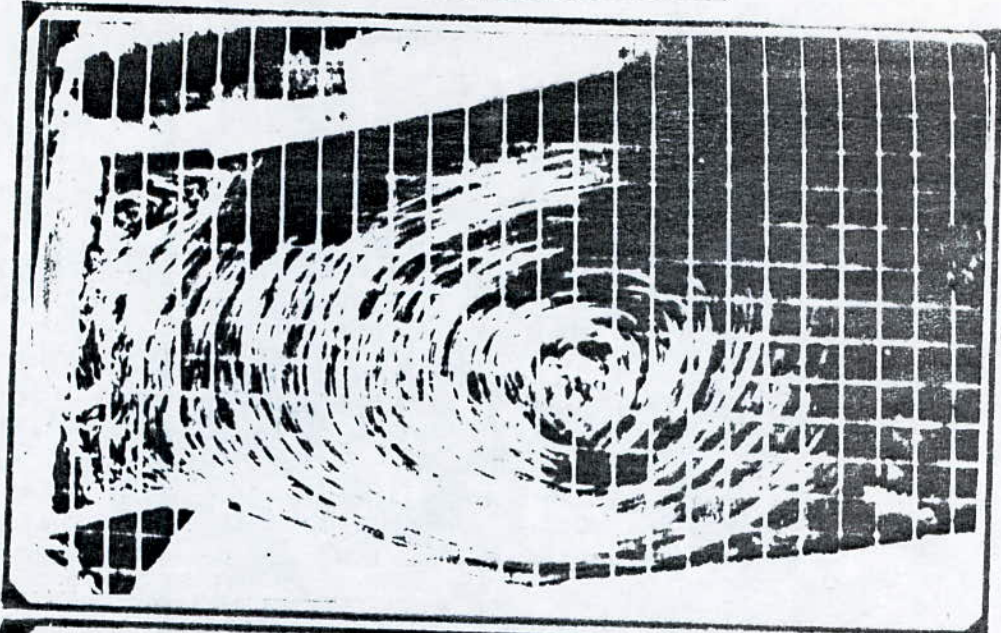


Q = 20 1/s

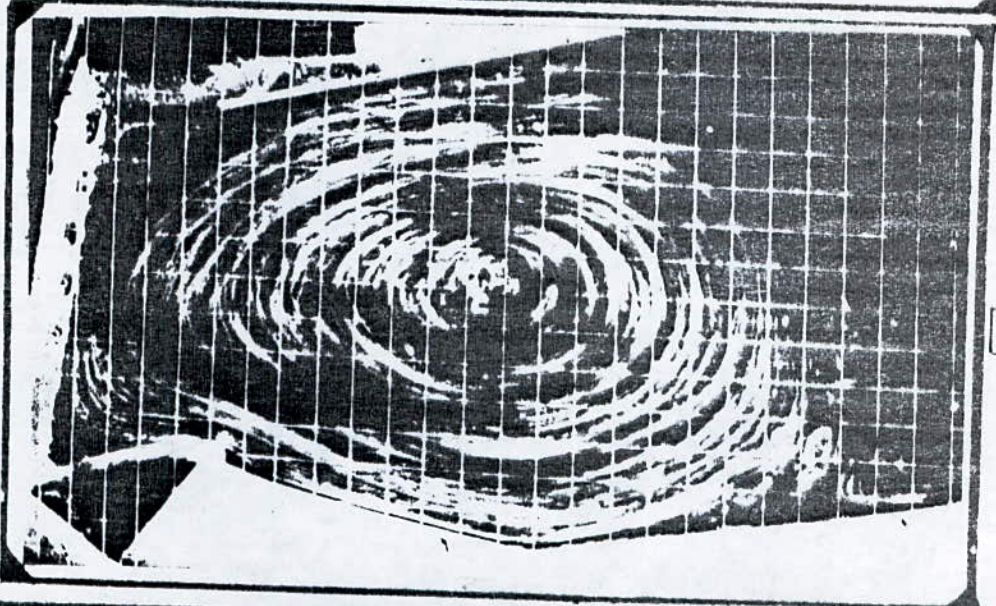
t = 85 s

FIG. 24

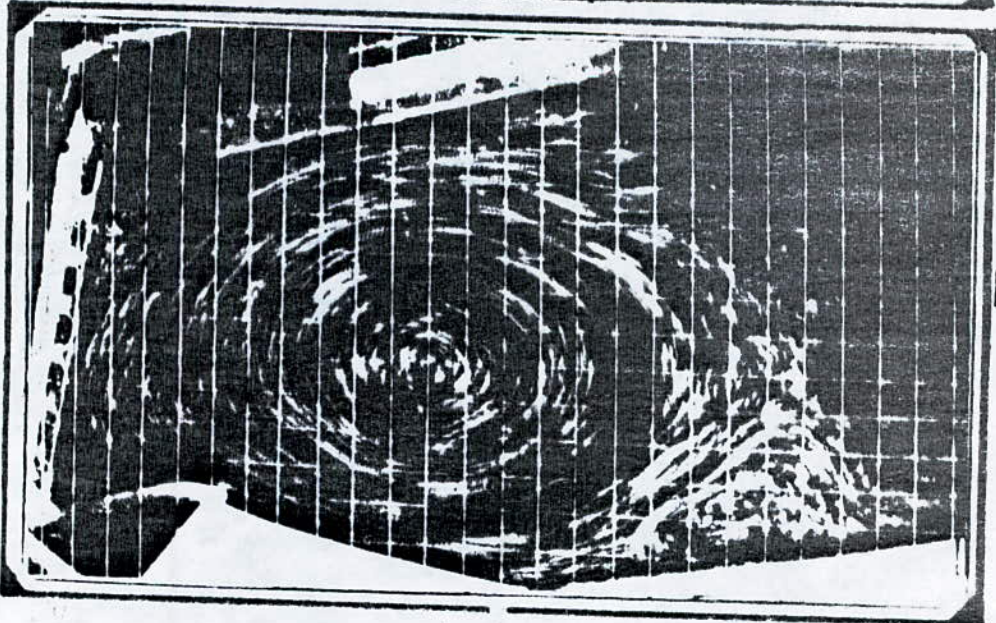
$Q = 6.32 \text{ 1/s}$ $\alpha = 15^\circ$



$t = 90s$



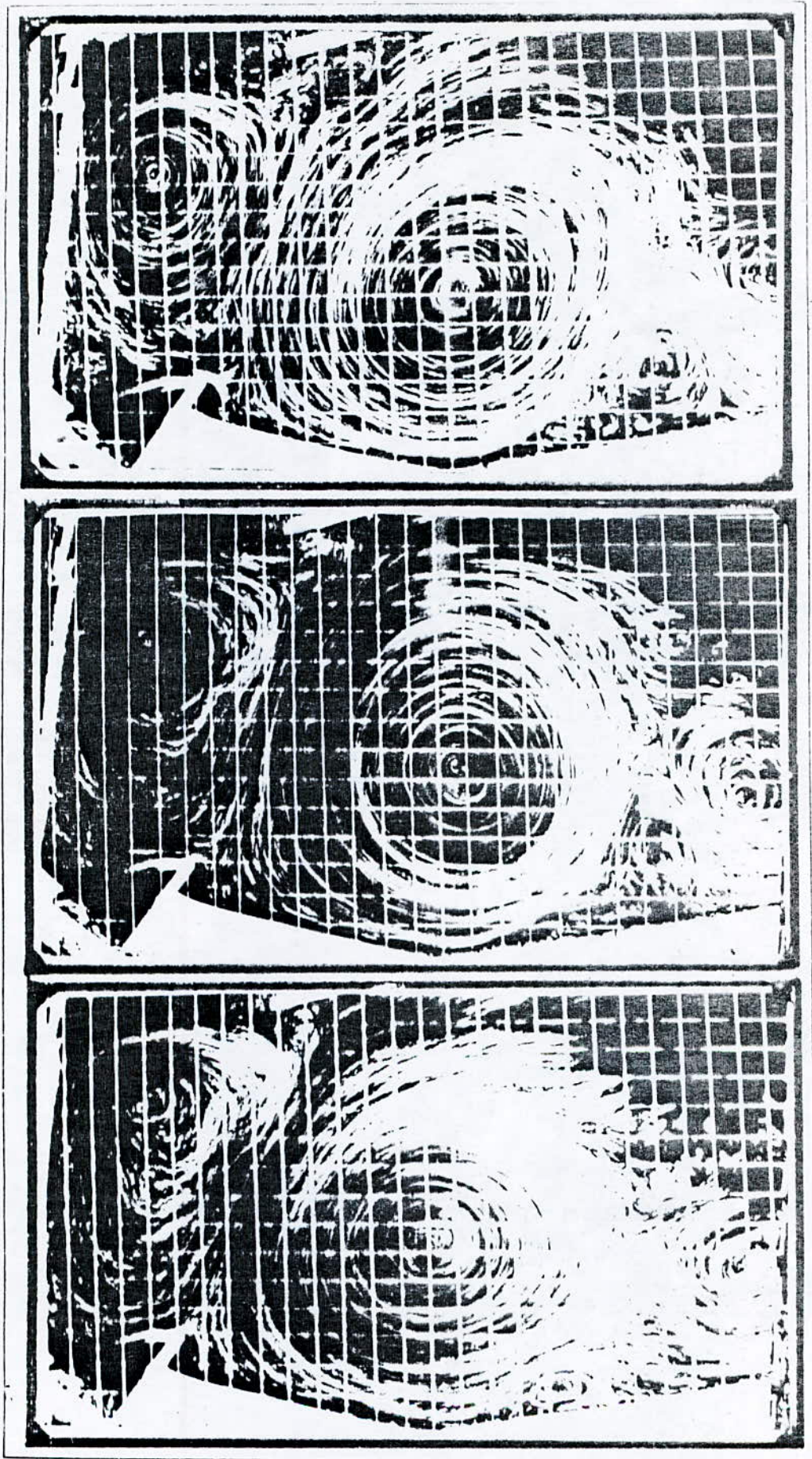
$t = 100s$



$t = 130s$

FIG 39

$Q = 15 \text{ l/s}$ $\alpha = 30^\circ$



t=75s

t=80s

t=85s

FIG 40

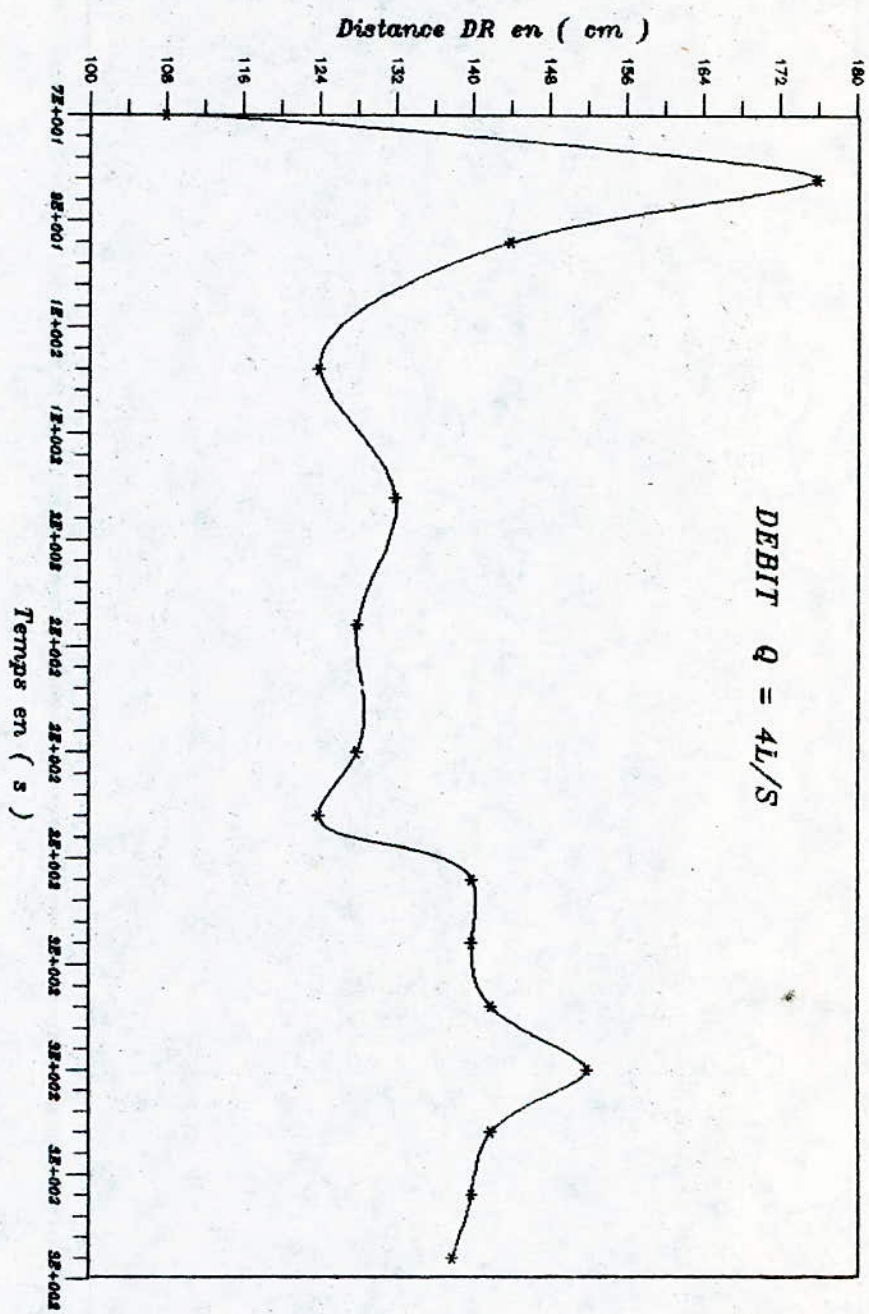


FIG (10) : Variation de la distance DR entre les centres des rouleaux en fonction du temps

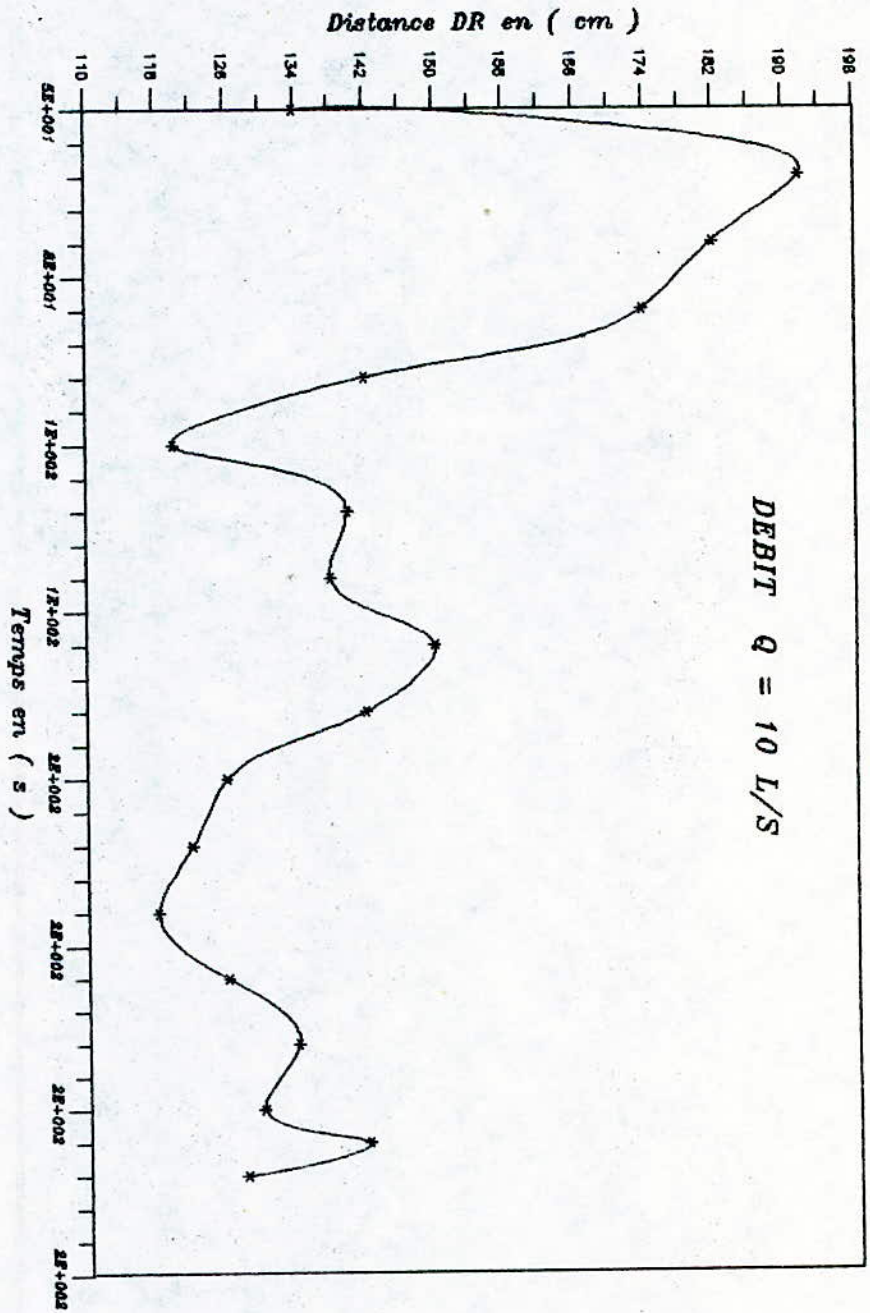


FIG (11) : Variation de la distance DR entre les centres des rouleaux en fonction du temps

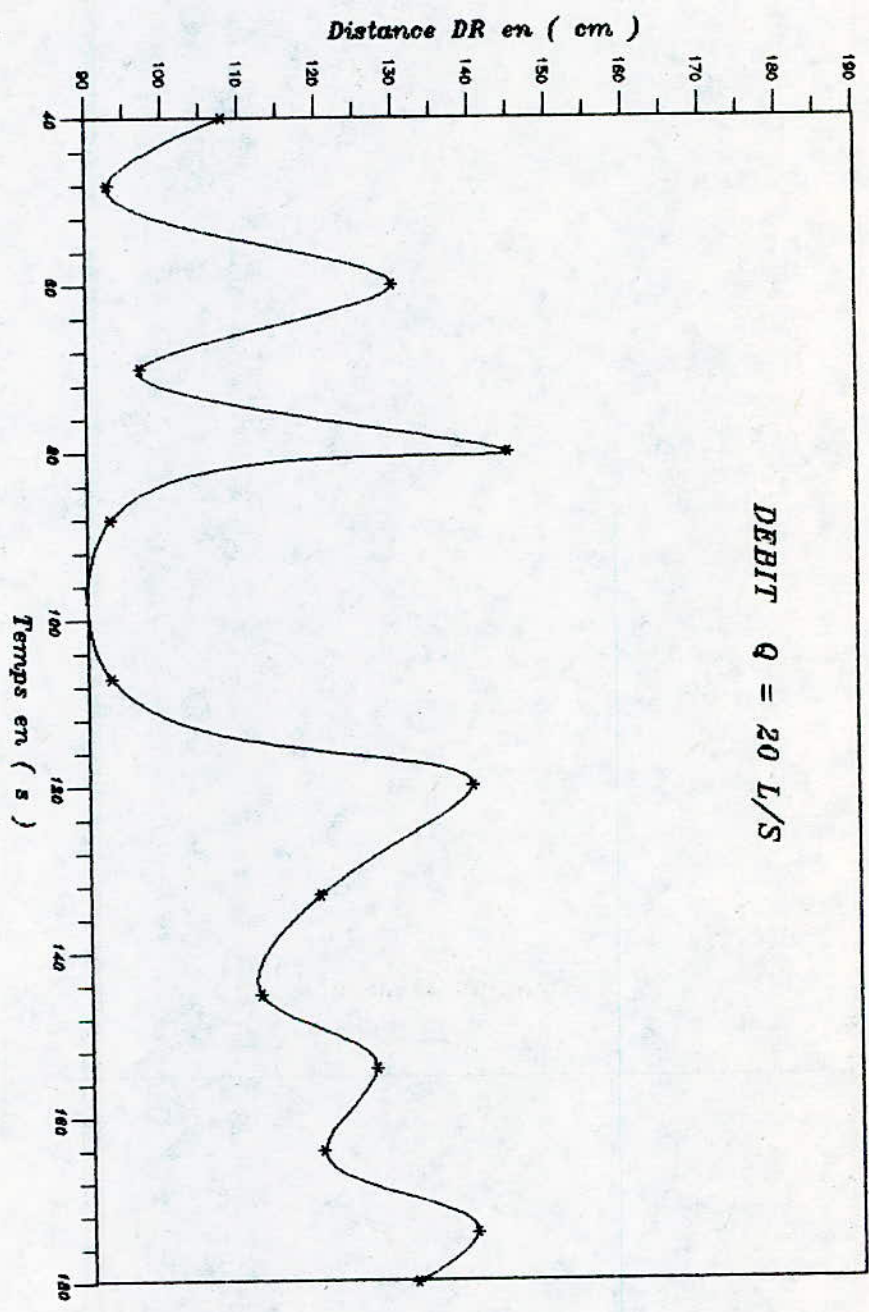


FIG (12) : Variation de la distance DR entre les centres des rouleaux en fonction du temps

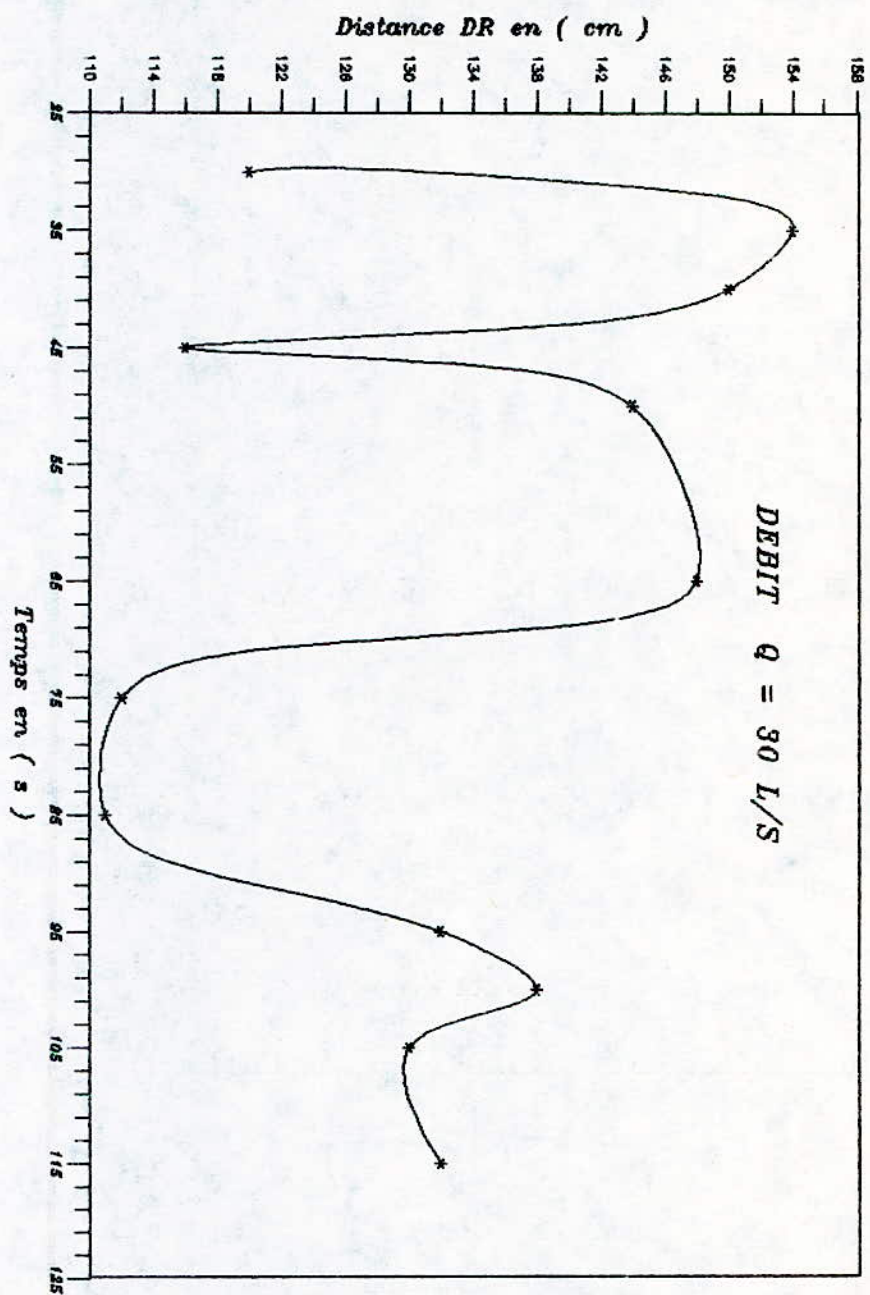


FIG (13) : Variation de la distance DR entre les centres des rouleaux en fonction du temps

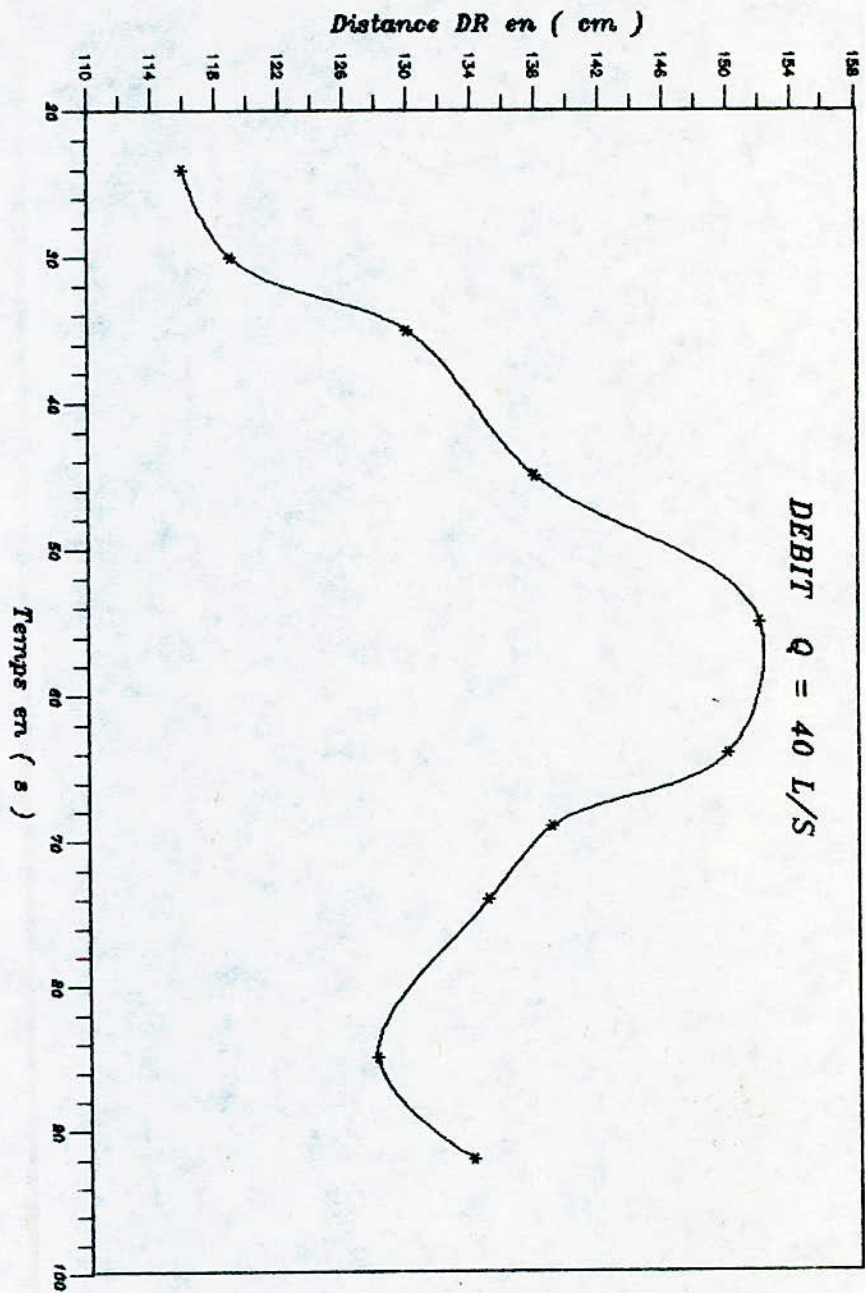


FIG (14) : Variation de la distance DR entre les centres des rouleaux en fonction du temps

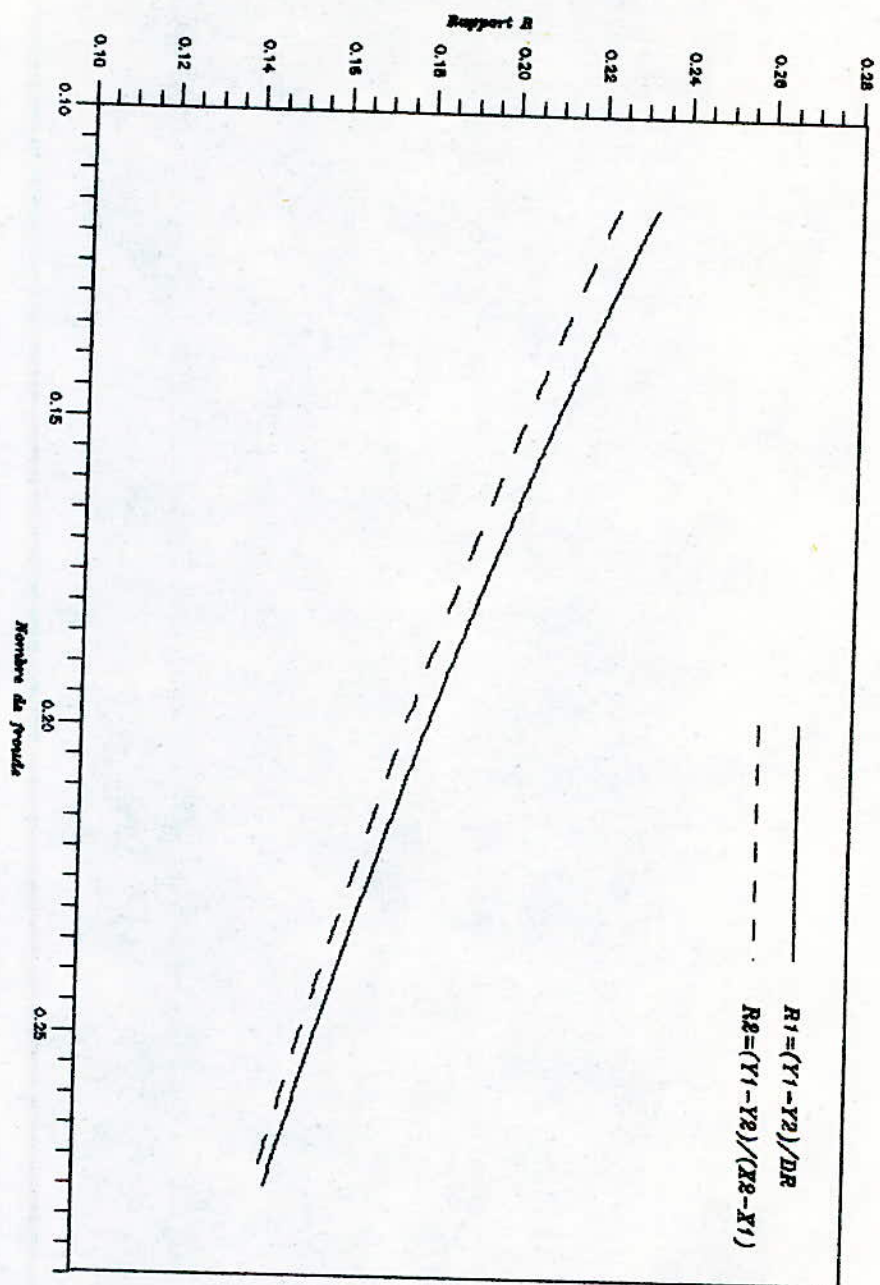


FIG (15) : Variation du rapport R en fonction du nombre de FROUDE

- AUTRE MODELE :

Une autre étude dans le même contexte sur le même barrage a été réalisée par un bureau d'étude yougoslave.

Cette étude était basée sur la mesure du champ de vitesses à l'aide d'un hydromètre miniature à ailettes.

- DESCRIPTION DU MODELE :

L'échelle choisie pour le modèle (1:100e) est un compromis entre une haute précision et une taille réaliste. Pour un débit maximum de 14 000 m³/s (fourni à la fois par le déversoir et les vannes), le débit à obtenir en laboratoire était de 0,14 m³/s , valeur qui se situe près de la limite supérieure des débits faciles à obtenir en laboratoire.

Le modèle fut construit selon une échelle linéaire de un pour cent.

Les schémas d'écoulement furent l'objet de relevés visuels réalisés à l'aide d'un colorant au permanganate de potassium et les vitesses furent mesurées à l'aide d'un hydromètre miniature à ailettes de marque déposée.

- ANALYSE DES RESULTATS :

Les principales caractéristiques des schémas d'écoulement sont les suivantes :

(a) Aux faibles débits (inférieurs à 1 000 m³/s), l'écoulement suit l'ancien lit de l'oued et, détourné par l'éperon rocheux présent sur la rive droite, approche principalement des vannes du côté gauche en créant une zone de recirculation devant les vannes du côté droit. Un tel phénomène pourrait conduire à un dépôt de sédiments dans la zone d'approche de l'ouvrage. (voir fig: 15 page 35)

(b) Aux forts débits (supérieurs à $2\ 000\ m^3/s$),
la retenue est suffisamment profonde pour que l'écoulement
ne soit pas influencé par l'éperon rocheux ni la topographie
du lit de l'oued, et approche des vannes de manière assez
uniforme . (voir fig : 17 à 19 pages 36 à 38)

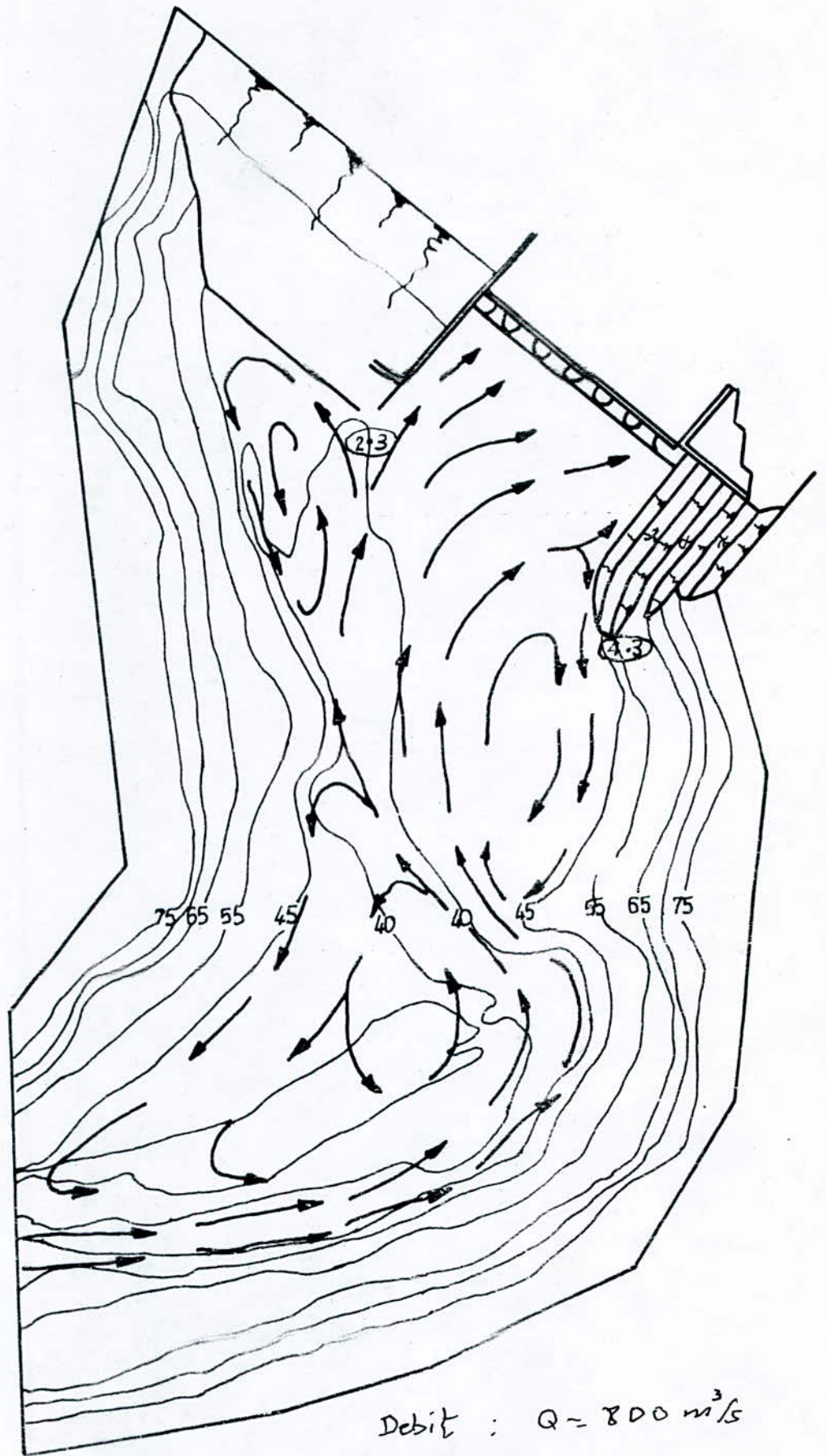


Fig (16)

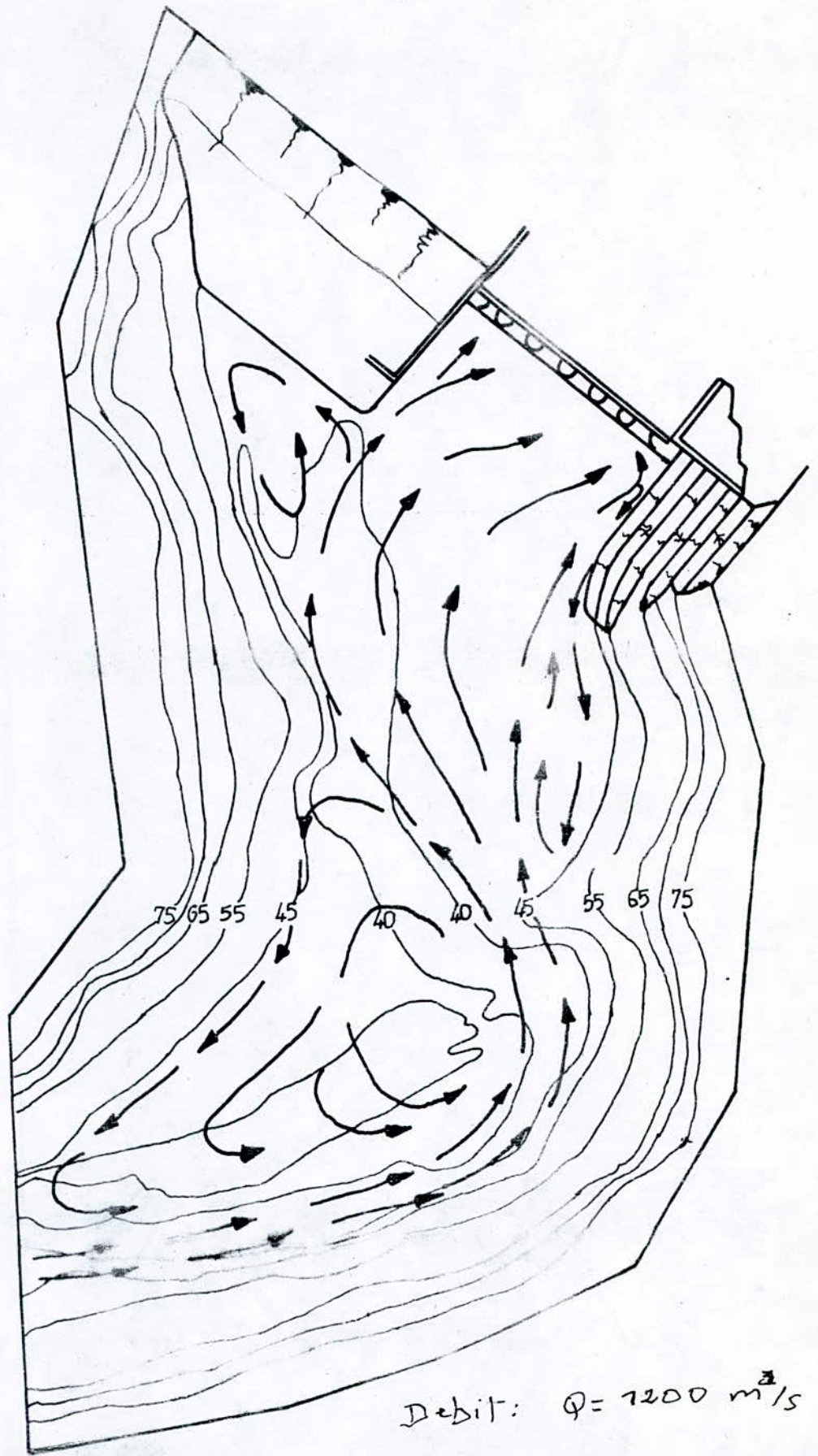
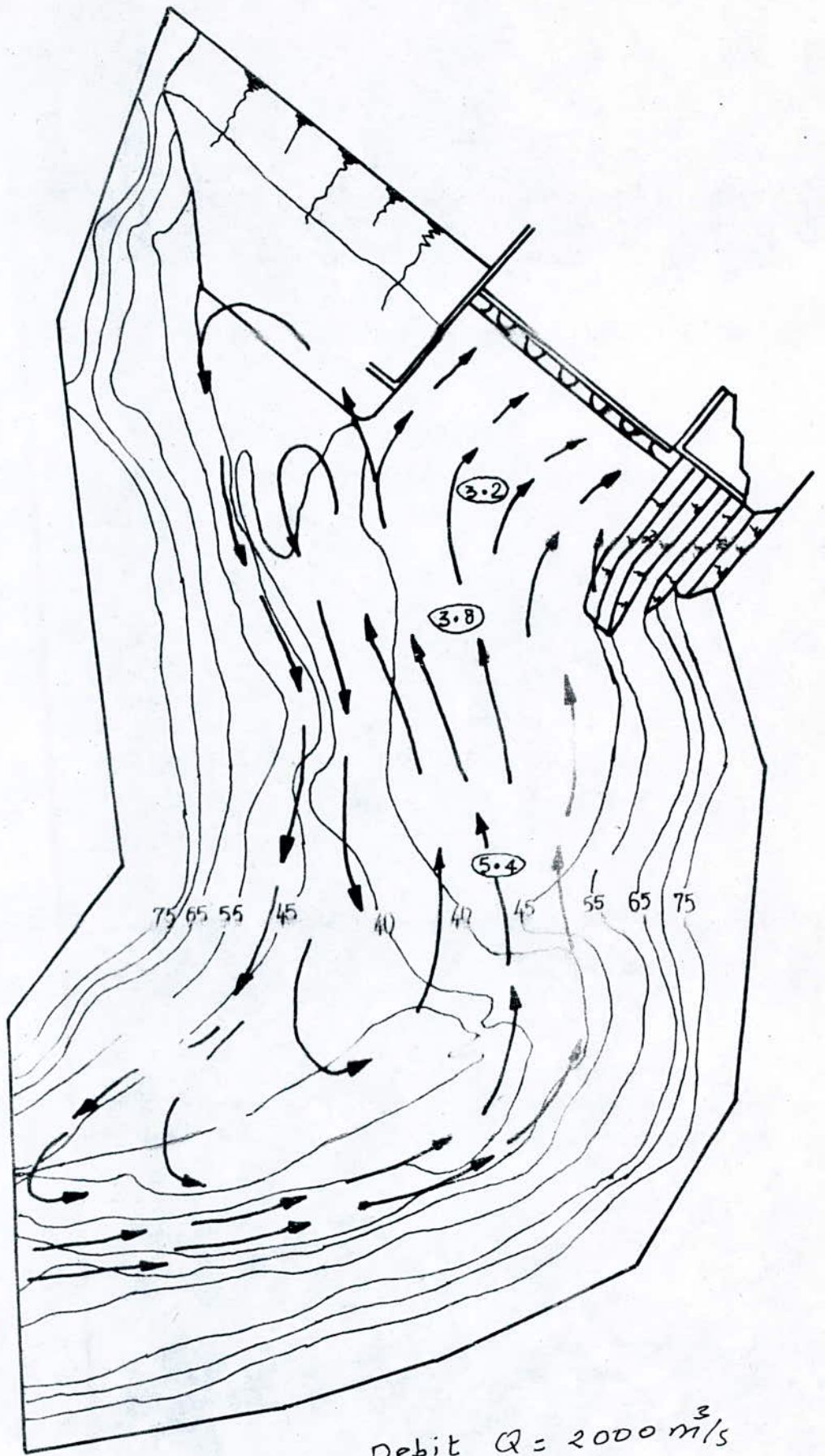


Fig (17)



Debit $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$

Fig(18)

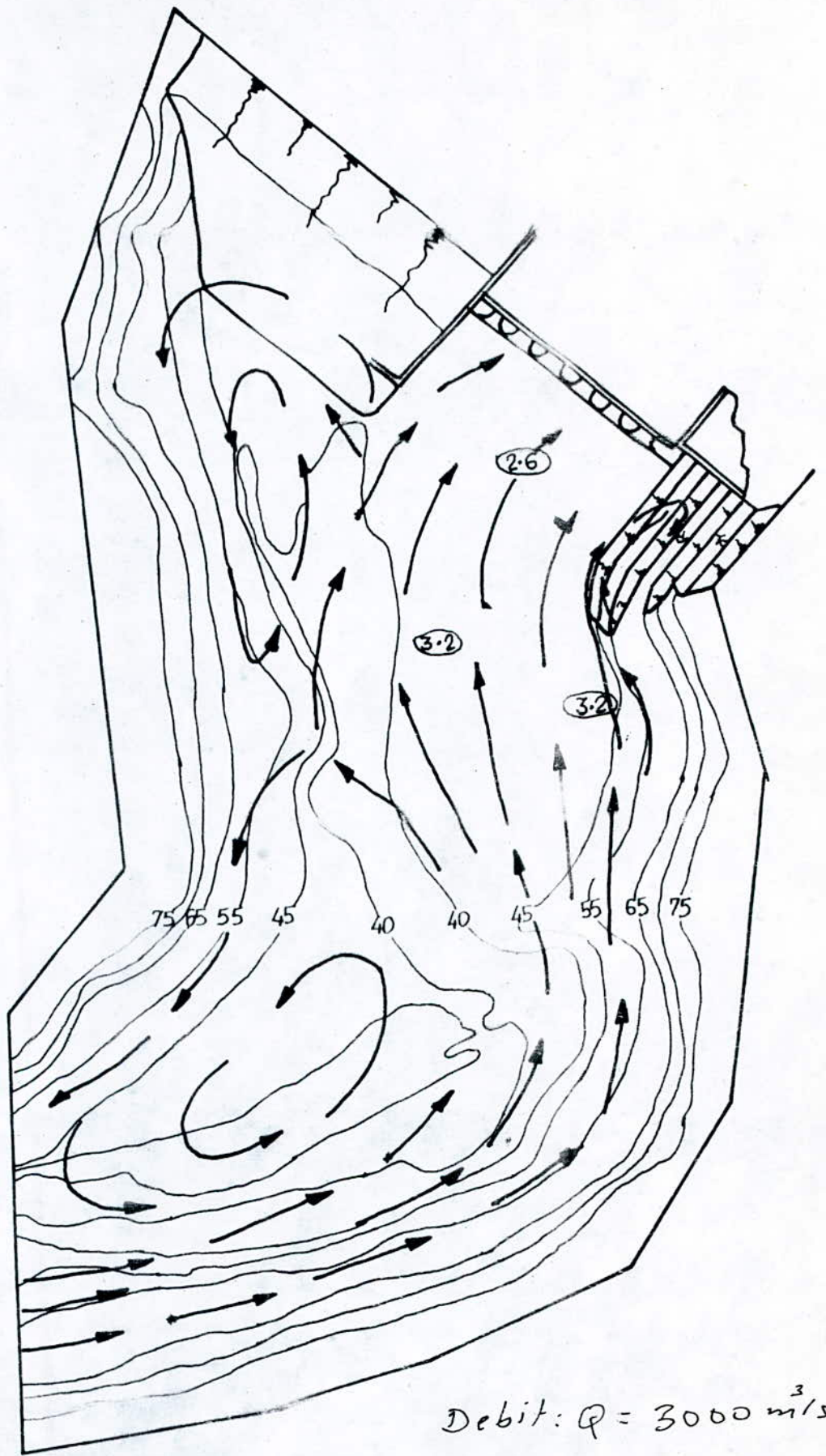


Fig (13)

CHAPITRE V

MODELE MATHEMATIQUE

De la 1^{ere} partie, on peut remarquer que pour bien traiter le problème de l'envasement, il faut bien définir les écoulements à l'intérieur des retenues lors des crues (moment où les retenues sont susceptibles de s'envaser) en faisant des combinaisons d'ouvertures des vannes lors d'une crue pour avoir la combinaison optimale d'ouverture des vannes lors d'une crue pour avoir le minimum d'envasement, ou essayer de ramener les vases à se déposer en une zone où l'on peut débayer avec des angins mécaniques ou du moins loin des zones où sont installés les ouvrages hydrauliques. Pour cela, étudions les équations qui régissent le mouvement dans les retenues :

Équations régissant le mouvement dans les retenues :

/) Dans l'ordre d'avoir une bonne approximation dans les équations régissant l'écoulement bidimensionnel et horizontal, ces derniers dérivent des équations qui régissent un écoulement tridimensionnel :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U^2) + \frac{\partial}{\partial y} (U \cdot V) + \frac{\partial}{\partial z} (U \cdot W) = -fv - g \frac{\partial}{\partial x} ($$

$$(h+Zb) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U \cdot V) + \frac{\partial}{\partial y} (V^2) + \frac{\partial}{\partial z} (V \cdot W) = -u - g \frac{\partial}{\partial y} ($$

$$(h+Zb) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

auxquels s'ajoute l'équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

où

t: représente le temps

x,y,z : système de coordonnées

u,v,w: représentant les différentes vitesses suivant les directions x,y,z.

Zb : niveau du fond par rapport à la référence.

h : profondeur de l'eau.

f_v, f_u : forces de Coriolis; dans notre étude elles seront négligées.

P: densité de l'eau.

Hypothèses faites :

On suppose que l'accélération verticale α_z est négligeable devant la gravité.

On néglige l'accélération de "CORRIOLIS"

On suppose une répartition hydrostatique des pressions $h = az + b$.

On néglige l'effet de vent.

On suppose que le fond et les rives sont imperméables. Ce qui nous donne les conditions aux limites.

Conditions aux limites sur la surface libre

La condition de continuité de h avec les composantes verticales des vitesses des particules à la surface libre w_s est :

$$\frac{d(h+Z_b)}{dt} = w_s \quad \text{et} \quad \frac{d Z_b}{dt} = w_b$$

$$\text{comme } dh = \frac{\partial h}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial h}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial h}{\partial z} \cdot dz + \frac{\partial h}{\partial t} \cdot dt \quad (4)$$

$$\text{comme } \frac{\partial h}{\partial z} = 0; \quad \frac{dx}{dt} = U, \quad \frac{dy}{dt} = V$$

On aura alors :

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + U_s \frac{\partial (h+Z_b)}{\partial x} + V_s \frac{\partial (h+Z_b)}{\partial y} - w_s = 0 \quad (5)$$

$$U_b \frac{\partial z_b}{\partial x} + V_b \frac{\partial z_b}{\partial y} - w_b = 0 \quad (6)$$

On les indices s et b indiquent la surface libre et le fond respectivement. Il s'ensuit :

d'où après les équations (5) et (6), les termes entre crochets disparaissent

Posons :

$$\bar{U} = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} U \cdot dz \quad (7)$$

\bar{U} : vitesse moyenne suivant la verticale

ainsi l'on aura :

$$\begin{aligned} & \int_{Z_b}^{h+Z_b} \left(\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} (U^2) + \frac{\partial}{\partial y} (UV) + \frac{\partial}{\partial z} (U \cdot W) \right) dz = \\ & = \frac{\partial}{\partial t} h \left(\frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} U dz \right) + \frac{\partial}{\partial x} h \left(\frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} U^2 dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \\ & h \cdot \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} U V dz = \frac{\partial}{\partial t} (h \bar{U}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{U}^2) + \frac{\partial}{\partial y} \\ & (h \bar{U} \cdot \bar{V}) \end{aligned}$$

$$\text{Or } U^2 = \bar{U} + (U - \bar{U}) = \bar{U}^2 + (U - \bar{U})^2 + 2(U - \bar{U}) \bar{U}$$

$$\text{d'où : } \bar{U}^2 = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} \bar{U}^2 dz = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} (\bar{U}^2 + (U - \bar{U})^2 + 2U(U - \bar{U})) dz$$

$$\bar{U}^2 = \bar{U}^2 + (U - \bar{U})^2$$

$$UV = (\bar{U} + (U - \bar{U})) (\bar{V} + (V - \bar{V})) = \bar{U} \bar{V} + \bar{V} (U - \bar{U}) + \bar{U} (V - \bar{V}) + (U - \bar{U})(V - \bar{V})$$

$$\text{d'où } \bar{UV} = \bar{U} \bar{V} + (U - \bar{U})(V - \bar{V})$$

d'où on aura :

$$\begin{aligned} & \int_{Z_b}^{h+Z_b} \left(\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U^2) + \frac{\partial}{\partial y} (UV) + \frac{\partial}{\partial z} (U \cdot W) \right) dz = \\ & \frac{\partial}{\partial t} (h \bar{U}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{U}^2) + \frac{\partial}{\partial y} (h \bar{U} \bar{V}) + \frac{\partial}{\partial x} \int_{Z_b}^{h+Z_b} (U - \bar{U})^2 dz \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \int_{Z_b}^{h+Z_b} (U - \bar{U})(V - \bar{V}) dz \quad (8) \end{aligned}$$

l'intégration du terme force de l'équation (1) se fait avec un changement similaire

$$\int_{Z_b}^{h+Z_b} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) dz = \frac{\partial}{\partial x} \int_{Z_b}^{h+Z_b} \tau_{xx} dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{Z_b}^{h+Z_b} \tau_{xy} dz + \tau_{xxs} \frac{\partial}{\partial x} (h+Z_b) + \tau_{xys} (h+Z_b) - \tau_{xzs} + \tau_{xxb} \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \tau_{xyb} \frac{\partial Z_b}{\partial y} - \tau_{xzb} \quad (9)$$

Les termes entre crochets correspondent aux tenseurs des contraintes sur le fond et sur la surface libre, et ceci dérive si on note un système d'axes x', y', z' tel que z' approximativement normal à la surface de l'eau

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -\frac{\partial}{\partial x} (h+Z_b) \\ 0 & 1 & -\frac{\partial}{\partial y} (h+Z_b) \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

La transformation du tenseur montre maintenant

$$\tau_{x'z'} = -\tau_{xx} \frac{\partial}{\partial x} (h+Z_b) - \tau_{xy} \frac{\partial}{\partial y} (h+Z_b) + \tau_{xz}$$

$$\tau_{y'z'} = -\tau_{xy} \frac{\partial}{\partial x} (h+Z_b) - \tau_{yy} \frac{\partial}{\partial y} (h+Z_b) + \tau_{yz}$$

d'où par conséquent, on peut définir les forces

$$\tau_{wx} = (\tau_{x'z'})_a \quad \tau_{wy} = (\tau_{y'z'})_a$$

$$\tau_{bx} = (\tau_{x'z'})_b \quad \tau_b = (\tau_{y'z'})_b$$

d'où l'intégration des équations (1) et (2) donne finalement

$$\frac{\partial}{\partial t} (h\bar{U}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{U}^2) + \frac{\partial}{\partial y} (h\bar{U}\bar{V}) + gh \frac{\partial}{\partial x} (h+Z_b) + \frac{1}{e} (\tau_{wx} - \tau_{bx}) - \frac{1}{e} \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) - \frac{1}{e} \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (h\bar{V}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{U}\bar{V}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\bar{V}^2) + gh \frac{\partial}{\partial y} (h+Z_b) + \frac{1}{e} (\tau_{wy} - \tau_b) - \frac{1}{e} \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) - \frac{1}{e} \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) = 0 \quad (11)$$

où les forces effectives dans les plans verticaux sont définies par:

$$T_{xx} = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} \rho \frac{\partial U}{\partial x} dz - \rho U'^2 - \rho (U-\bar{U})^2 dz \quad (12)$$

$$T_{xy} = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{h+Z_b} \rho V \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) dz - \rho U'V' - \rho (U-\bar{U})(V-\bar{V}) dz \quad (13)$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{h} \int_{z_b}^{h+z_b} \left(2\rho v \frac{\partial v}{\partial y} - \overline{v'v'} - (\bar{v} - \bar{v})^2 \right) dz \quad (14)$$

parmi les hypothèses généralement admises (hypothèses de CHEZY)

$$\tau_{bx} = \frac{g}{C^2} \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad (15)$$

$$\tau_{by} = \frac{g}{C^2} \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad (16)$$

On supposera qu'il n'y a pas de frottement à la surface libre.

$$\tau_{wx} = \tau_{wy} = 0$$

On suppose qu'il n'y a pas d'effet de la turbulence et pas d'effet de la répartition non uniforme de la vitesse d'où les contraintes

effectives seront négligées : $\tau_x x = \tau_y y = 0$

d'où les équations (10) et (11) s'écrivent :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \rho \frac{\partial (h + Zb)}{\partial x} + \rho \frac{U (\sqrt{U^2 + V^2})}{c^2 h} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \rho \frac{\partial (h + Zb)}{\partial y} + \rho \frac{V (\sqrt{U^2 + V^2})}{c^2 h} = 0 \quad (18)$$

Intégration de l'équation de continuité :

$$\int_{z_b}^{h+Zb} \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) dz = 0$$

On $\frac{\partial}{\partial x} \int_{z_b}^{h+Zb} U \cdot dz = \int_{z_b}^{h+Zb} \frac{\partial U}{\partial x} \cdot dz + \frac{\partial h}{\partial x} U(h)$ (vitesse nulle au fond)

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{z_b}^{h+Zb} U \cdot dz = \int_{z_b}^{h+Zb} \frac{\partial U}{\partial x} dz + U_s \frac{\partial h}{\partial x}$$

de même :

$$\frac{\partial}{\partial y} \int_{z_b}^{h+Zb} v dz = \int_{z_b}^{h+Zb} \frac{\partial v}{\partial x} dz + U \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$\int_{z_b}^{h+Zb} \frac{w}{dz} dz = w(h+Zb) - w(z_b) = w \quad (\text{vitesse nulle au fond})$$

On obtient donc :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{U}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \bar{V}) = 0 \quad (19)$$

d'où les équations finales sont :

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \rho \frac{\partial}{\partial x} (h + Zb) + \rho \frac{U (\sqrt{U^2 + V^2})}{c^2 h} &= 0 \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \rho \frac{\partial}{\partial y} (h + Zb) + \rho \frac{V (\sqrt{U^2 + V^2})}{c^2 h} &= 0 \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{U}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \bar{V}) &= 0 \end{aligned}$$

-o- DISCRETISATION -o-
 -o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

PRINCIPES GENERAUX.

Les équations sont discrétisées suivant des schemas aux différences finies.

La résolution se fait en deux étapes sur un pas de temps.

On resoud d'abord de façon implicite les équations (1) et (3) puis (2) de façon explicite. Dans la deuxième étape, on resoud de façon implicite les équations (2) et (3) puis (1) de façon explicite.

A la fin de chaque demi étape on procède à une opération de "moyenne" de vitesse suivant la procédure explicite page

En ce qui concerne les conditions aux limites, deux types sont utilisés :

-Frontière imperméable : la vitesse perpendiculaire à cette frontière est imposée nulle.

-Frontière à débit imposé : Les vitesses sont alors imposées par :

$$U = \frac{Q_x}{h \Delta y} \quad \text{et} \quad V = \frac{Q_y}{h \Delta x} \quad Q \text{ étant le débit imposé}$$

K +2	+	-	+	-	+
K +1	!	0	!	0	!
K	+	-	+	-	+
K-1	!	0	!	0	!
K-2	+	-	+	-	+
		j-1		j+1	
	j-2	j		j+2	

posons :

$$L = h + Zb$$

$$H = -Zb$$

$$1- \frac{\partial u}{\partial t} + U \frac{\partial u}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} - \rho \frac{\partial \xi}{\partial x} + \rho \frac{U \sqrt{U^2 + V^2}}{c^2 (\Pi + \xi)} = 0$$

$$2- \frac{\partial v}{\partial t} + U \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u + \rho \frac{\partial \xi}{\partial y} + \rho \frac{V \sqrt{U^2 + V^2}}{c^2 (\Pi + \xi)} = 0$$

$$3- \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} ((\Pi + \xi) U) + \frac{\partial}{\partial y} ((\Pi + \xi) V) = 0$$

1ere Etape!

équation (1),(3) implicite :

de l'équation (1) on aura :

$$4- \frac{U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - U_{j+1,k}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} + U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{j+1,k}^n + \bar{V}_{j+1,k}^n \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{j+1,k}^n + \rho \frac{\xi_{j+2,k}^{n+V_2} - \xi_{j,k}^{n+V_2}}{2 \Delta x} + \rho \frac{U_{j+1,k} \sqrt{(U_{j+1,k})^2 + (\bar{V}_{j+1,k})^2}}{c^2 \cdot (\bar{\Pi}_{j+1,k}^y + \bar{\xi}_{j+1,k}^x)} = 0$$

et de l'équation (3) , on aura :

$$\frac{\xi_{j,k}^{n+y_2} - \xi_{j,k}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} + \frac{(\bar{\Pi} + \bar{\xi}_x)_{j+1,k}^n \cdot U_{j+1,k}^{n+y_2} - (\bar{\Pi} + \bar{\xi}_x)_{j-1,k}^n \cdot U_{j-1,k}^{n+y_2}}{2 \Delta x} + \frac{(\bar{\Pi}^x + \bar{\xi}^y)_{j,k+1}^n \cdot V_{j,k+1}^n - (\bar{\Pi} + \bar{\xi}^y)_{j,k-1}^n \cdot V_{j,k-1}^n}{2 \Delta y} = 0$$

$$\xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} = \xi_{j,k}^n - \Delta t \frac{(\bar{\Pi}^y + \bar{\xi}^x)_{j+1,k}^n \cdot U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - (\bar{\Pi} + \bar{\xi}^x)_{j-1,k}^n \cdot U_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x}$$

$$-\frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{(\bar{H}^x + \bar{\xi}^y)^n_{j,k+1} \cdot V_{j,k+1}^n - (\bar{H}^x + \bar{\xi}^y)^n_{j,k-1} \cdot V_{j,k-1}^n}{2\Delta y}$$

$$\xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} = -\Delta 1_{j-1,k}^n \cdot U_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \Delta 1_{j+1,k}^n \cdot U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + X_{j,k}^n + \xi_{j,k}^n \quad (5)$$

où:

$$\Delta 1_{j-1,k}^n = -\frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{(\bar{H}^y + \bar{\xi}^x)^n_{j-1,k}}{2\Delta x}$$

$$\Delta 1_{j+1,k}^n = -\frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{(\bar{H}^y + \bar{\xi}^x)^n_{j+1,k}}{2\Delta x}$$

$$X_{j,k}^n = -\frac{\Delta t}{2} \cdot \frac{(\bar{H}^x + \bar{\xi}^y)^n_{j,k+1} \cdot V_{j,k+1}^n - (\bar{H}^x + \bar{\xi}^y)^n_{j,k-1} \cdot V_{j,k-1}^n}{2\Delta y}$$

de l'équation (5) on peut obtenir $\xi_{j+2,k}^{n+\frac{1}{2}}$

$$\xi_{j+2,k}^{n+\frac{1}{2}} = -\Delta 1_{j+1,k}^n \cdot U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \Delta 1_{j+3,k}^n \cdot U_{j+3,k}^{n+\frac{1}{2}} + X_{j+2,k}^n + \xi_{j+2,k}^n$$

des équations (5) et (6), on peut avoir $\xi_{j+2,k}^{n+\frac{1}{2}} - \xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}}$

on fonction de $U_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}$, $U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}}$, $U_{j+3,k}^{n+\frac{1}{2}}$

c'est à dire : (6) - (5) ; donne

$$\xi_{j+2,k}^{n+\frac{1}{2}} - \xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} = + \Delta 1_{j-1,k}^n \cdot U_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}} - 2\Delta 1_{j+1,k}^n \cdot U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \Delta 1_{j+3,k}^n \cdot U_{j+3,k}^{n+\frac{1}{2}}$$

$$+ (X_{j+2,k}^n - X_{j,k}^n) + (\xi_{j+2,k}^n - \xi_{j,k}^n) \text{---} * (7)$$

On remplace l'équation (7) dans l'équation (4), on obtient :

$$\frac{g}{2\Delta x} \cdot \Delta 1_{j-1,k}^n \cdot U_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \left[\frac{2}{\Delta t} + \left(\frac{U}{x} \right)_{j+1,k} - \frac{g}{x} \Delta 1_{j+1,k}^n \right] U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}}$$

$$+ \frac{g}{2\Delta x} \Delta 1_{j+3,k}^n \cdot U_{j+3,k}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{2}{\Delta t} U_{j+1,k}^n - \bar{V}_{j+1,k}^n \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)_{j+1,k}^n$$

$$+ \frac{g}{2\Delta x} (X_{j+2,k}^n - X_{j,k}^n) - \frac{g}{2\Delta x} (\xi_{j+2,k}^n - \xi_{j,k}^n) +$$

$$- g \cdot \frac{U_{j+1,k}^n \cdot \left(\sqrt{(U_{j+1,k}^n)^2 + (\bar{V}_{j+1,k}^n)^2} \right)}{C_2 \left(\frac{Y}{j+1,k} + \xi_{j+1,k}^n \right)}$$

ce qui peut être écrit sous la forme :

=====

$$(8) S1(j-1) \cdot U_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}} + S2(j-1) \cdot U_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + S3(j-1) \cdot U_{j+3,k}^{n+\frac{1}{2}} = S4(j-1)$$

=====

Ou

$$S1(j-1) = \frac{\epsilon}{2\Delta x} A1_{j-1,k}^n = - \frac{\epsilon \cdot \Delta t}{8(\Delta x)^2} \left(\bar{H}^y + \bar{\xi}^x \right)_{j-1,k}^n$$

$$S2(j-1) = \frac{2}{\Delta t} + \left(\frac{du}{dx} \right)_{j+1,k}^n - \frac{\epsilon}{\Delta x} A1_{j+1,k}^n$$

$$S3(j-1) = \frac{\epsilon}{2\Delta x} A1_{j+3,k}^n = - \frac{\epsilon \cdot \Delta t}{4(\Delta x)^2} \cdot \left(\bar{H}^y + \bar{\xi}^x \right)_{j+3,k}^n$$

$$S4(j-1) = \frac{2}{\Delta t} u_{j+1,k}^n - v_{j+1,k}^n \left(\frac{du}{dy} \right)_{j+1,k}^n - \frac{\epsilon}{2\Delta x}$$

$$\left(x_{j+2,k}^n - x_{j,k}^n \right) \cdot \frac{\epsilon}{2x} \left(\int_{j+2,k}^n - \int_{j,k}^n \right) +$$

$$\frac{\epsilon}{\Delta t} \cdot \frac{u_{j+1,k}^n \cdot \sqrt{\left(u_{j+1,k}^n \right)^2 + \left(v_{j+1,k}^n \right)^2}}{o^2 \left(\bar{H}_{j+1,k}^y + \bar{\xi}_{j+1,k}^x \right)^n}$$

L'equation (3) constitue un systeme d'equations lineaires pour k fixe et j varie de jmin à jmax.

Et de l'equation ((5)), on peut determiner $\int_{j,k}^{n+j}$ k etant fixe.

DETERMINATION EXPLICITE DE $V_{j,k}^{n+j}$

De l'equation (3), on a :

$$\frac{v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - v_{j,k+1}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} + \bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{j,k+1} + v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_{j,k+1}^n +$$

$$\varepsilon \frac{\int_{j,k+2}^n - \int_{j,k}^n}{2 \Delta y} + \varepsilon \frac{v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \sqrt{(\bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}})^2 + (v_{j,k+1}^n)^2}}{o^2 \left(\bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} + \int_{j,k+1}^n \right)} = 0$$

Ce qui implique :

$$\left(\frac{2}{\Delta t} + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_{j,k+1}^n \right) v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{2}{\Delta t} v_{j,k+1}^n - \bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{j,k+1}^n +$$

$$-\varepsilon \frac{\int_{j,k+2}^{n+\frac{1}{2}} - \int_{j,k+2}^{n+\frac{1}{2}}}{2 \Delta y} - \varepsilon \frac{v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \sqrt{(\bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}})^2 + (v_{j,k+1}^n)^2}}{o^2 \left(\bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} + \int_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \right)}$$

Ce qui peut être écrit sous forme :

$$B_{j,k+1}^n \cdot v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} = C_{j,k+1}^n$$

Donc on peut déterminer explicitement $v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}}$:

$$\frac{v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}}}{B_{j,k+1}^n} = \frac{C_{j,k+1}^n}{B_{j,k+1}^n}$$

En faisant varier j pour , on determine $u^{n+\frac{1}{2}}$ et $v^{n+\frac{1}{2}}$ pour chaque pas Δy , c'est à dire k varie de k_{min} à k_{max} , puis de la même façon on calcule explicitement $v^{n+\frac{1}{2}}$.

A la fin de cette première étape on fait la correction de la vitesse u et v à l'aide de l'opération suivante :

$$u_{j,k}^* = (1-w) u_{j,k} + \frac{w}{4} (u_{j-1,k} + u_{j+1,k} + u_{j,k-1} + u_{j,k+1})$$

$$v_{j,k}^* = (1-w) v_{j,k} + (v_{j-1,k} + v_{j+1,k} + v_{j,k-1} + v_{j,k+1}) \frac{w}{4}$$

Où w est un coefficient de correction.

Ces nouvelles vitesses sont utilisées au début de l'étape suivante car $u_{j+1,k}$ et $v_{j,k+1}$ ont été pbtenues à l'aide de la méthode des différences finis.

On a

$$u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} = u_{j+1,k}^n - \frac{\Delta t}{2} L1(u^n, v^n, \xi)$$

Si l'équation différentielle (16) est sous la forme

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L1(u, v, \xi) = 0$$

Et si Δt est le pas de temps total

$$u_{j+1,k}^* = u_{j+1,k}^n - \frac{\Delta t}{2} L1(u^n, v^n, \xi) - \frac{1}{4} w \Delta x^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Si $\Delta x = \Delta y$ alors:

$u_{j+1,k}^* - u_{j,k}^* = \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial u}{\partial t}$; L'equation si dessus sera alors :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L1(u,v, \dots) + w \frac{\Delta x^2}{2\Delta t} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = 0$$

On fait la même chose pour v. ce qui coïncide avec l'equation (20)

si

$$\xi = w \frac{\Delta x^2}{2\Delta t}$$

pour w constante.

2^{eme} Etape

On résoud les équations (2) et (3) de façon implicite, (1) de façon explicite.

Equation (2) :

$$\frac{v_{j,k+1}^{n+1} - v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}\Delta t} + \bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} + v_{j,k+1}^{n+1} \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} +$$

$$+ \epsilon \frac{\left\{ \begin{matrix} n+1 \\ j,k+2 \end{matrix} \right\} - \left\{ \begin{matrix} n+1 \\ j,k \end{matrix} \right\}}{2\Delta y} + \epsilon \frac{v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \cdot \sqrt{\left(u_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}}\right)^2 + \left(v_{j,k+1}^n\right)^2}}{\Delta^2 \left(\bar{H}_{j,k+1}^x + \bar{H}_{j,k+1}^y\right)^{n+\frac{1}{2}}} = 0$$

Equation (3) :

$$\frac{\left\{ \begin{matrix} n+1 \\ j,k \end{matrix} \right\} - \left\{ \begin{matrix} n+\frac{1}{2} \\ j,k \end{matrix} \right\}}{\frac{1}{2}\Delta t} + \frac{\left(\bar{H}_{j+1,k}^y + \bar{H}_{j+1,k}^x\right)^{n+\frac{1}{2}} u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - \left(\bar{H}_{j-1,k}^y + \bar{H}_{j-1,k}^x\right)^{n+\frac{1}{2}} u_{j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x} +$$

$$\frac{\left(\bar{H}_{j,k+1}^x + \bar{H}_{j,k+1}^y\right)^{n+\frac{1}{2}} v_{j,k+1}^{n+1} - \left(\bar{H}_{j,k-1}^x + \bar{H}_{j,k-1}^y\right)^{n+\frac{1}{2}} v_{j,k-1}^{n+1}}{2\Delta y} = 0$$

on pose :

$$A1_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{\left(\bar{H}_{j,k}^x + \bar{H}_{j,k}^y\right)^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y}$$

$$A2_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{\left(\bar{H}_{j,k}^y + \bar{H}_{j,k}^x\right)^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x}$$

on obtient ainsi :

$$\left\{ \begin{array}{l} n+1 \\ j,k \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k \end{array} \right\} - \frac{\Delta t}{2} \Delta_2 \left(\begin{array}{l} n+1/2 \\ j+1,k \end{array} u \begin{array}{l} n+1/2 \\ j+1,k \end{array} - \begin{array}{l} n+1/2 \\ j-1,k \end{array} u \begin{array}{l} n+1/2 \\ j-1,k \end{array} \right) + \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \left(\begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k-1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k-1 \end{array} + \right.$$

$$\left. - \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+1 \end{array} \right)$$

En posant

$$\Delta_3 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k \end{array} = \Delta_2 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j+1,k \end{array} u \begin{array}{l} n+1/2 \\ j+1,k \end{array} - \Delta_2 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j-1,k \end{array} u \begin{array}{l} n+1/2 \\ j-1,k \end{array}$$

d'où

$$\left\{ \begin{array}{l} n+1 \\ j,k \end{array} \right\} = \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k-1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k-1 \end{array} - \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+1 \end{array} + \left\{ \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k \end{array} \right\} - \frac{\Delta t}{2} \Delta_3 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k \end{array}$$

De l'équation (10), on détermine $\left\{ \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+2 \end{array} \right\}$

$$\left\{ \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+2 \end{array} \right\} = \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+1 \end{array} - \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+3 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+3 \end{array} + \left\{ \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+2 \end{array} \right\} - \frac{\Delta t}{2} \Delta_3 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+2 \end{array}$$

d'où

$$\left\{ \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+2 \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} n+1 \\ j,k \end{array} \right\} = \frac{\Delta t}{2} \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k-1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k-1 \end{array} + \Delta t \Delta_1 \begin{array}{l} n+1/2 \\ j,k+1 \end{array} v \begin{array}{l} n+1 \\ j,k+1 \end{array} +$$

$$-\frac{\Delta t}{2} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}} v_{j,k+3}^{n+1} + \left(\xi_{j,k+2}^{n+\frac{1}{2}} - \xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} \right) - \frac{\Delta t}{2} \left(\Delta_3^{n+\frac{1}{2}}_{j,k+2} - \Delta_3^{n+\frac{1}{2}}_{j,k} \right)$$

d' ou les equations (12) et (10) donnent

$$-\frac{\epsilon \Delta t}{4 \Delta y} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}} v_{j,k-1}^{n+1} + \left(\frac{2}{\Delta t} + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{\epsilon \Delta t}{2 \Delta y} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}} \right) v_{j,k+1}^{n+1} +$$

$$-\frac{\epsilon \Delta t}{4 \Delta y} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}} v_{j,k+3}^{n+1} = \frac{2}{\Delta t} v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - \bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} +$$

$$-\frac{\epsilon}{2 \Delta y} \left(\xi_{j,k+2}^{n+\frac{1}{2}} - \xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{\epsilon \Delta t}{4 \Delta y} \left(\Delta_3^{n+\frac{1}{2}}_{j,k+2} - \Delta_3^{n+\frac{1}{2}}_{j,k} \right) +$$

$$-\epsilon \frac{v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \sqrt{\left(\bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \right)^2 + \left(v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \right)^2}}{\sigma^2 \left(\frac{x}{H} + \xi \right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}}}$$

On pose

$$S1(k-1) = -\frac{\epsilon \Delta t}{4 \Delta y} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}}_{j,k-1}$$

$$S2(k-1) = \frac{2}{\Delta t} + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{\epsilon \Delta t}{2 \Delta y} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}}_{j,k+1}$$

$$S3(k-1) = -\frac{\epsilon \Delta t}{4 \Delta y} \Delta_1^{n+\frac{1}{2}}_{j,k+3}$$

$$S4(k-1) = \frac{2}{\Delta t} v_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - \bar{u}_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{\epsilon}{2 \Delta y} \left(\xi_{j,k+2}^{n+\frac{1}{2}} - \xi_{j,k}^{n+\frac{1}{2}} \right)$$

$$-\left\{ \begin{matrix} n+2 \\ j,k \end{matrix} \right\} + \frac{S \Delta t}{4 \Delta y} \left(\begin{matrix} n+2 \\ j,k+2 \end{matrix} - \begin{matrix} n+2 \\ j,k \end{matrix} \right) - S \frac{v_{j,k+1}^{n+2} \sqrt{\left(\frac{u_{j,k+1}^{n+2}}{H} + \frac{v_{j,k+1}^{n+2}}{H} \right)^2}}{c^2 \cdot \left(\frac{H}{H} + \frac{v}{H} \right)_{j,k+1}^{n+2}}$$

on aura :

$$S1(k-1) v_{j,k-1}^{n+1} + S2(k-1) v_{j,k+1}^{n+1} + S3(k-1) v_{j,k+3}^{n+1} = S4(k-1)$$

Ce qui constitue un système linéaire pour j fixe et k varie de $k_{min}+1$ jusqu'à k_{max} .

Puis à l'aide de l'équation (12), on peut déterminer U^{n+1} .

DETERMINATION EXPLICITE DE U^{n+1}

Equation (1):

$$\frac{u_{j+1,k}^{n+1} - u_{j+1,k}^{n+2}}{\frac{1}{2} \Delta t} + u_{j+1,k}^{n+1} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{j+1,k}^{n+2} + \frac{u_{j+1,k}^{n+1}}{v_{j+1,k}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{j+1,k}^{n+2} +$$

$$+ S \frac{u_{j+2,k}^{n+1} - u_{j,k}^{n+1}}{2 \Delta z} + S \frac{u_{j+1,k}^{n+1} \sqrt{\left(\frac{u_{j+1,k}^{n+2}}{H} \right)^2 + \left(\frac{v_{j+1,k}^{n+1}}{H} \right)^2}}{\left(\frac{H}{H} + \frac{v}{H} \right)_{j+1,k}^{n+1}}$$

$$= 0$$

Ce qui implique:

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{2}{dt} + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{(u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}})^2 + (v_{j+1,k}^{n+1})^2}}{\left(\frac{y}{H} + \frac{x}{L} \right)_{j+1,k}^{n+1}} \right) u_{j+1,k}^{n+1} = \\
& = \left(\frac{2}{dt} + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{(u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}})^2 + (v_{j+1,k}^{n+1})^2}}{\left(\frac{y}{H} + \frac{x}{L} \right)_{j+1,k}^{n+1}} \right) u_{j+1,k}^{n+1} = \\
& = \frac{2}{dt} u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{v_{j+1,k}^{n+1}}{v_{j+1,k}^{n+1}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - \varepsilon \frac{\xi_{j+2,k}^{n+1} - \xi_{j,k}^{n+1}}{2 \Delta x}
\end{aligned}$$

Soient :

$$A_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{2}{Dt} + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + \varepsilon \frac{\sqrt{(u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}})^2 + (v_{j+1,k}^{n+1})^2}}{\left(\frac{y}{H} + \frac{x}{L} \right)_{j+1,k}^{n+1}}$$

et

$$B_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{2}{t} u_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{v_{j+1,k}^{n+1}}{v_{j+1,k}^{n+1}} \left(\frac{u}{y} \right)_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - \varepsilon \frac{\xi_{j+2,k}^{n+1} - \xi_{j,k}^{n+1}}{2 \Delta x}$$

donc :

$$u_{j+1,k}^{n+1} = \frac{B_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{A_{j+1,k}^{n+\frac{1}{2}}}$$

CONVERGENCE :

Le processus de calcul peut être considéré physiquement au départ comme étant la création de vagues dans le modèle. ces vagues diminuent avec l'augmentation du temps en vue d'atteindre le régime permanent . Ce point de vue donne une indication sur les facteurs influençant la rapidité de convergence .

Premièrement , l'état permanent doit être atteint un temps particulier , ce temps diminue quand le pas de temps est choisi aussi grand que possible.

Du point de vue précision, ce temps n'est pas limité, car lorsqu'il y'a équilibre, les termes dérivés par rapport au temps n'influencent pas la solution.

Cependant, le pas de temps ne peut être choisi arbitrairement grand, à cause du processus de calcul de la moyenne de u et v après chaque demi-pas de temps.

Deuxièmement, les conditions aux limites influencent la rapidité de la convergence. Dans ce cas la magnitude des ondes de perturbation, qui sont introduites au début jouent un rôle important. Quand les conditions aux limites désirées sont imposées instantanément, les ondes sont introduites avec une grande amplitude. Les ondes d'amplitudes plus petites sont obtenues par l'introduction progressive des valeurs des premières ondes .

D'autre part la durée de temps sur laquelle, les vitesses aux limites ouvertes augmentent ne doit pas être très grandes dans le cas précédent . Si non l'avantage obtenu est annulé.

Bien que ceci ne soit pas étudié systématiquement, ce temps devient raisonnablement satisfaisant quand il est égal à deux ou trois fois la période naturelle des oscillations dans le modèle .

La géométrie du modèle constitue un point important mais inchangeable. Les amplitudes des ondes de perturbation qui se déplaçant dans un modèle avec conditions aux limites ouvertes en certains points seulement, diminuant par diffraction.

Pour accélérer la convergence, l'estimation initiale des vitesses peut être prise à partir de la solution des équations dynamiques pour des mailles de grandes tailles, c'est à dire un petit nombre de points .

Quand le terme $\partial \xi / \partial t$ de l'équation de continuité est remplacé par $\beta \partial \xi / \partial t$, l'influence n'existe que sur la rapidité de la convergence. Dans le reste de ce calcul β est pris égal à l'unité .

S T A B I L I T E :

Leendertse a trouvé que la méthode de différence finie définie avant est linéairement stable, car la linearisation satisfait le critère de la stabilité locale quelque soit le pas du temps choisi, c'est bien l'avantage de la méthode d'implicite, où le choix du pas de temps est basé sur des considérations de stabilité . Cependant, en pratique, une onde de perturbation de longueur d'onde $2 \cdot \Delta x$ se développe à long terme, qui conduit les calculs à des fausses valeurs. C'est bien le phénomène de l'instabilité non - linéaire. Ce qui est expliqué physiquement comme étant le transfert de l'énergie par turbulence .

L'approche faite pour éviter ce genre de problème est l'introduction d'un type de viscosité due à l'énergie de dissipation pour simuler le transfert d'énergie autour des mailles de taille inférieure à $2 \cdot \Delta x$. La procédure utilisée est qu'après chaque demi pas de temps, les vitesses sont calculées à partir d'un coefficient de moyenne α telle que :

$$u^*(j+1,k) = (1 - \alpha) \cdot u(j+1,k) + \alpha \bar{u}(j+1,k) .$$

$$v^*(j,k+1) = (1 - \alpha) \cdot v(j,k+1) + \alpha \bar{v}(j,k+1) .$$

et ces valeurs u^* et v^* sont utilisées dans l'étape consecutive. Car $u(j+1,k)$ et $v(j,k+1)$ ont été obtenues par la méthode des différences finies, elles peuvent être écrites:

$$u^{n+1/2}(j+1,k) = u^n(j+1,k) - \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot L_1(u^n, v^n, \xi^n).$$

si l'équation de base est abrégée par :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L_1(u, v, \xi) = 0$$

et si Δt est le pas du temps total :
alors

$$u^*(j+1,k) = u^n(j+1,k) - \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot L_1(u^n, v^n, \xi^n) + \\ - \alpha \cdot \Delta x^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) / 4.$$

si $\Delta x = \Delta y$ est la distance entre des points vitesses ,
on a d'autre part :

$$u^*(j+1,k) - u^n(j+1,k) = \frac{1}{2} \Delta t \frac{\partial u}{\partial t}$$

Des deux equations, on aura:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L_1(u, v, \xi) + \frac{1}{2} \alpha \frac{\Delta x^2}{\Delta t} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0$$

Et de la même manière pour v , on trouve :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + L_2(u, v, \xi) + \frac{1}{2} \alpha \frac{\Delta y^2}{\Delta t} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0$$

L'introduction du terme de viscosité α

ou
$$\xi = \frac{1}{2} \alpha \frac{\Delta x^2}{\Delta t}$$

accélère le taux de la convergence.

Quand le pas de temps ainsi que le pas d'espace sont choisis, le coefficient de viscosité doit être choisi de telle façon à remplir la condition de stabilité. Donc doit être pris inférieur à l'unité, sinon, le pas de temps doit être pris inférieur à celui déjà choisi, pour avoir la rapidité

CONDITIONS AUX LIMITES /

Deux types se présentent : ouvert et fermé. Concernant les conditions aux limites fermées, deux problèmes se situent dans le calcul des dérivées.

$$\frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{et} \quad \frac{\partial v}{\partial x}$$

Le premier se néglige ces termes dans ces conditions.
Donc :

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad \text{à la limite parallèle à l'axe OX.}$$

et

$$\frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad \text{à celle parallèle à l'axe OY.}$$

Ce qui veut dire que les vitesses à la limite extérieure sont obtenues par extrapolation des vitesses intérieures .

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{j,k} = \frac{u(j-1,k) - u(j-1,k-1)}{\Delta y}$$

et

$$\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_{j,k-1} = \frac{v(j,k-1) - v(j-1,k-1)}{\Delta x}$$

Pour les conditions aux limites ouvertes connaissant le débit entrant ou sortant, on peut avoir les vitesses ainsi que les hauteurs .

$$u_{m-1,k}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{q(m-1,k)}{2 \left(H_{m-1,k} - \frac{y}{2} \xi_{m,k}^n - \frac{1}{2} \xi_{m+2,k}^n \right) \cdot x}$$

on peut utiliser d'autres conditions, concernant la direction de la propagation de l'onde, si elle est positive dirigée dans le modèle alors :

$$u - u^0 = -(g/c) \cdot (\xi - \xi^0)$$

si elle positive dirigée à l'extérieur du modèle, alors :

$$u - u^0 = +(g/c) \cdot (\xi - \xi^0)$$

où

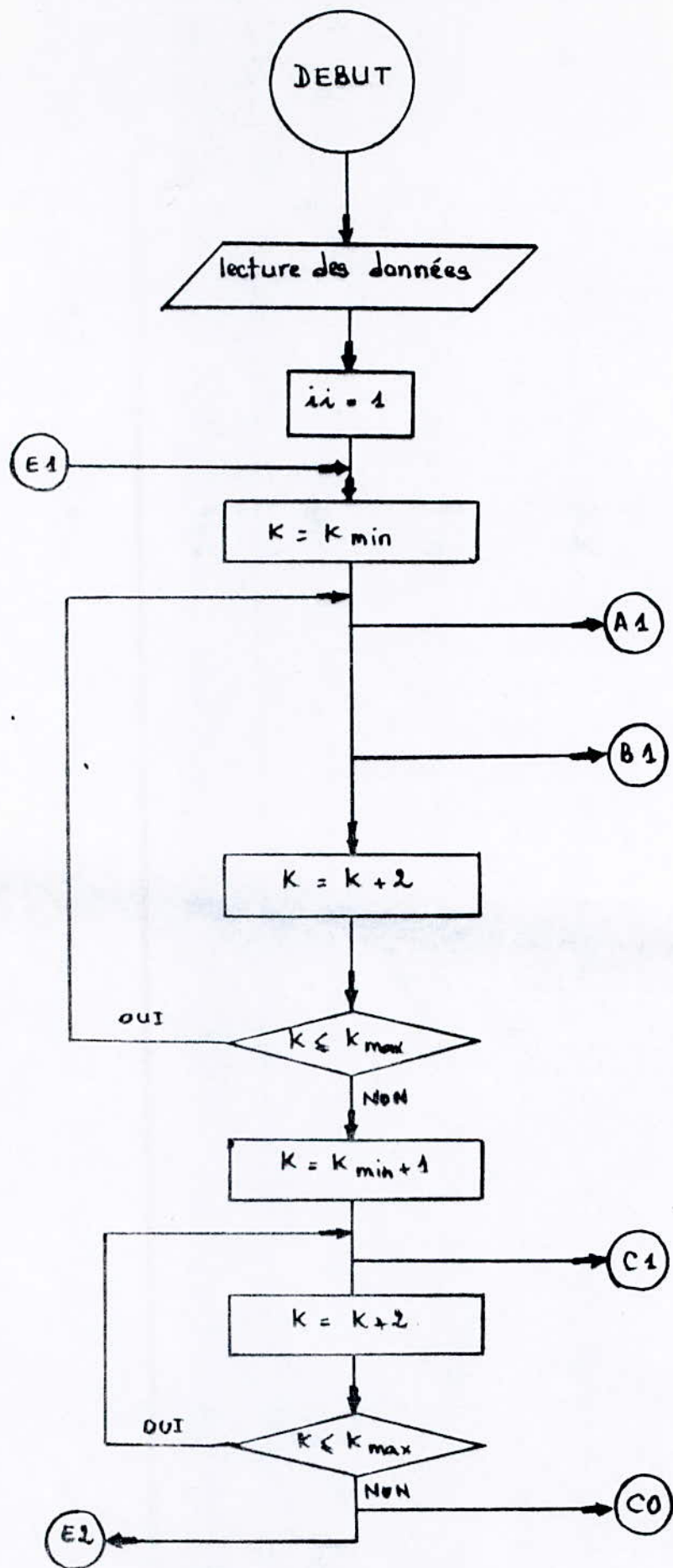
c : la vitesse de la propagation, ($c = \sqrt{g(H+\xi)}$)

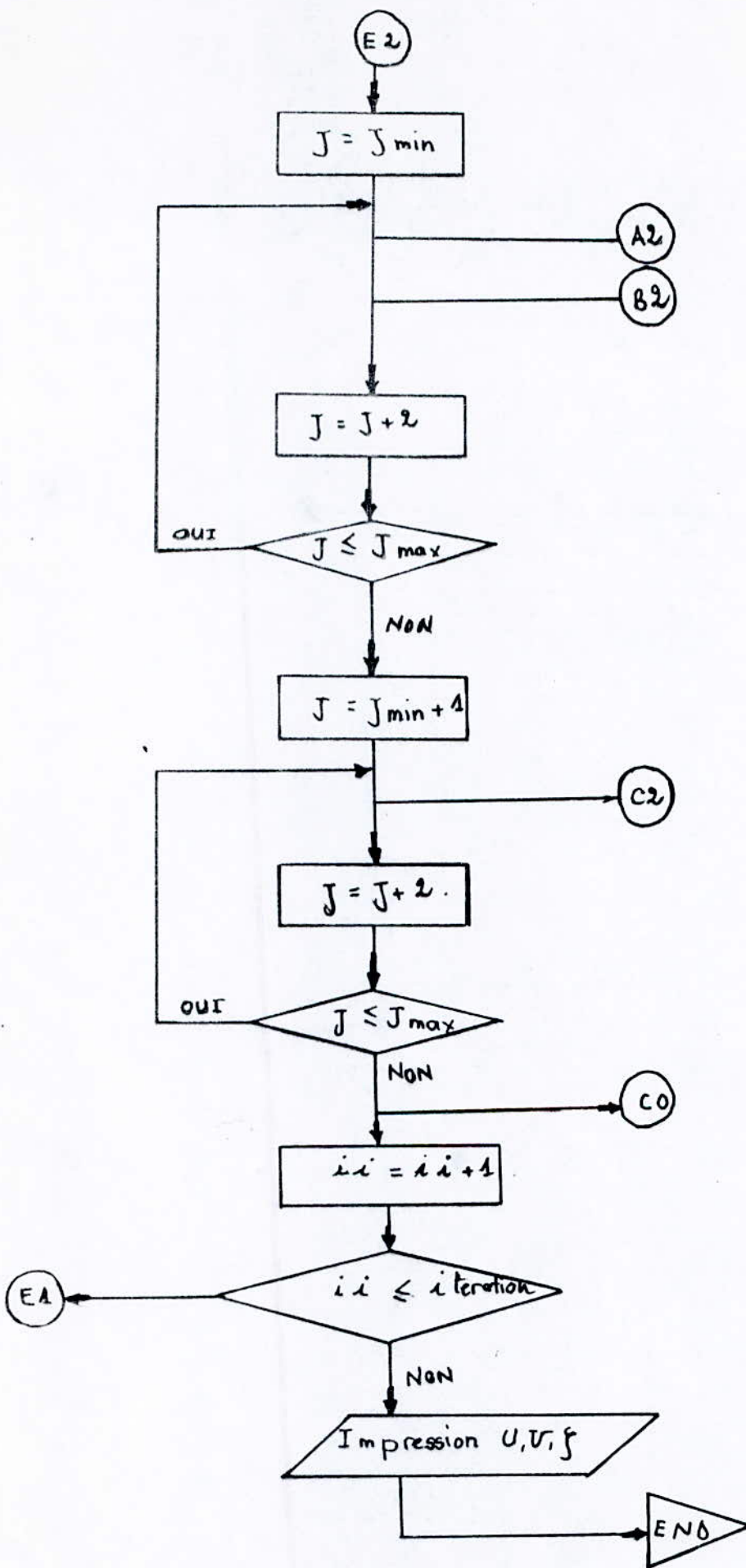
u^0 : la vitesse à l'instant t_0 .

ξ^0 : la hauteur à l'instant t_0 .

donc

$$u_{m-1,k}^{n+\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{g}{H_{m-1,k} + \xi_{m,k}}} \cdot (\xi^0 - \xi_{m,k}^{n+1})^{+u_{m-1,k}^0}$$





A1

$i = 0$
 $J = J_{\min}$
 $i_2 = J_m - J_{\min} - 2$

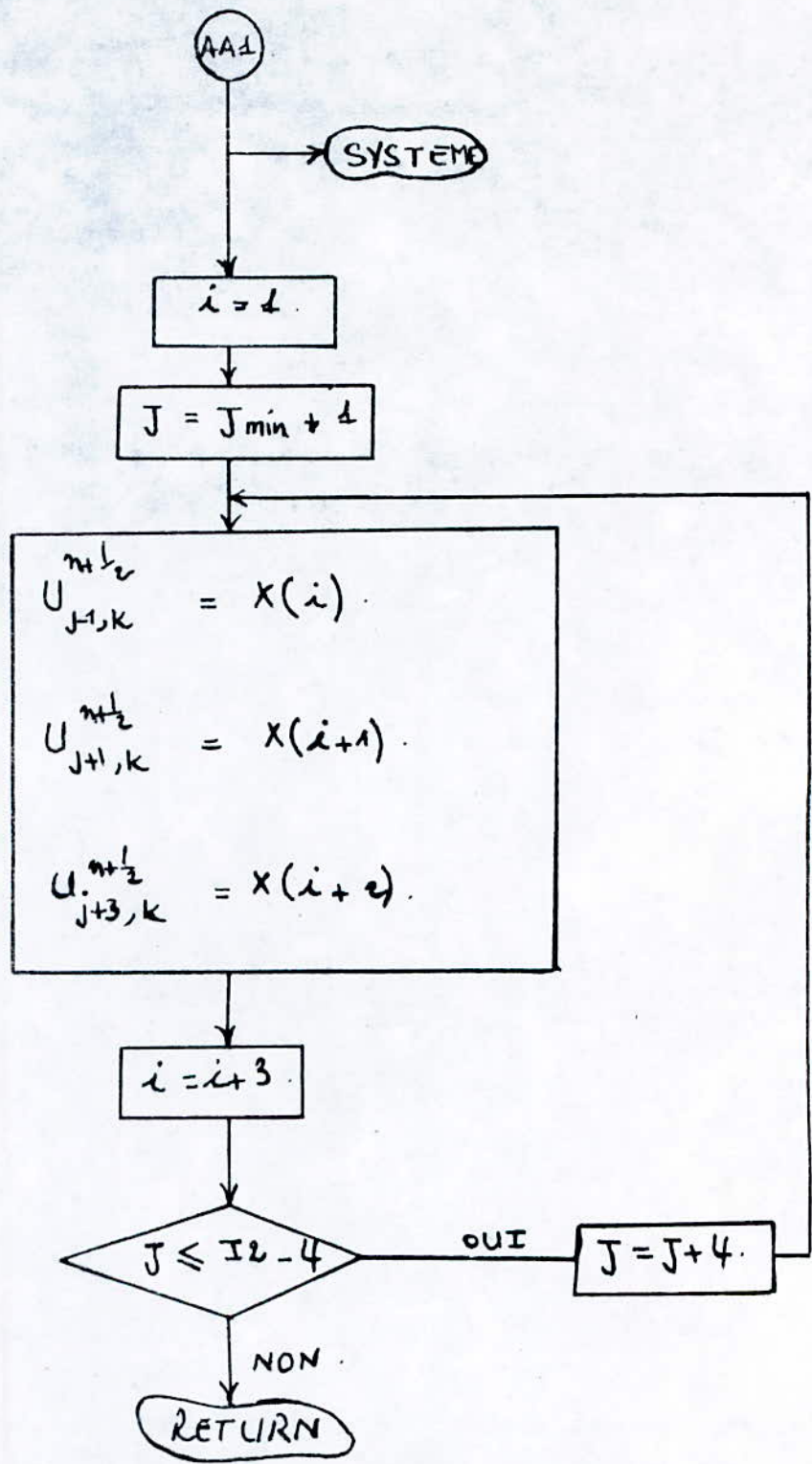
$i = i + 1$

$$\begin{aligned} S1(i) &= \frac{g}{2\Delta x} \cdot A1_{j-1,k}^n \\ S2(i) &= \frac{2}{\Delta t} + \left\langle \frac{\partial U}{\partial x} \right\rangle_{j+1,k}^n - \frac{g}{\Delta x} \cdot A1_{j+1,k}^n \\ S3(i) &= \frac{g}{2\Delta x} \cdot A1_{j+3,k}^n \\ S4(i) &= \frac{2}{\Delta t} \cdot U_{j+1,k}^n - \bar{V}_{j+1,k}^n \cdot \left\langle \frac{\partial U}{\partial y} \right\rangle_{j+1,k}^n + \\ &\quad - \frac{g}{2\Delta x} \left\{ (X_{j+2,k}^n - X_{j,k}^n) + (\xi_{j+2,k}^n - \xi_{j,k}^n) \right\} \\ &\quad - g \cdot \frac{U_{j+1,k}^n \cdot \sqrt{(U_{j+1,k}^n)^2 + (\bar{V}_{j+1,k}^n)^2}}{c^2 \cdot (\bar{H}^y + \bar{\xi}^x)_{j+1,k}^n} \end{aligned}$$

$J = J + 2$

$J \leq i_2$ oui

non
AA1



B1

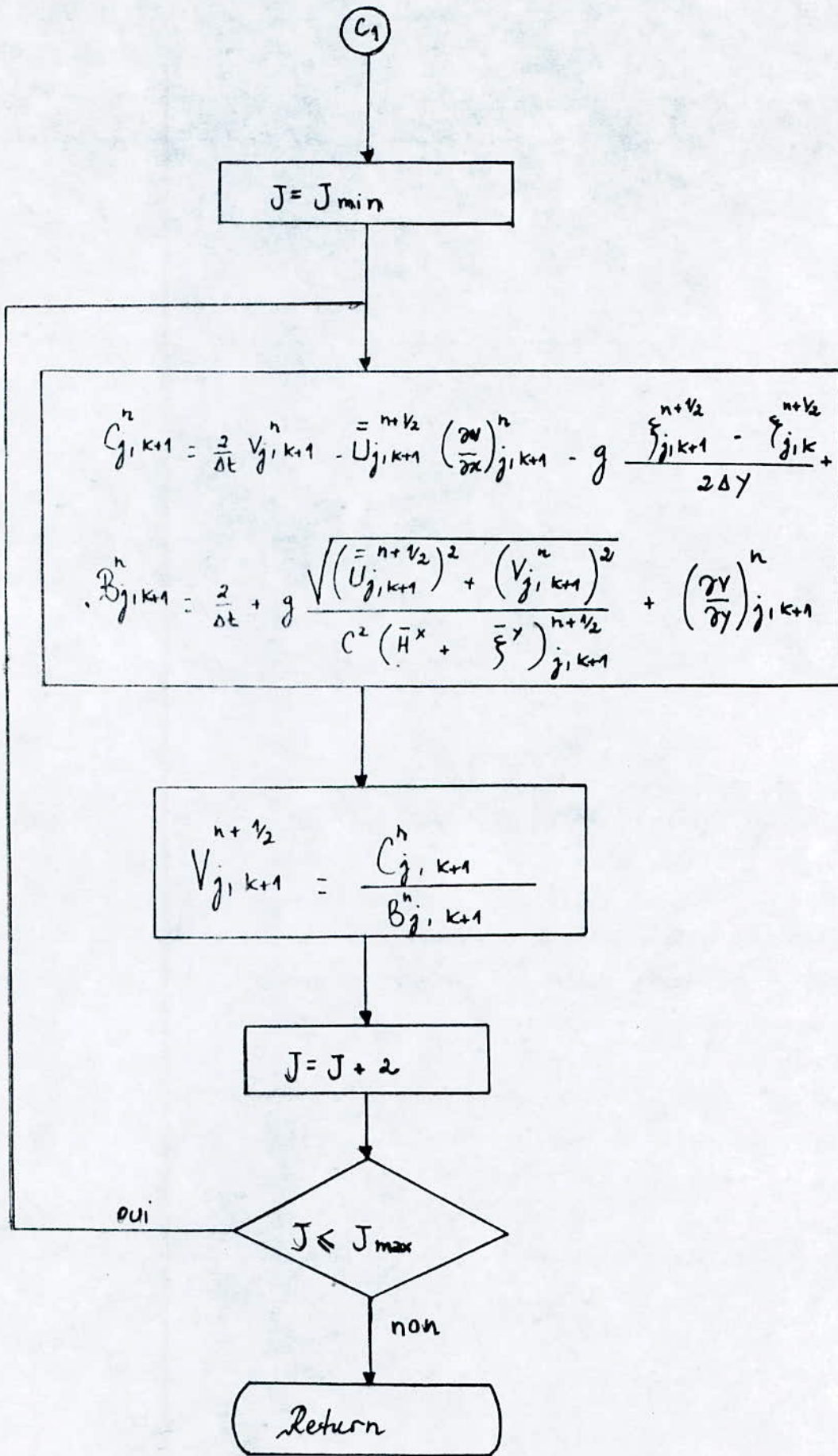
$J = J_{\min}$

$$\xi_{J,k}^{n+\frac{1}{2}} = \xi_{J,k}^n - A_{J-1,k}^n \cdot U_{J-1,k}^{n+\frac{1}{2}} + A_{J+1,k}^n \cdot U_{J+1,k}^{n+\frac{1}{2}} + X_{J,k}^n$$

$J = J + 2$

$J \leq J_{\max}$ oui

non
Return



$$C_{j,k+1}^n = \frac{2}{\Delta t} V_{j,k+1}^n - U_{j,k+1}^{n+1/2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{j,k+1}^n - g \frac{\xi_{j,k+1}^{n+1/2} - \xi_{j,k}^{n+1/2}}{2\Delta y}$$

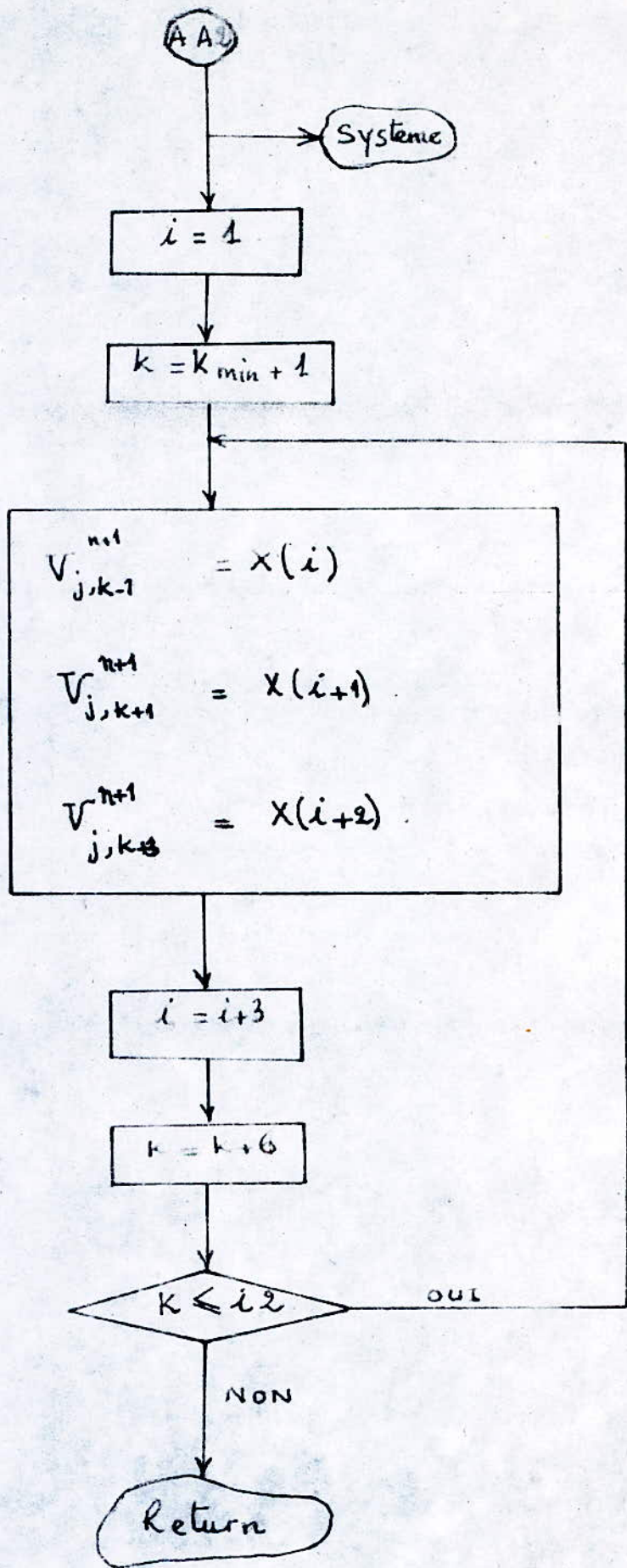
$$B_{j,k+1}^n = \frac{2}{\Delta t} + g \frac{\sqrt{(U_{j,k+1}^{n+1/2})^2 + (V_{j,k+1}^n)^2}}{C^2 (\bar{H}^x + \bar{\xi}^y)_{j,k+1}^{n+1/2}} + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_{j,k+1}^n$$

$$V_{j,k+1}^{n+1/2} = \frac{C_{j,k+1}^n}{B_{j,k+1}^n}$$

J = J + 2

J <= Jmax

Return



A9

$i = 0$
 $k = k_{min}$
 $i2 = k_M - k_{min} - 2$

$i = i + 1$

$$S1(i) = - \frac{g \cdot \Delta t}{4 \cdot \Delta y} \cdot A1_{j, k-1}^{n+1/2}$$

$$S2(i) = \frac{2}{\Delta t} + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)_{j, k+1}^{n+1/2} + \frac{g \cdot \Delta t}{2 \cdot \Delta y} \cdot A1_{j, k+1}^{n+1/2}$$

$$S3(i) = - \frac{g \cdot \Delta t}{4 \cdot \Delta y} \cdot A1_{j, k+3}^{n+1/2}$$

$$S4(i) = \frac{2}{\Delta t} \cdot \bar{v}_{j, k+1}^{n+1/2} - \bar{u}_{j, k+1}^{n+1/2} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)_{j, k+1}^{n+1/2} - \frac{g}{2 \cdot \Delta y}$$

$$\left(\int_{j, k+2}^{n+1/2} - \int_{j, k}^{n+1/2} \right) + \frac{g \cdot \Delta t}{4 \cdot \Delta y} \left(A3_{j, k+2}^{n+1/2} - A3_{j, k}^{n+1/2} \right) +$$

$$- g \cdot \frac{\bar{v}_{j, k+1}^{n+1/2} \cdot \left((\bar{u}_{j, k+1}^{n+1/2})^2 + (\bar{v}_{j, k+1}^{n+1/2})^2 \right)^{1/2}}{C^2 \cdot \left(\bar{H}^x + \bar{\xi}^y \right)_{j, k+1}^{n+1/2}}$$

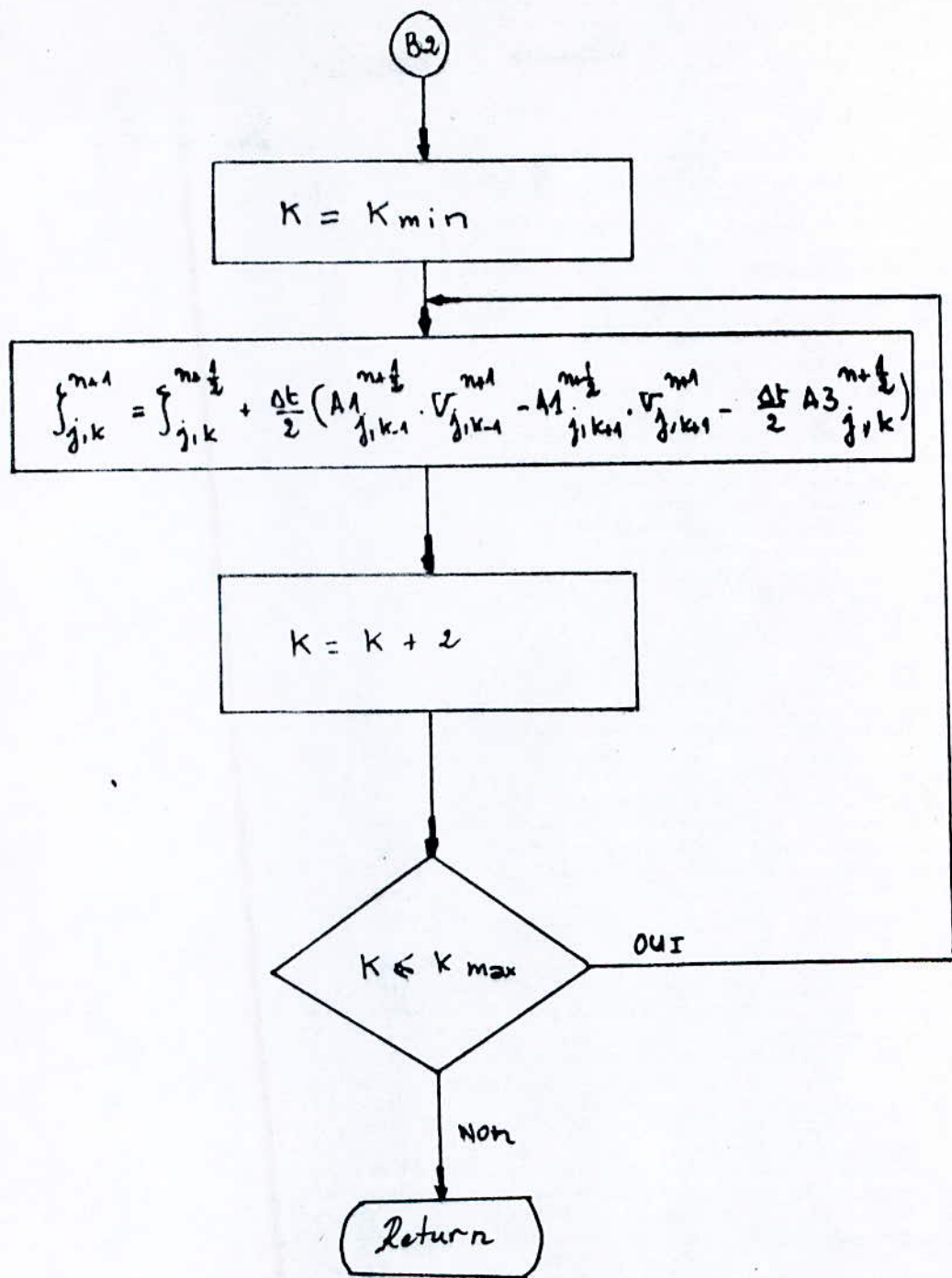
$k = k + 2$

OUT

$k \leq i2$

NON

AA9



(C2)

$K = K_{min}$

$$B_{j+1,k}^{n+1/2} = \frac{\nu}{\Delta t} \cdot U_{j+1,k}^{n+1/2} - \bar{V}_{j+1,k}^{n+1} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)_{j+1,k}^{n+1/2} - g \cdot \frac{\int_{j+2,k}^{n+1} - \int_{j,k}^{n+1}}{2 \cdot \Delta x}$$
$$A_{j+1,k}^{n+1/2} = \frac{\nu}{\Delta t} + \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)_{j+1,k}^{n+1/2} + g \cdot \frac{\sqrt{(U_{j+1,k}^{n+1/2})^2 + (\bar{V}_{j+1,k}^{n+1})^2}}{C^2 (\bar{H}^y + \bar{F}^x)_{j+1,k}^{n+1}}$$

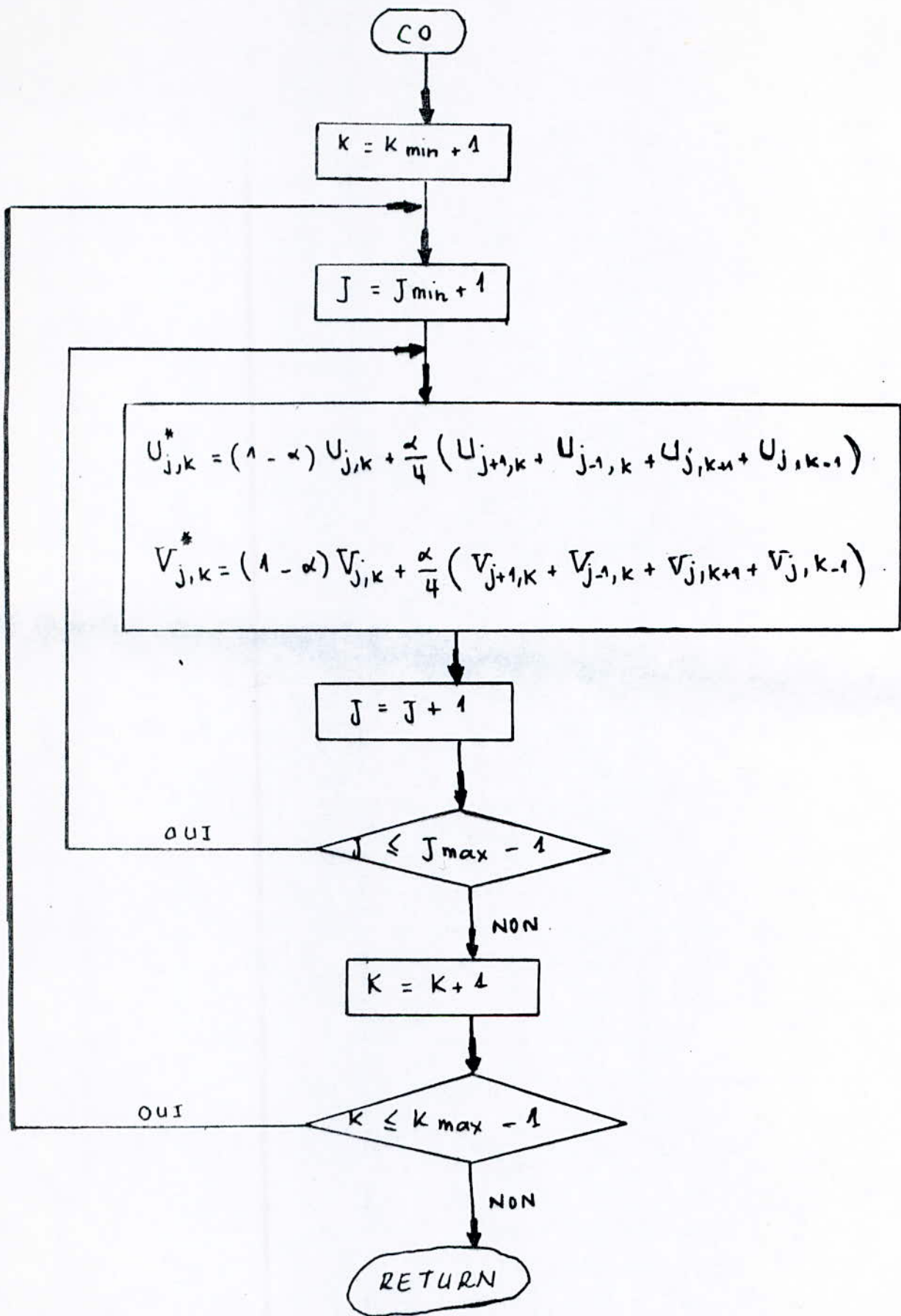
$$U_{j+1,k}^{n+1} = \frac{B_{j+1,k}^{n+1/2}}{A_{j+1,k}^{n+1/2}}$$

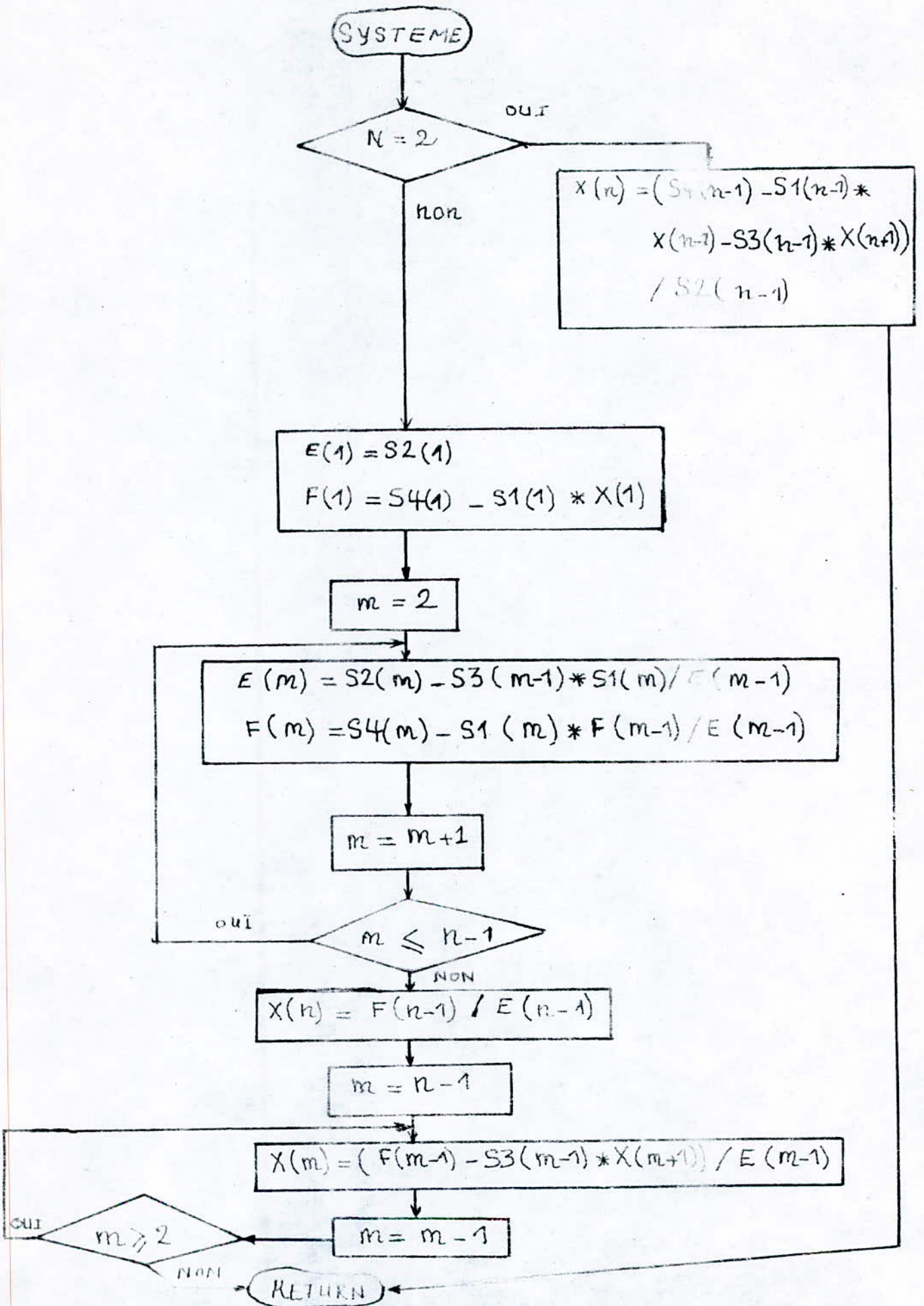
$K = K + 2$

$K \leq K_{max}$ OUI

NON

RETURN





-ooOO R E S U L T A T S E T A N A L Y S E OOoo-

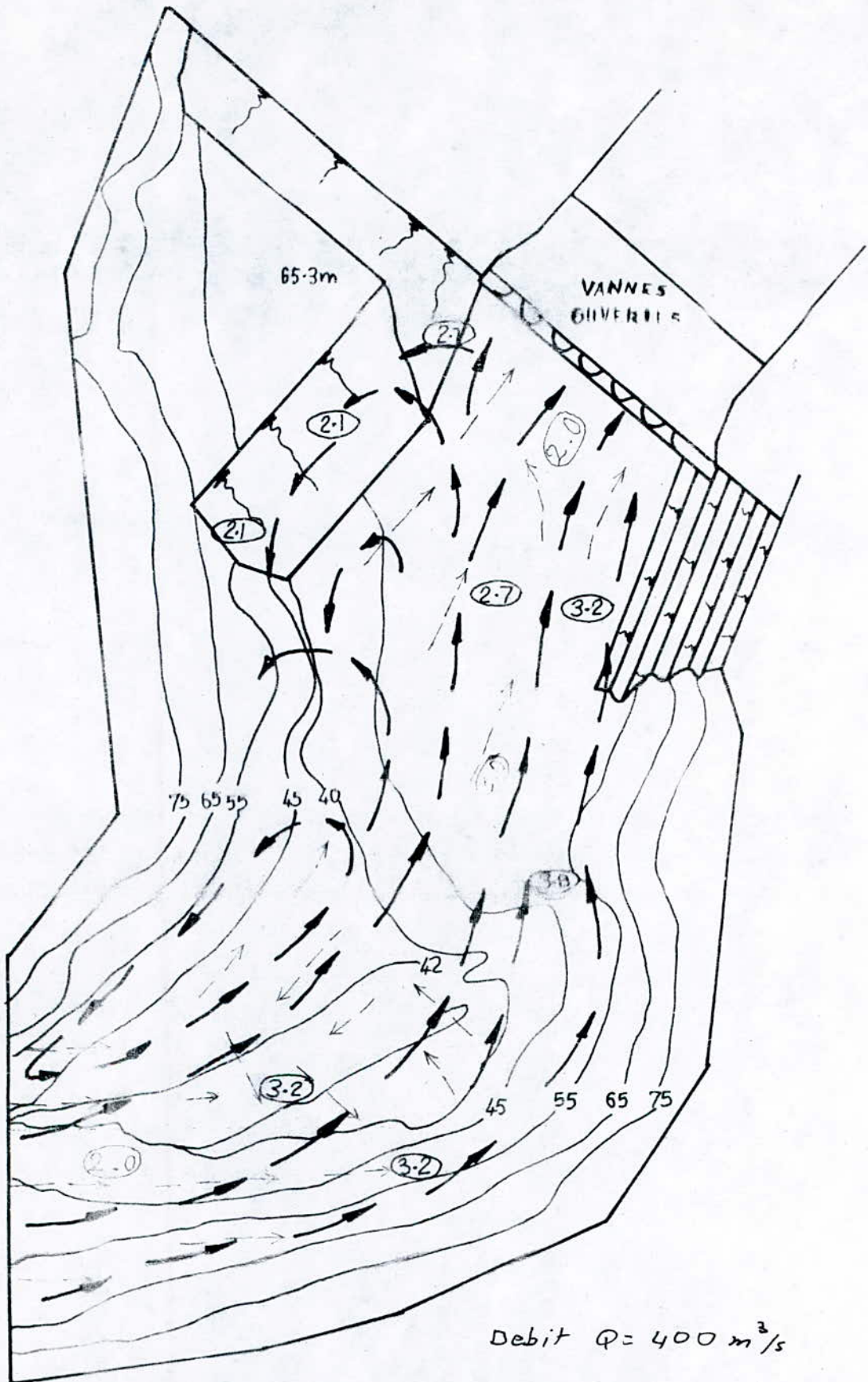
Les vitesses initiales etants prises egales à 0 , on fait varier le debit d'entree apres un instant t_1 suivant une droite au cours du temps , de faible pente (pour avoir une convergence des calcules), apres un instant t_2 on fait le debit à la sortie (t_2 etant superieur à t_1).

On notera alors le champs de vitesses à des instants donnés .

On remarque alors qu ' apres des instants legerement superieurs à t_1 il y'a variation des vitesses à l' entrée et à son voisinage . L'onde ainsi se propagera ensuite dans tous le bassin , pour donner à la fin deux principaux rouleaux, l'un majeur , occupant la totalité de la retenue , tandis que l' autre autre est au voisinage de la sortie.

L ' inconvenient majeur de la procedure qu'on a addaptér pour la resolution de ce probleme, est qu ' il faut un pas de temps très petit pour avoir convergence, ce qui necessite un grand temps de calcule.

Les resultats donnés par le programme sont donnés dans les figures qui suivent et comparés à ceux donnés par la methode de mesure du champs de vitesse par micro-moulinet.



Fig(20)

-76-

— v. mesurée
 - - - v. calculée

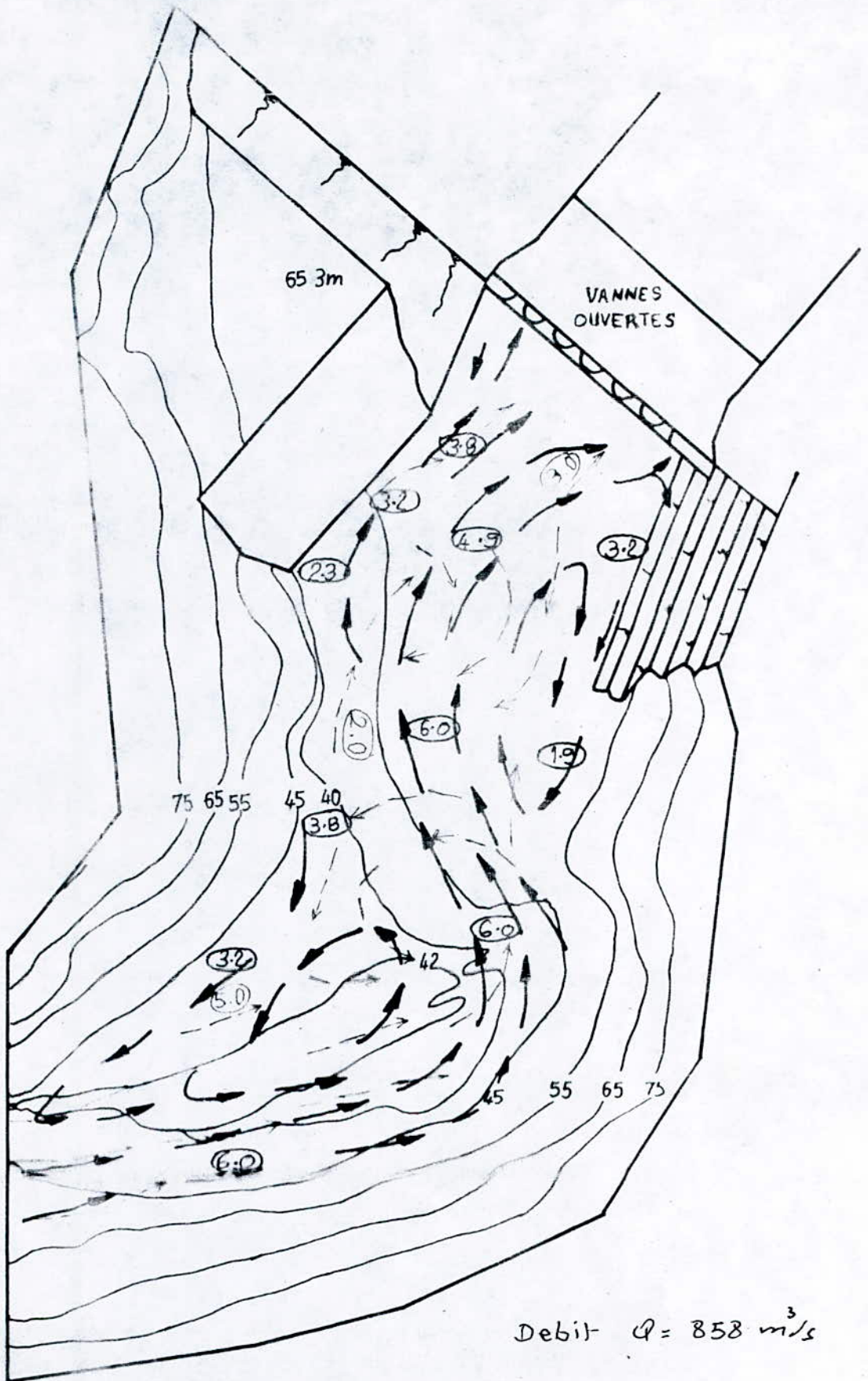
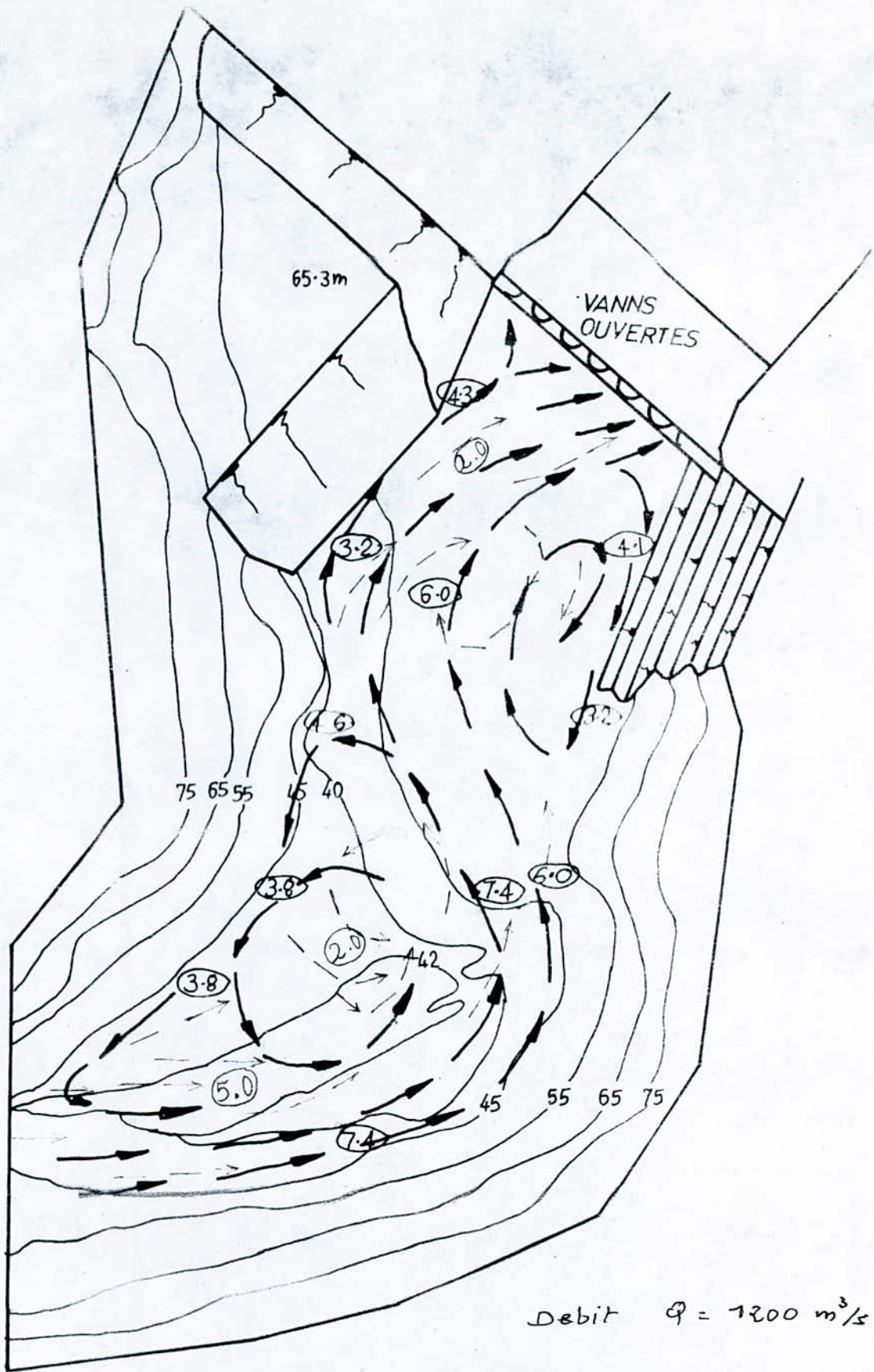


Fig (27)

--- V. calculée
 — V. mesurée



Fig(22)

— V. mesurée
 - - - V. calculée

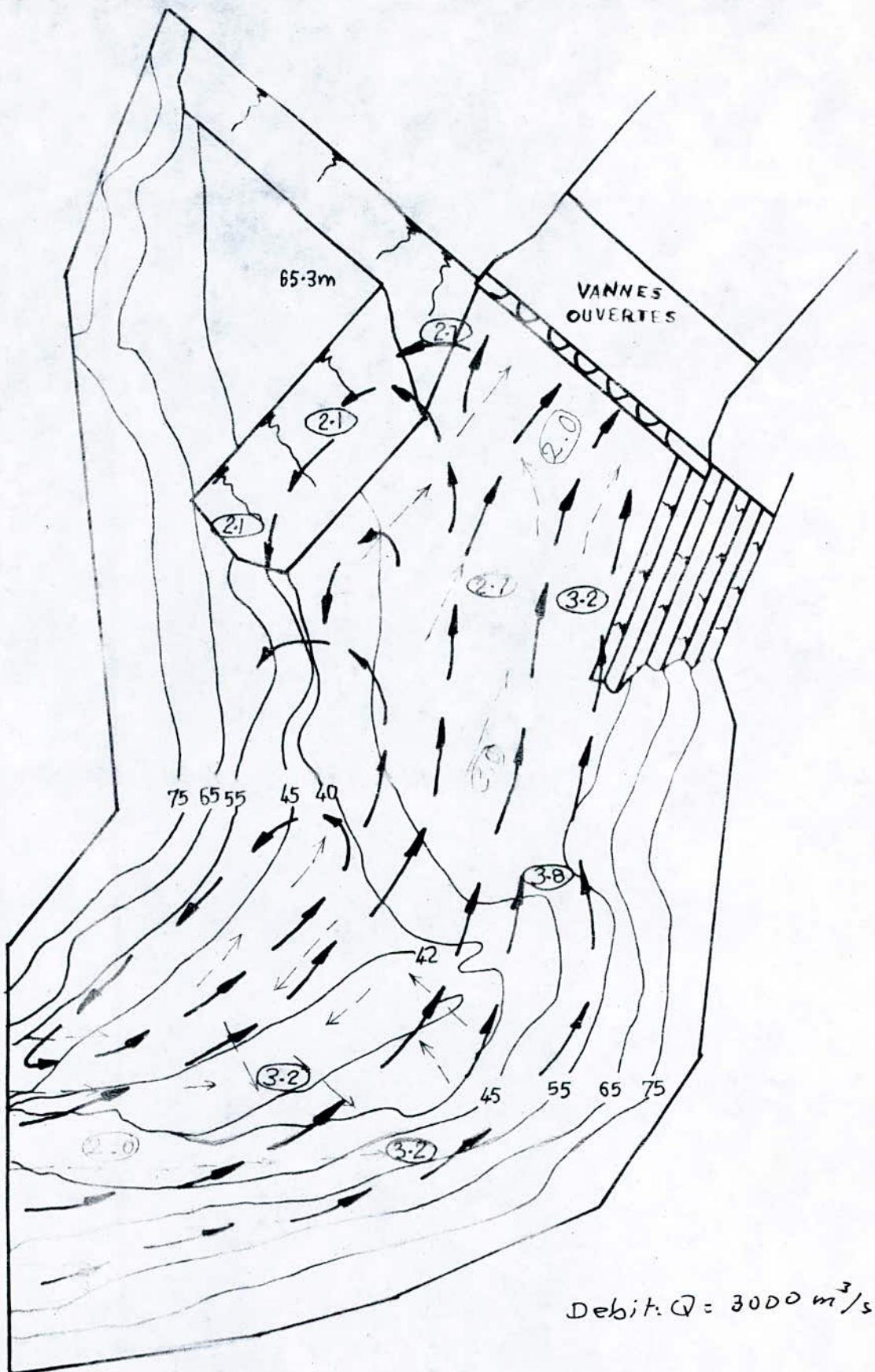


Fig. (23)

--- v. calculée
 — v. mesurée

CHAPITRE VI

CONCLUSION

-oOoC O N C L U S I O N -oOo-

L'étude de hydrodynamique qu'on a effectuée, concerne les écoulements de recirculation en régime transitoire qui apparaissent dans le processus de sédimentation dans la retenue.

L'analyse de cette étude montre l'intérêt potentiel de l'écoulement stationnaire dû à l'apport de débit de crue et son évolution à une structure stable.

Notre modélisation mathématique s'est donc attachée à déterminer la structure de recirculation pour préciser les zones de dépôt de décantation qui sont à l'origine de la formation du phénomène d'envasement.

Le programme a été effectué sur le modèle réduit du barrage de BENI-AMRANE réalisé à l'échelle 1/100 tel que la similitude de REECH-FROUDE soit appliquée, le choix de cet ouvrage est justifié par son double objectif d'accumulation d'eau et de dépôt des sédiments que transporte l'oued ISSER. Le programme est réalisé sur un ~~modèle~~ micro-ordinateur IBM.

La méthode utilisée pour la discrétisation des équations dynamiques est la méthode de différence finie.

L'hypothèse de base qu'on a admise est que la variation de la masse volumique de l'eau turbide où la quantité des matières en suspension, est suffisamment faible pour ne pas intervenir de façon significative sur l'écoulement obtenu, qui ne dépend donc que du flux de quantité de mouvements des débits d'apport des différences crues.

Les résultats concernent alors la structure globale de l'écoulement, constitués de rouleaux de recirculation.

Le résultat intéressant constitue une première étape dans l'étude d'optimisation de la recirculation de l'eau dans la retenue et de définir l'importance des zones de dépôt et de décantation.

Il reste maintenant à poursuivre cette étude pour définir les paramètres qui peuvent avoir une influence sur le déplacement de ces zones de recirculation afin de les placer loin des organes vitaux de l'ouvrage ou dans des endroits accessibles, équipés d'un système de dragage.

BIBLIOGRAPHIE

- B.REMINI "Etude hydrodynamique du mecanisme
d'envasement".Thèse magister (1990)
- P.KELLER "Etude bibliographique de l'alluvio-
et nement des retenues".
J.P.BOUCIARD E.D.F.bulletin de la direction des
études et recherches-Serie A (1987)
- Ministère de l'hydrau- "Barrage de Beni-AMRANE "
lique-Direction generale Rapport n° E 4 (1984)
de la planification et
des études d'amonagement
- J.KUIPERS "Calculation of two-dimensional
ot horizontal flow".Report on basic
G.B.VRIJGDENHIL research S163 part I (1973)
- .DUQUENOIS "Sedimentation dans les barrages et
moyens de lutte ."
Colloque international université
de Liège 4 et 5 Mai (1969).

