

LABORATOIRE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES



Borgerhout

Châtelet

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
BORGERHOUT
BIBLIOTEEK

3631

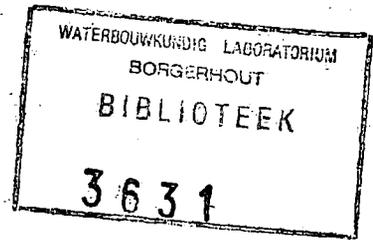
NAVIGABILITE DU BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

RAPPORT DE LA MISSION 1985

19 JUIN – 8 DECEMBRE

ANNEXES 10 À 19

MISSION HYDROGRAPHIQUE BELGE DU BAS-FLEUVE



LABORATOIRE DE RECHERCHES
HYDRAULIQUES

borgerhout châtelet



royaume de belgique

ministère des travaux publics
ponts et chaussées
administration des voies hydrauliques

03000

**NAVIGABILITE DU BIEF MARITIME
DU FLEUVE ZAIRE**

MISSION HYDROGRAPHIQUE BELGE DU BAS-FLEUVE ZAIRE

**Rapport de la mission "Crue 1985"
du 19 juin au 8 décembre 1985**

ANNEXES 10 À 19

**Projet de l'Administration Générale de la Coopération au Développement
exécuté dans le cadre des accords entre le Ministère des Affaires Etrangères,
du Commerce Extérieur et de la Coopération au Développement,
et le Ministère des Travaux Publics.**

TABLE DE MATIERES

Annexes 10 à 19 au rapport de la mission 1985

- Annexe 10 Le tube de sédimentation.
11. Etude de la relation concentration - débit liquide.
12. Programmes pour les calculatrices HP41CV.
13. Manutention et maintenance du matériel.
14. Campagne géotechnique.
15. Séminaire : engins de dragage.
16. Séminaire : théorie des erreurs.
17. Séminaire : étude sur modèle réduit.
18. Séminaire : certains aspects de la méthode de prévisions des évolutions.
19. Organisation du bureau d'étude et de dessin.

Annexe 10 - Mesure de répartitions granulométriques des sables par tube de sédimentation à observation visuelle

VAN HOEYLANDT.

1. GENERALITES

2. LE TUBE DE SEDIMENTATION A OBSERVATION VISUELLE

2.1. Description de l'appareil

2.1.1. Le tube de sédimentation

2.1.2. L'enregistreur électromécanique

a) Le boîtier de transmission

b) Le tambour enregistreur

c) Le réglage de l'appareil avant l'enregistrement

2.2. Procédure de la mesure par tube de sédimentation visuelle

2.3. Principe de l'étalonnage

2.3.1. Choix des échantillons

2.3.2. Séchage des échantillons

2.3.3. Tamisage

2.3.4. La sédimentation

2.3.5. Conclusions et recommandations

3. EXAMENS DIVERS

3.1. Examen microscopique

3.1.1. Facteur de forme

3.1.2. Indice de sphéricité

3.1.3. Constations et conclusions

3.2. Poids spécifique

3.2.1. Procédure de détermination du poids spécifique

3.2.2. Remarques et conclusions

1. GENERALITES

La méthode de mesure de la répartition granulométrique des sables du Zaïre par tube de sédimentation à observation visuelle est pratiquée depuis les années '70 au Laboratoire de Recherches Hydrauliques.

En vue de l'équipement du Laboratoire de sédimentologie à la Régie des Voies Maritimes du Zaïre, la méthode utilisée au Laboratoire de Recherches Hydrauliques a été adaptée pour permettre un enregistrement électro-mécanique.

Le présent rapport reprend des informations au sujet de l'appareil, de la méthode d'étalonnage, des résultats de l'étalonnage du tube installé au Laboratoire de sédimentologie à la R.V.M. à Boma ainsi que des résultats de quelques examens du sable de la région divagante effectués au Laboratoire de Recherches Hydrauliques du Ministère des Travaux Publics de Belgique.

2. LE TUBE DE SEDIMENTATION A OBSERVATION VISUELLE

La vitesse de chute d'un sédiment dans un liquide en repos dépend principalement du diamètre des grains dont le sédiment est composé.

Expérimentalement, il est donc possible de déterminer le diamètre d'un grain lorsqu'on connaît sa vitesse de chute dans un liquide.

Pour connaître ce rapport, il est nécessaire de procéder à un étalonnage.

Le tube de sédimentation ou "tube à sédimentation visuelle" sert à déterminer la vitesse de chute d'un sédiment. Cette vitesse de chute est ensuite convertie en diamètre médian des grains de l'échantillon sédimenté.

Pour plus de précisions, nous renvoyons le lecteur au rapport "Report nr. 11 - The development and calibration of visual accumulation tube" (subcommittee on water resources, 1957).

2.1. Description de l'appareil (fig. 1)

2.1.1. Le tube de sédimentation

Le tube de sédimentation est constitué d'un tube cylindrique en verre ou en matière plastique transparente se terminant dans le bas par une partie conique suivi d'un tube à faible diamètre. C'est dans ce petit tube que s'accumulera le sable.

Le diamètre restreint du petit tube permet l'analyse avec une faible quantité de sable tout en conservant une précision suffisante dans l'enregistrement du niveau supérieur du sable accumulé.

Le diamètre plus grand du tube de sédimentation dans sa partie supérieure doit permettre aux grains de sable de subir une chute proche de celle d'un grain isolé.

Selon la qualité et la quantité de l'échantillon, on utilisera des tubes de diamètres et de longueurs différents (fig. 2).

L'orifice supérieur du tube de sédimentation est pourvu d'un dispositif contenant un réservoir cylindrique muni d'un système de 2 clapets intérieurs semi-circulaires. Ce dispositif peut s'emboîter dans le tube de sédimentation tout en garantissant une étanchéité entre les différents éléments.

Par un système de leviers extérieurs au cylindre, les clapets peuvent être ouverts ou fermés.

L'échantillon est introduit dans le réservoir alors que les clapets sont fermés. Au moment même où l'on ouvre les clapets, l'appareil enregistreur est mis en marche.

2.1.2. L'enregistreur électromécanique

L'appareil sert à enregistrer sur papier diagramme la hauteur du sable sédimenté dans le tube en fonction du temps écoulé depuis le début de la sédimentation.

a) Le boîtier de transmission (fig. 3)

Lorsque l'opérateur actionne la manivelle (M), il transfère à la tige-maîtresse (T.M.) un mouvement de rotation. Cette tige-maîtresse constitue, dans sa partie supérieure, l'axe fixe de 5 roues dentées superposées de différents rayons. Elle est pourvue dans sa partie inférieure d'un pas de vis, qui permet de faire coulisser de haut en bas la tige-support (T.S.) du curseur (C). Le curseur contient deux lamelles parallèles en plexiglas, entre lesquelles doit se trouver l'extrémité inférieure du tube de sédimentation. Chacune de ces deux lamelles est pourvue d'un trait horizontal. Afin d'éviter les erreurs de parallaxe, l'opérateur veillera en cours de sédimentation, à maintenir en alignement les deux traits horizontaux et le sommet du sable sédimenté. Toutefois, le tube de sédimentation n'étant pas suspendu rigoureusement verticalement, il est probable que le sommet du sable sédimenté ne présente pas de surface plane mais se dispose en pente et dans ce cas l'opérateur devra faire passer l'alignement des deux traits horizontaux du curseur par le milieu de la pente.

Le mouvement de la tige-maîtresse est communiqué à la tige de transmission (T.T.) par l'engrenage de deux roues dentées, dont les rayons ont été choisis de sorte que les rapports suivants peuvent être développés.

Rapport 1/1 par engrenage de la roue 1 et 1'.

Rapport 1/2 par engrenage de la roue 2 et 2'.

Rapport 1/3 par engrenage de la roue 3 et 3'.

Rapport 1/4 par engrenage de la roue 4 et 4'.

Rapport 1/5 par engrenage de la roue 5 et 5'.

Grâce au levier d'embrayage (L.E.), les roues dentées 1', 2', 3', 4' et 5', fixées sur une même douille, peuvent être mises verticalement "en bloc" le long de la tige de transmission (T.T.). Suivant la position de ce levier sur 1, 2, 3, 4 ou 5, le rapport de transmission sera respectivement de 1/1, 1/2, 1/3, 1/4 ou 1/5.

Le pas de vis de la tige de transmission étant identique à celui de la tige-maîtresse, le coulisement de la tige du traceur le long de la tige de transmission sera donc 1, 2, 3, 4 ou 5 fois plus rapide que le coulisement du curseur, selon le rapport choisi.

b) Le tambour enregistreur

Le tambour est actionné par un moteur électrique muni d'un interrupteur. A chaque utilisation de l'appareil, un étalonnage s'effectuera en notant le temps écoulé entre le début et la fin de la sédimentation. Le pourtour du tambour est muni d'un papier diagramme dont les extrémités sont maintenues en place par la barrette de retenue (B).

Notons finalement que le curseur et le traceur peuvent coulisser le long de leur tige-support respective et y être fixés par une vis d'arrêt.

c) Le réglage de l'appareil avant l'enregistrement

1. Au moyen de la manivelle, le traceur sera placé au bas du tambour (niveau de départ de l'enregistrement).
2. Placer le levier d'embrayage sur "un point mort" entre deux positions de sorte que les roues dentées puissent tourner "à vide".
3. Au moyen de la manivelle, placer le curseur au niveau d'où commencera la sédimentation (dessus du bouchon du tube).
4. Déterminer expérimentalement la hauteur qu'occupera dans le tube le sable sédimenté (cette hauteur sera fonction du contenu du récipient de prélèvement).
5. Placer le levier d'embrayage sur une des cinq positions. Le rapport à adopter sera trouvé en divisant la hauteur du diagramme par la hauteur à atteindre dans le tube par le sable sédimenté.
6. Enrouler le papier diagramme autour du tambour et fixer les extrémités superposées au moyen de la barrette de retenue. Le tambour effectuant un mouvement giratoire de la droite vers la gauche par rapport au curseur, ce dernier sera donc placé à droite de la barrette de retenue.

Notons finalement que le boîtier de réduction du moteur électrique n'étant pas un appareil de haute précision, il existe par conséquent un certain jeu entre les engrenages de ses rouages.

C'est pourquoi, afin que le tambour soit entraîné dès l'enclenchement du moteur, il faudra veiller avant la mise en marche de l'appareil à neutraliser l'effet de ce jeu en tournant manuellement le tambour vers la droite jusqu'à élimination du jeu.

2.2. Procédure de la mesure par tube de sédimentation visuelle

On introduit l'échantillon dans le tube-réservoir supérieur rempli d'eau. Les clapets permettent la mise en mouvement. La sédimentation d'un grain isolé dans un grand volume de fluide se fait notamment en fonction de son poids (déterminé par son volume et son poids spécifique), sa forme et la viscosité du liquide utilisé, cette dernière étant fonction de la température.

Notons que les vitesses de chute mentionnées dans ce rapport correspondent à une température de 20°C.

Une correction à d'autres températures peut être effectuée par la formule :

$$t_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{t_x^{\circ}\text{C}}{1 + 0,027269 (20^{\circ} - x^{\circ}) + 0,00052358 (20^{\circ} - x^{\circ})^2}$$

où $t_{20^{\circ}\text{C}}$ = le temps (en seconde) nécessaire à un grain pour parcourir une distance de chute de 180 cm en tombant librement dans de l'eau pure stagnante à 20°C en Belgique.

$x^{\circ}\text{C}$ = une température quelconque exprimée en degrés C.

Nous savons en effet que :

$$t = \frac{l}{v} \quad \text{où} \quad \begin{array}{l} t = \text{temps de chute} \\ l = \text{longueur du tube} \\ v = \text{vitesse de chute} \end{array}$$

Or, selon la loi de Stokes :

$$v = \frac{d^2}{18} \cdot \frac{g \cdot (\rho_s - \rho)}{\mu} \quad \text{où } d = \text{diamètre du grain}$$

$$g = \text{attraction terrestre}$$

$$\rho_s = \text{poids spécifique du sédiment}$$

$$\rho = \text{poids spécifique de l'eau}$$

$$\mu = \text{viscosité de l'eau}$$

Lors d'une variation de température, d et g resteront constants; ρ_s et ρ changeront tellement peu que l'on peut considérer leurs variations comme négligeables.

Reste donc la variation de la viscosité :

$$t_{20^\circ\text{C}} = \frac{1 \cdot 18}{d^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho)} \cdot \mu_{20^\circ\text{C}}$$

$$t_{x^\circ\text{C}} = \frac{1 \cdot 18}{d^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho)} \cdot \mu_{x^\circ\text{C}}$$

$$\frac{t_{20^\circ\text{C}}}{t_{x^\circ\text{C}}} = \frac{\mu_{20^\circ\text{C}}}{\mu_{x^\circ\text{C}}}$$

$$\text{puisque } \mu_{20^\circ\text{C}} \simeq 1, \quad t_{20^\circ\text{C}} = \frac{t_{x^\circ\text{C}}}{\mu_{x^\circ\text{C}}}$$

Sur base de chiffres d'un tableau paru dans "Handbook of Chemistry and Physics - Chemical Rubber Publishing Co. - Cleveland Ohio", donnant par degré celsius la valeur correspondante de la viscosité en centipoises, nous avons calculé la régression selon une équation du 2ème degré en prenant 20°C comme origine des abscisses,

$$\text{d'où } \mu_{x^\circ\text{C}} = 1 + 0,027269 (20^\circ - x^\circ) + 0,00052358 (20^\circ - x^\circ)^2$$

$$\text{donc } t_{x^\circ\text{C}} = \frac{t_{x^\circ\text{C}}}{1 + 0,027269 (20^\circ + x^\circ) + 0,00052358 (20^\circ + x^\circ)^2}$$

Les expériences ayant été effectuées en Belgique, il faudra tenir compte de la variation de l'attraction terrestre si on veut utiliser la formule pour un autre endroit du globe et il faudra appliquer la formule :

$$\frac{W}{g} = \frac{W_x}{g_x}$$

où W et g représentent la vitesse de chute et l'attraction terrestre pour la Belgique ($g = 9,81$)

et W_x et g_x représentent la vitesse de chute et l'attraction terrestre pour toute autre partie du globe. Par exemple, $g_{\text{Zaïre}} = 9,78$.

Dans le cas idéal de grains parfaitement sphériques ayant tous le même poids spécifique, nous constatons que leur vitesse de chute moyenne dépendra principalement de leur diamètre puisque le liquide utilisé est le même pour tous les grains. Les grains les plus gros auront donc le plus vite atteint le fond. Notons toutefois que la vitesse de chute sera, outre les quelques points cités ci-dessus, également influencée par les turbulences occasionnées par la concentration des grains de l'échantillon tout le long de la trajectoire.

Au moyen du curseur, on suit le niveau du sable ayant atteint le fond du tube et qui s'y accumule.

2.3. Principe de l'étalonnage

Afin de pouvoir traduire la vitesse de chute d'un grain dans le tube de sédimentation en grandeur de ce grain, il faut procéder à l'étalonnage du tube.

Le principe de l'étalonnage d'un tube de sédimentation consiste à mesurer un certain nombre de fois la vitesse de chute d'un échantillon dont les grains ont tous un même "diamètre" connu.

Pareil échantillon étant introuvable dans la nature, nous essayerons de créer artificiellement un échantillon en réduisant au maximum les écarts entre les diamètres des différents grains dont il est constitué. Pour ce faire, on passera un échantillon de sable du Zaïre préalablement bien séché, par une

série de tamis à mailles carrées, dont les différences d'ouverture de mailles entre deux tamis consécutifs sont aussi faibles que possible. Ainsi sera-t-il possible d'obtenir des fractions d'échantillon dont le diamètre des grains présente des écarts très faibles par rapport à la moyenne des ouvertures de mailles de deux tamis consécutifs.

La différence des grandeurs des grains de la fraction ainsi obtenue étant minime, nous supposerons normale la distribution granulométrique de cet échantillon.

Par conséquent, le diamètre moyen et le diamètre médian devraient coïncider.

2.3.1. Choix des échantillons

Afin d'obtenir un éventail de fractions granulométriques aussi étendu que possible, nous avons rassemblé des échantillons en provenance de différents endroits de la région divagante contenant des grains dont les diamètres s'étalent de $> 44\mu$ à $< 2000\mu$.

Ces échantillons furent prélevés aux endroits suivants : Ziamanganga, Tumbimbi, Nguvu, Jonction, Mateba Amont, entrée Faux Bras Mateba, Amont Sud, Puelo, Kindu, Boma, Seuil Central, entrée Faux Bras Mateba Village.

Ensuite ces échantillons furent mélangés afin d'obtenir un seul échantillon représentatif pour toute la région.

Afin d'obtenir une quantité suffisante des fractions se situant en dessous des 100μ , l'entièreté de l'échantillon représentatif (quelques 5 Kgs.) fut soumis au tamisage.

2.3.2. Séchage des échantillons

Le séchage s'effectua dans une étuve à 110°C et dura de 30 min. jusqu'à 6 heures, selon la quantité et le degré d'humidité de l'échantillon. Cette température de 110°C fut choisie car une température de 100°C peut avoir

comme conséquence le fait que certaines molécules d'eau enclavées entre plusieurs grains ne se soient toujours pas évaporées. Par ailleurs, une température de plus de 100°C peut conduire à la décomposition et l'oxydation d'éléments faisant partie intégrale de l'échantillon à examiner. C'est pourquoi la température de 110°C est considérée comme limite d'échauffement.

2.3.3. Tamissage

Après séchage, l'échantillon fut bien remué afin de détacher les grains qui, par adhésion, formeraient toujours un agglomérat. A la rigueur, certains agglomérats résistants peuvent être désagrégés mécaniquement.

Ensuite, l'entièreté de l'échantillon a été tamisée mécaniquement pendant 35 min. par deux séries de tamis (ASTM) (1) intercalées. Les deux séries utilisées présentaient les ouvertures de mailles (carrées) suivantes :

<u>Série</u>		<u>Série</u>
	2000	B
A	1680	
	1410	B
A	1190	
	1000	B
A	841	
	706	B
A	590	
	500	B
A	420	
	350	B
A	297	
	250	B
A	210	
	177	B
A	149	
	125	B
A	105	
	88	B
A	74	
	63	B
A	59	
	44	B

Après tamissage, un pesage du refus de chaque tamis peut être effectué et le résultat, converti en pourcentage du poids total, peut être porté en graphique ayant comme abscisses les diamètres en échelle logarithmique et comme ordonnées la fraction du poids en pourcentage (voir fig. 5).

(1) American Society for Testing and Materials

Toutefois, vu le manque d'intérêt de pareille analyse dans une opération d'étalonnage, le pesage de cet échantillon artificiel n'a pas eu lieu.

2.3.4. La sédimentation

Chaque fraction ainsi obtenue a été introduite plusieurs fois dans le tube de sédimentation et les différents temps de chute ont été enregistrés. Connaissant par étalonnage la vitesse de déroulement du papier de l'appareil enregistreur (voir 2.1.2.b.) et sachant que la distance entre les clapets et le fond du tuyau est de 190 cm, il est aisé, sur le tracé d'enregistrement, de convertir des distances en temps et de trouver ainsi le temps de chute de 10 %, 50 % et 90 % des grains de l'échantillon (voir fig. 6).

Notons que la température fut également prise à intervalles réguliers. La température pour les mesures effectuées entre deux prises fut obtenue par interpolation linéaire.

Les moyennes de ces différents temps de chute des 50 % de chaque fraction représentent les temps de chute des grains ayant comme diamètre la moyenne de chaque fraction (voir exemple tableau 2). Ainsi, pour la fraction 250 à 300 μ (voir tableaux 2 et 3) nous considérons 3,98 cm/s comme étant la vitesse de chute (W_{50}) à 20°C des grains ayant 275 μ de diamètre ceci étant la moyenne des deux tamis consécutifs, 250 et 300 μ . Ces temps de chute et diamètres moyens furent portés en graphique (voir fig. 7).

L'examen de ce graphique nous fait apercevoir que la courbe moyenne reliant les différents points du graphique, accuse un point d'inflexion au niveau de la vitesse de chute de $W = 7,81$ cm/s et d'un diamètre de ± 550 μ . C'est pourquoi nous avons calculé deux régressions ayant comme limite commune $W = 7,81$ cm/s.

Pour $W \leq 7,81$ cm/s nous trouvons la formule :

$$d (\mu) = - 43,353041 + 129,250732 W - 16,114201 W^2 + 1,187132 W^3$$

et pour $W > 7,81$ cm/s :

$$d (\mu) = 3297,879549 - 937,891853 W + 96,026630 W^2 - 2,649068 W^3$$

où W = vitesse de chute en cm/s sur une distance de 180 cm et dans une eau à 20°C et d = diamètre du grain en microns (μ).

Ceci nous permet de trouver le diamètre d'un grain connaissant sa vitesse de chute. Inversément, l'on pourra trouver W correspondant au d soit à l'aide du graphique soit par calcul. A l'aide des formules de Cardano, l'équation du 3ème degré de la forme $x^3 + ax^2 + bx + c = 0$ donne, si l'on pose $x = z - \frac{a}{3}$, l'équation réduite du 3e degré suivante :

$$z^3 + pz + q = 0$$

$$\text{où } p = -\frac{a^2}{3} + b \text{ et } q = \frac{2}{27}a^3 - \frac{ab}{3} + c$$

Pour notre cas particulier (discriminant = $(\frac{q}{2})^2 + (\frac{p}{3})^3 > 0$), la racine réelle sera trouvée par les formules de Cardano à savoir $z = u + v$

$$\text{où } u = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}}$$

$$\text{et } v = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}}$$

Cette formule et le graphique correspondant (fig. 7) sont considérés comme résultats de l'étalonnage.

2.3.5. Conclusions et recommandations

La détermination du d_{50} (d_{10} , d_{90} , etc.) d'un échantillon au moyen d'un tube à sédimentation visuelle est commode, rapide et suffisamment précise après un bon étalonnage.

Toutefois, l'expérience acquise lors de l'étalonnage nous permet de formuler ces quelques recommandations d'ordre pratique.

Recommandations générales concernant :

- Le tube de sédimentation

- Veiller à la propreté interne et externe du tube (brosse à bouteille).
- Contrôle régulier de la verticalité du tube.

- Enduire régulièrement les parties mobiles des clapets avec de la vaseline afin de maintenir l'étanchéité indispensable.
- Mesurer la température de l'eau (au milieu du tube) au moins toutes les heures ou au début et à la fin d'une séance de sédimentation et lors d'une rajoute importante d'eau.
- L'appareil enregistreur
 - Débrancher le moteur après chaque séance de sédimentation.
 - Veiller à ce que le traceur soit placé juste à droite de la barette de retenue avant chaque sédimentation.
 - Relire le chapitre 2.1.2.c.

Recommandations avant chaque sédimentation

- Quant au tube de sédimentation
 - Fermer correctement les clapets.
 - Eliminer tout dépôt au-dessus du bouchon.
 - Remplir correctement le tube avec de l'eau ayant la température ambiante (à cet effet placer un seau rempli d'eau dans le laboratoire la veille d'une séance de sédimentation).
 - Introduire le sable dans le tube avec la spatule ad hoc sans cogner les parois du tube (pour éviter un début de sédimentation avant l'ouverture des clapets).
- Quant à l'appareil enregistreur
 - Tracer sur le papier d'enregistrement un trait vertical indiquant le début de la courbe de sédimentation (idem pour la fin de la courbe).
 - Placer le curseur au niveau supérieur du bouchon.
- Veiller simultanément aux points suivants
 - Au début de chaque sédimentation
.....
 - L'ouverture des clapets.
 - La mise en marche du moteur d'entraînement.
 - La mise en marche du chronomètre.
 -
 - A la fin de chaque sédimentation
.....
 - L'arrêt du moteur d'entraînement.
 - L'arrêt du chronomètre.

3. EXAMENS DIVERS

3.1. Examen microscopique

De l'échantillon M0182 S12 (voir Mateba 21), quelques grains de chaque fraction obtenue par tamisage furent examinés au microscope afin d'en établir les dimensions principales, à savoir largeur, longueur et hauteur maximales (voir exemples tableau 4). La largeur et la longueur furent déterminées au moyen d'un porte objet gradué (1/20 mm par graduation). La hauteur fut établie au moyen du vernier de la platine du microscope. Cette dernière méthode (peu précise) ne nous a permis que des lectures à 50μ près.

Plusieurs grains furent introduits séparément dans le tube de sédimentation et leur temps de chute entre deux repères distants de 122 cm mesuré au 1/10 de seconde.

Notons que le repère supérieur fut choisi de façon à ce que le grain, en passant à cette hauteur, eut déjà atteint une vitesse constante. Grâce à ces résultats, nous avons pu calculer le S.F. (Shape Factor) ou facteur de forme, l'indice de sphéricité de quelques 140 grains allant de plus de 2.830μ à 230μ (voir exemples tableau 4).

3.1.1. Facteur de forme

Le facteur de forme fut défini par B.C. Colby et R.P. Christensen comme étant le rapport :

$$SF = \frac{a}{\sqrt{b \cdot c}}$$

où a = la plus petite dimension du grain

b et c = largeur et/ou longueur et/ou épaisseur du grain selon la définition de "a".

Pour le cas de trois dimensions identiques le S.F. atteint sa valeur maximale 1 (voir Journal of the Hydraulics Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Visual Accumulation tube for an analysis of sand (1004-4/3 - 1004-17).

3.1.2. Indice de sphéricité

L'indice de sphéricité est la racine cubique du rapport entre le volume du granulat et le volume de la plus petite sphère circonscrite (sauf à simplifier cette évaluation en remplaçant le volume du granulat par le produit de ses trois axes principaux a, b et c et celui de la sphère par le cube du plus grand des trois axes).

L'indice de sphéricité reste généralement compris entre 0,4 et 1 et la mesure des trois axes correspondants permet de classer le granulat d'une façon plus précise dans la classification de Th. Zingg (voir tableau 5) qui résulte du tableau suivant :

Plaques : $\frac{b}{a} > \frac{2}{3}$ et $\frac{c}{b} < \frac{2}{3}$

Sphéroïdes : $\frac{b}{a} > \frac{2}{3}$ et $\frac{c}{b} > \frac{2}{3}$

Lamelles : $\frac{b}{a} < \frac{2}{3}$ et $\frac{c}{b} < \frac{2}{3}$

Aiguilles : $\frac{b}{a} < \frac{2}{3}$ et $\frac{c}{b} > \frac{2}{3}$

3.1.3. Constatations et conclusions

Les dimensions mesurées des grains sont supérieures aux dimensions des mailles du dernier tamis par lesquelles ces grains sont passés. Le phénomène est normal car les mailles (carrées) laissent passer, en diagonale, des grains de dimensions supérieures au côté de la maille. La grandeur des grains déterminée par tamisage (tamis à mailles carrées) est donc purement conventionnelle et ne répond pas à la grandeur réelle.

Le facteur de forme varie entre 0,60 et 0,77 avec une moyenne de 0,67. Il n'existe pas de corrélation entre le S.F. et la grandeur du grain.

Les vitesses de chute par grain sont inférieures à celles trouvées pour l'échantillon de la même fraction dont le grain est issu.

Le classement selon Zingg (tableau 5) fait voir que, pour l'échantillon donné (M0182 S12), il n'y a pas de rapport entre la grandeur du grain et le classement en question. Toutefois, pour la totalité des grains examinés, 47 % accusaient une forme sphéroïde, 26,5 % une forme de plaque, 23 % une forme d'aiguille et 3,5 % seulement une forme de lamelle. Ces chiffres laissent supposer que les sables de la région divagante sont constitués d'une moitié de sables érodés (sphéroïdes) et d'une autre moitié de sables non-érodés (d'origine rocheuse - Mont Mayumbe).

3.2. Poids spécifiques

Les poids spécifiques des échantillons M0182 S13, M0182 S12 et de chacune de ses fractions ainsi que des 4 échantillons composés (judicieusement prélevés à différents endroits de la Région Divagante) furent déterminés au moyen d'un pycnomètre et sont reproduits au tableau 6.

Le pycnomètre (fig. 8) est un récipient, pourvu d'un tuyau capillaire latéral et qui, à une température donnée, contient exactement un certain volume d'eau distillée. Un trait porté sur le tuyau capillaire indique exactement le niveau à atteindre pour obtenir le volume en question. Le pycnomètre utilisé a une contenance de 50 ml.

3.2.1. Procédure de détermination du poids spécifique

Au moyen d'une balance analytique on procède d'abord aux pesages suivants :

- pesage du pycnomètre vide et sec;
- pesage d'une petite quantité de sable sec, dont le poids spécifique est à déterminer;
- pesage du pycnomètre rempli d'eau à 20°C (jusqu'au trait du tuyau capillaire);
- pesage du pycnomètre contenant le sable déjà pesé et de l'eau à 20°C (jusqu'au trait).

Les données nous permettent de trouver la valeur du poids spécifique du sable (γ_s) par l'application de la formule :

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_m - \frac{P_m - P_s}{\frac{P_e}{V_e}}}$$

- où :
- P_s = poids du sable sec
 - V_m = volume du mélange eau + sable
 - P_m = poids du mélange eau + sable
 - P_e = poids de l'eau
 - V_e = volume de l'eau

en effet : $V_m = V_s + V_{e'}$

où V_s = volume du sable introduit dans le pycnomètre

$V_{e'}$ = volume de l'eau restant dans le pycnomètre après introduction du sable

donc : $V_s = V_m - V_{e'}$

où : $V_{e'} = \frac{P_{e'}}{e}$

et $P_{e'} = P_m - P_s$

et $\gamma_e = \frac{P_e}{V_e}$

par conséquent $V_s = V_m - \frac{P_m - P_s}{\frac{P_e}{V_e}}$

mais puisque $\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$

$$\gamma_s = \frac{V_s}{V_m - \frac{P_m - P_s}{\frac{P_e}{V_e}}}$$

3.2.2. Remarques et conclusions

Le poids spécifique moyen est 2,75 alors qu'en général, pour du sable, le chiffre de 2,65 est accepté.

Le sable de la Région Divagante semble donc être plus lourd que la moyenne.

Il n'y a pas de corrélation entre le poids spécifique et la grandeur du grain.

La magnétite trouvée dans les grains influence le poids spécifique. Elle est surtout fréquente dans les fractions granulométriques approchant les 80 μ .

Remarque

Outre les mesures précitées, nous avons aussi déterminé, pour l'échantillon M0182 S12 uniquement :

$$1) \text{ la teneur en eau} = \frac{\text{poids sable sec}}{\text{poids sable mouillé} - \text{poids sable sec}} = 5,19 \%$$

$$2) \text{ le poids spécifique apparent} = \frac{\text{poids sable mouillé}}{\text{volume sable mouillé}} = 1,99$$

$$3) \text{ le poids spécifique sec} = \frac{\text{poids spécifique apparent}}{1 + \text{teneur en eau}} = \frac{1,99}{1,0519} = 1,89$$

TABLEAUX

- 1 Viscosité de l'eau de 0° à 100°C
- 2 Résultats de chaque sédimentation par fraction (exemple 250-300 μ)
- 3 Moyennes des résultats
- 4 Résultats des mesures des dimensions et des temps de chute par grain (exemples)
- 5 Classement selon Zingg
- 6 Poids spécifiques
- 7 Calculs de la vitesse de chute et du diamètre médian
- 8 Programme pour HP 41 CV : utilisé lors de l'étalonnage
- 9 Programme pour HP 41 CV à utiliser lors d'une sédimentation quelconque

FIGURES

- 1 Croquis synoptique d'une installation d'un tube à sédimentation visuelle
- 2 Plan d'un tube à sédimentation visuelle
- 3 Appareil enregistreur pour tube à sédimentation visuelle
- 4 Clapets semi-circulaires
- 5 Courbe granulométrique
- 6 Courbe de sédimentation
- 7 Courbe d'étalonnage du tube de sédimentation visuelle installé à Boma
- 8 Pycnomètre

TABLEAU 1.- Viscosité de l'eau de 0° à 160° C

VISCOSITY AND FLUIDITY OF WATER
0-100° C

Bingham and Jackson, Bull. Bur. Stds. 14, 75 (1918)

Temp. °C	Fluidity l/poise	Viscosity centi-poise	Specific viscosity (0° C)	Temp. °C	Fluidity l/poise	Viscosity centi-poise	Specific viscosity (0° C)
0	55.80	1.7921	1.0000	50	182.00	0.5404	0.3066
1	57.76	1.7313	.9661	51	185.05	.5404	.3015
2	59.78	1.6728	.9334	52	188.14	.5315	.2966
3	61.76	1.6191	.9035	53	191.23	.5229	.2918
4	63.80	1.5674	.8746	54	194.34	.5146	.2871
5	65.84	1.5188	.8475	55	197.45	.5064	.2826
6	67.90	1.4728	.8218	56	200.62	.4985	.2782
7	70.01	1.4284	.7971	57	203.78	.4907	.2738
8	72.15	1.3860	.7734	58	206.95	.4832	.2696
9	74.28	1.3462	.7512	59	210.13	.4759	.2656
10	76.47	1.3077	.7297	60	213.33	.4688	.2616
11	78.66	1.2713	.7094	61	216.54	.4618	.2577
12	80.89	1.2363	.6899	62	219.80	.4550	.2539
13	83.14	1.2028	.6712	63	223.07	.4483	.2502
14	85.40	1.1709	.6534	64	226.34	.4418	.2465
15	87.69	1.1404	.6363	65	229.64	.4355	.2430
16	90.00	1.1111	.6200	66	232.94	.4293	.2396
17	92.35	1.0828	.6042	67	236.25	.4233	.2362
18	94.71	1.0559	.5892	68	239.57	.4174	.2329
19	97.10	1.0299	.5747	69	242.91	.4117	.2297
20*	99.50	1.0050	.5608	70	246.26	.4061	.2266
21	101.94	.9810	.5474	71	249.63	.4006	.2235
22	104.40	.9579	.5345	72	253.02	.3952	.2205
23	106.86	.9358	.5222	73	256.42	.3900	.2176
24	109.38	.9142	.5101	74	259.82	.3849	.2148
25	111.91	.8937	.4987	75	263.25	.3799	.2120
26	114.45	.8737	.4875	76	266.67	.3750	.2093
27	117.03	.8545	.4768	77	270.12	.3702	.2066
28	119.62	.8360	.4665	78	273.57	.3655	.2040
29	122.25	.8180	.4564	79	277.04	.3610	.2014
30	124.89	.8007	.4468	80	280.53	.3565	.1989
31	127.54	.7840	.4375	81	284.03	.3521	.1965
32	130.22	.7679	.4285	82	287.53	.3478	.1941
33	132.93	.7523	.4198	83	291.03	.3436	.1917
34	135.66	.7371	.4113	84	294.54	.3395	.1894
35	138.40	.7225	.4032	85	298.06	.3355	.1872
36	141.15	.7085	.3953	86	301.63	.3315	.1850
37	143.95	.6947	.3876	87	305.21	.3276	.1828
38	146.76	.6814	.3802	88	308.78	.3239	.1807
39	149.60	.6685	.3730	89	312.35	.3202	.1787
40	152.45	.6560	.3661	90	315.92	.3165	.1766
41	155.30	.6439	.3593	91	319.53	.3130	.1747
42	158.20	.6321	.3527	92	323.13	.3095	.1727
43	161.11	.6207	.3464	93	326.74	.3060	.1707
44	164.02	.6097	.3402	94	330.38	.3027	.1689
45	167.00	.5988	.3341	95	334.01	.2994	.1671
46	169.97	.5883	.3283	96	337.65	.2962	.1653
47	172.95	.5782	.3226	97	341.30	.2930	.1635
48	175.95	.5683	.3171	98	344.96	.2899	.1618
49	178.95	.5588	.3118	99	348.63	.2868	.1600
50	182.00	.5494	.3066	100	352.30	.2838	.1584

* The viscosity of water at 20.20° C is 1,0000 centipoise.

VISCOSITY OF WATER
Above 100° C

Pressure is that of the saturated vapor at the temperature indicated.

T °C	Viscosity cp	T °C	Viscosity cp	T °C	Viscosity cp
101	0.282	106	.267	120	.232
102	.279	107	.264	130	.212
103	.276	108	.262	140	.196
104	.273	109	.259	150	.184
105	.270	110	.256	160	.174

TABLEAU 2.- Résultats de chaque sédimentation par fraction
Exemple 250-300 μ (275 μ)

TUBE SEDIM	TUBE SEDIM	TUBE SEDIM
CODE SEDINT= 275 A	CODE SEDINT= 275 C	CODE SEDINT= 275 E
DIST. TOTALE=142.50 MM.	DIST. TOTALE=140.00 MM.	DIST. TOTALE=130.50 MM.
DIST. 10%=40.90 MM. DIST. 50%=63.90 MM. DIST. 90%=80.00 MM.	DIST. 10%=56.00 MM. DIST. 50%=67.10 MM. DIST. 90%=90.00 MM.	DIST. 10%=53.10 MM. DIST. 50%=65.00 MM. DIST. 90%=88.00 MM.
TEMPS TOTAL=04.0 S. TEMPERATURE=20.0 .C.	TEMPS TOTAL=04.3 S. TEMPERATURE=27.2 .C.	TEMPS TOTAL=07.4 S. TEMPERATURE=27.6 .C.
T. CHUTE TUBE 10%=28.83 S. 50%=37.67 S. 90%=52.35 S.	T. CHUTE TUBE 10%=33.72 S. 50%=40.40 S. 90%=54.19 S.	T. CHUTE TUBE 10%=31.90 S. 50%=39.53 S. 90%=52.87 S.
T. CHUTE-100 10%=27.31 S. 50%=35.60 S. 90%=49.59 S.	T. CHUTE-100 10%=31.95 S. 50%=38.28 S. 90%=51.34 S.	T. CHUTE-100 10%=30.22 S. 50%=37.45 S. 90%=50.00 S.
T. CHUTE 20.C. 10%=33.49 S. 50%=43.77 S. 90%=68.02 S.	T. CHUTE 20.C. 10%=38.45 S. 50%=46.07 S. 90%=61.00 S.	T. CHUTE 20.C. 10%=36.72 S. 50%=45.50 S. 90%=60.06 S.
VIT. CHUTE 20.C 10%=5.37 CM./S. 50%=4.11 CM./S. 90%=2.96 CM./S.	VIT. CHUTE 20.C 10%=4.60 CM./S. 50%=3.91 CM./S. 90%=2.91 CM./S.	VIT. CHUTE 20.C 10%=4.90 CM./S. 50%=3.96 CM./S. 90%=2.96 CM./S.
TUBE SEDIM	TUBE SEDIM	TUBE SEDIM
CODE SEDINT= 275 B	CODE SEDINT= 275 D	CODE SEDINT= 275 F
DIST. TOTALE=140.20 MM.	DIST. TOTALE=131.50 MM.	DIST. TOTALE=137.90 MM.
DIST. 10%=53.90 MM. DIST. 50%=64.10 MM. DIST. 90%=94.50 MM.	DIST. 10%=54.30 MM. DIST. 50%=65.90 MM. DIST. 90%=85.00 MM.	DIST. 10%=55.50 MM. DIST. 50%=65.00 MM. DIST. 90%=81.00 MM.
TEMPS TOTAL=06.1 S. TEMPERATURE=27.5 .C.	TEMPS TOTAL=07.3 S. TEMPERATURE=27.0 .C.	TEMPS TOTAL=08.1 S. TEMPERATURE=27.7 .C.
T. CHUTE TUBE 10%=33.10 S. 50%=39.37 S. 90%=58.03 S.	T. CHUTE TUBE 10%=32.75 S. 50%=39.74 S. 90%=51.74 S.	T. CHUTE TUBE 10%=33.05 S. 50%=39.64 S. 90%=49.40 S.
T. CHUTE-100 10%=31.36 S. 50%=37.29 S. 90%=54.98 S.	T. CHUTE-100 10%=31.02 S. 50%=37.65 S. 90%=49.02 S.	T. CHUTE-100 10%=32.07 S. 50%=37.55 S. 90%=46.00 S.
T. CHUTE 20.C. 10%=30.01 S. 50%=45.21 S. 90%=66.65 S.	T. CHUTE 20.C. 10%=37.16 S. 50%=45.10 S. 90%=50.72 S.	T. CHUTE 20.C. 10%=39.05 S. 50%=45.74 S. 90%=57.00 S.
VIT. CHUTE 20.C 10%=4.74 CM./S. 50%=3.90 CM./S. 90%=2.70 CM./S.	VIT. CHUTE 20.C 10%=4.04 CM./S. 50%=3.99 CM./S. 90%=3.07 CM./S.	VIT. CHUTE 20.C 10%=4.61 CM./S. 50%=3.94 CM./S. 90%=3.16 CM./S.

TABLEAU 3 - Etalonnage du tube à sédimentation visuelle installé à la R.V.M. à Boma
Moyennes arithmétiques des résultats.

diamètre moyen (μ)	nombre de sédimenta- tions	temps de chute*			vitesse de chute*		
		10 % (s)	50 % (s)	90 % (s)	10 % (m/s)	50 % (m/s)	90 % (m/s)
54	3	146,14	207,56	377,04	1,24	0,87	0,48
76	4	122,33	164,05	244,61	1,49	1,10	0,74
98	6	100,48	139,32	204,70	1,80	1,30	0,88
115	5	93,57	126,62	184,53	1,94	1,42	0,98
137	6	80,22	105,67	138,54	2,25	1,71	1,30
165	5	69,94	90,07	111,78	2,55	2,00	1,61
196	6	59,21	77,48	105,68	3,04	2,32	1,71
231	6	45,91	57,89	75,86	3,98	3,11	2,38
275	6	37,15	45,23	60,98	4,86	3,98	2,96
327	6	34,93	39,52	48,46	5,17	4,58	3,76
387	6	28,45	32,29	39,26	6,34	5,58	4,62
460	4	23,94	27,01	30,45	7,52	6,67	5,92
545	6	20,27	23,07	26,54	8,88	7,81	6,79
650	6	18,14	21,30	24,81	9,94	8,47	7,27
780	6	16,83	19,62	23,16	10,71	9,19	7,77
925	6	14,41	17,01	20,36	12,51	10,60	8,86
1090	6	13,72	16,74	18,48	13,14	11,16	9,75
1290	6	13,06	15,26	17,09	13,82	11,81	10,56
1540	6	11,53	13,78	15,86	15,62	13,07	11,36
1840	6	10,31	12,26	19,02	17,55	14,70	12,85

* distance de sédimentation = 180 cm

température = 20° C

TABEAU 4 - Mesure des dimensions et des temps de chute par grain
(un exemple par fraction)

Fraction (μ)	dimensions du grain			t (s)	T (° C)	W à 20° C (cm/s)	SF	I _s
	aa (μ)	bb (μ)	cc (μ)					
> 2830	3900	3950	6700	3,9	21,0°	30,12	0,76	A
2380-2830	1450	5750	4000	12,5	21,0°	9,76	0,30	P
2000-2380	2100	2400	3100	5,2	21,4°	22,59	0,77	S
1680-2000	1750	2500	2500	7,5	21,2°	15,34	0,70	S
1410-1680	1700	3200	1900	8,2	21,2°	14,40	0,69	A
1190-1410	1750	1900	2350	8,8	21,5°	13,42	0,83	S
1000-1190	1000	1150	1750	8,0	21,2°	14,76	0,70	A
841-1000	900	950	1000	8,7	21,4°	13,50	0,92	S
707- 841	900	900	1000	10,1	21,2°	11,69	0,95	S
595- 707	700	925	1000	13,2	21,3°	8,92	0,73	S
500- 595	600	1050	800	14,8	20,8°	8,07	0,65	S
420- 500	530	650	550	15,6	21,0°	7,61	0,89	S
354- 420	400	600	450	22,0	21,0°	5,40	0,77	S
297- 354	200	450	500	34,0	21,0°	3,49	0,42	P
250- 297	300	350	425	30,9	21,1°	3,60	0,78	S
210- 250	200	325	450	40,4	21,1°	2,93	0,52	P

t = temps de chute du grain pour une hauteur de 188 cm

T = température en degrés centigrade

W = vitesse de chute à 20° C

SF = shape factor - facteur de forme

I_s = indice de sphéricité (A=aiguille, P=plaque, S=sphéroïde)

TABLEAU 5.- Classement selon Zingg (échantillon M0182S12)

Fraction (μ)	Sphéroïde	Plaque	Lamelle	Aiguille	Total
> 2830		1		2	3
2380-2830		1			1
2000-2380	4	5		2	11
1680-2000	7	2		3	12
1410-1680	5	2		5	12
1190-1410	6	2		5	13
1000-1190	5	4	2	1	12
841-1000	8	2			10
707- 841	2	2	1	1	6
595- 707	6	1			7
500- 595	2	2		2	6
420- 500	6		1		7
354- 420	3	2		2	7
297- 354	4	4			8
250- 297	3	3	1	4	11
210- 250	3	3		4	10
TOTAL	64	36	5	31	136
%	47,0 %	26,5 %	3,5 %	23,0 %	100 %

TABLEAU 6.- Poids spécifiques

Echantillon	Quantité pesée (μ)	Poids spécifique	Remarques
M.O182 S12			
<u>Fraction:</u> >2830 u	0,2475	3,3374	quantité < 1 gr.
2380-2830 μ	0,0253	1,0210	" "
2000-2380 μ	0,2566	1,9971	" "
1680-2000 μ	1,0488	2,9374	
1410-1680 μ	0,1167	1,9061	" "
1190-1410 μ	1,7376	2,7875	
1000-1190 μ	4,0221	2,7799	
841-1000 μ	3,8928	2,8112	
707- 841 μ	1,2490	2,5833	
595- 707 μ	3,4136	2,6702	
500- 595 μ	3,9724	2,8253	
420- 500 μ	4,4789	2,7029	
354- 420 μ	5,8621	2,7594	
297- 354 μ	3,5963	2,7864	
250- 297 μ	6,3115	2,7925	
210- 250 μ	6,1490	2,7744	
177- 210 μ	6,7017	2,7898	
149- 177 μ	5,5522	2,7813	
125- 149 μ	1,8364	2,8465	
105- 125 μ	0,5869	3,0212	" "
M.O182 S12	5,9170	2,7799	$\bar{x} = 2,75$
M.O182 S13	11,5357	2,6683	
Rocca (composé)	9,8874	2,8040	
Ditadi-dia-Muingu	11,2990	2,7573	
Mateba Amont	13,1719	2,7761	
Malela	13,5802	2,7424	

7.- Calcul de la vitesse de chute

A = Longueur totale de la courbe de sédimentation.

B = Longueur de la courbe jusqu'au 50 % (10 %, 90 %)

C = Temps total, qui fut nécessaire pour le tracé de la courbe.

D = Temps de chute de 50 % (10 %, 90 % etc..) dans le tube (190 cm)

$$D = \frac{C \times B}{A}$$

E = Temps de chute de 50 % (10 %, 90 % etc..) pour parcourir (180 cm)

$$E = \frac{D \times 180}{190}$$

T = Température de l'eau au moment de la sédimentation.

G = 20° - T

H = Temps de chute de 50 % (10 %, 90 % etc..) pour parcourir 180 cm dans une eau à 20° C

$$H = \frac{E}{1 + (0,027269 \times G) + (0,00052358 \times G^2)}$$

W = Vitesse de chute de 50 % (10 %, 90 % etc..) dans une eau à 20° C

$$W = \frac{180}{H}$$

Calcul direct

$$W = \frac{190 \times A \times [1 + (0,027269 \times G) + (0,00052358 \times G^2)]}{B \times C}$$

pour $W \leq 7,81$ cm/s

$$d(\mu) = -43,353041 + 129,250732 W - 16,114201 W^2 + 1,187132 W^3$$

pour $W > 7,81$ cm/s

$$d(\mu) = 3297,879549 - 937,891853 W + 96,026630 W^2 - 2,649068 W^3$$

8.- Programme utilisé lors de l'étalonnage du tube de sédimentation (HP41CV)

```

PRP "TUBE"

01+LBL "TUBE"
FIX 2 CLRG CF 01
CF 03 SF 12
"TUBE SEDIM" FS? 55
AVIEW CF 12 ADV
FC? 55 GTO 00
"CODE SEDIMT=" AOH
AVIEW PROMPT AOFF
AVIEW ADV

21+LBL 00
"DIST. TOTALE=" PROMPT
ARCL X "F MM." AVIEW
STO 00 ADV CF 22
"DIST.10%" PROMPT
FS?C 22 SF 01 STO 01
ARCL X "F MM." FS? 01
AVIEW "DIST. 50%"
PROMPT STO 02 ARCL X
"F MM." AVIEW CF 22
"DIST. 90%" PROMPT
FS?C 22 SF 03 STO 03
ARCL X "F MM." FS? 03
AVIEW ADV FIX 1
"TEMPS TOTAL=" PROMPT
STO 04 ARCL X "F S."
AVIEW "TEMPERATURE="
PROMPT STO 09 ARCL X
"F .C." AVIEW ADV
FIX 2 RCL 04 RCL 00 /
STO 08 FC? 01 GTO 00
RCL 01 * STO 01

80+LBL 00
RCL 08 RCL 02 *
STO 02 FC? 03 GTO 00
RCL 08 RCL 03 *
STO 03

91+LBL 00
"T. CHUTE TUBE" AVIEW
PSE FC? 01 GTO 00
"10%" ARCL 01 "F S."
AVIEW

101+LBL 00
102+LBL 00
"50%" ARCL 02 "F S."
AVIEW FC? 03 GTO 00
"90%" ARCL 03 "F S."
AVIEW

113+LBL 00
180 ENTERT 190 /
STO 08 FC? 01 GTO 00
RCL 01 * STO 01

124+LBL 00
RCL 08 RCL 02 *
STO 02 FC? 03 GTO 00
RCL 08 RCL 03 *
STO 03

135+LBL 00
ADV "T. CHUTE-180"
AVIEW PSE FC? 01
GTO 00 "10%" ARCL 01
"F S." AVIEW

146+LBL 00
"50%" ARCL 02 "F S."
AVIEW FC? 03 GTO 00
"90%" ARCL 03 "F S."
AVIEW

157+LBL 00
28 RCL 09 - STO 09
,027269 * 1 + RCL 09
X12 ,00052358 * +
STO 09 FC? 01 GTO 00
RCL 01 X<Y / STO 01

178+LBL 00
RCL 02 RCL 09 /
STO 02 FC? 03 GTO 00
RCL 03 RCL 09 /
STO 03

189+LBL 00
ADV "T. CHUTE 20.C."
AVIEW PSE FC? 01
GTO 00 "10%" ARCL 01
"F S." AVIEW

200+LBL 00
"50%" ARCL 02 "F S."
AVIEW FC? 03 GTO 00
"90%" ARCL 03 "F S."
AVIEW

211+LBL 00
ADV "VIT. CHUTE 20.C."
AVIEW PSE FC? 01
GTO 00 180 RCL 01 /
"10%" ARCL X
"F CM./S." AVIEW

225+LBL 00
180 RCL 02 / "50%"
ARCL X "F CM./S."
AVIEW FC? 03 GTO 00
180 RCL 03 / "90%"
ARCL X "F CM./S."
AVIEW

242+LBL 00
ADV ADV GTO "TUBE"
.END.

```

9.- Programme à utiliser lors des futures sédimentations
(HP41CV)

PRP "TUBE"

01*LBL "TUBE"
CF 29 CLRG FIX 2
FC? 55 GTO 02 SF 12
"SEDIMENT" AVIEW
"CODE" AVIEW CF 12
CLA AON "ZONE=?"
PROMPT FIX 0 ASTO 00
AOFF "DATE INVERS. ="
PROMPT STO 01
"NUM. ECHANTI. = " PROMPT
STO 02 AON
"PRELVMENT = ? " PROMPT
ASTO 03 CLA ARCL 00
" " ARCL 01 " " "
ARCL 02 " " ARCL 03
AVIEW

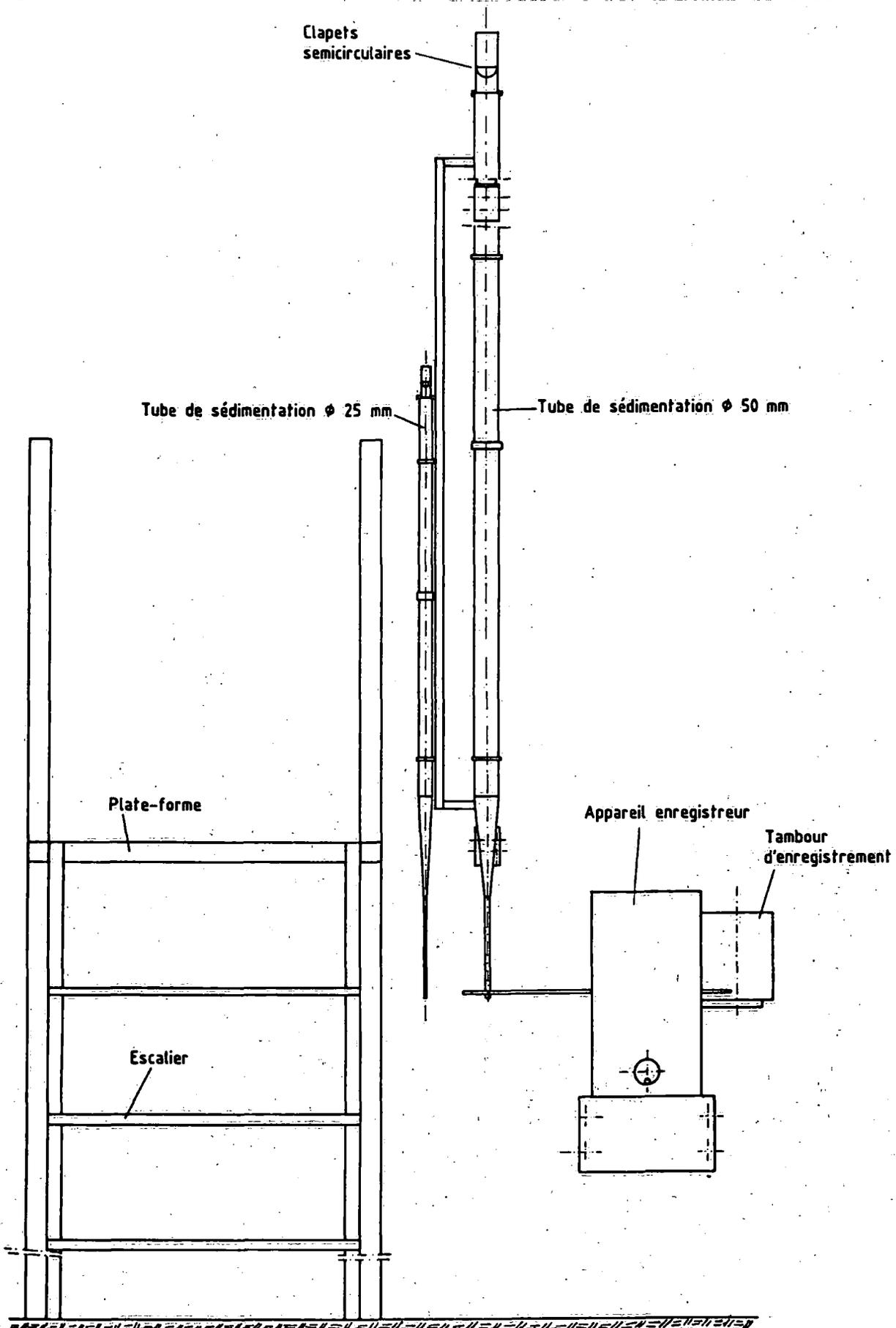
39*LBL 02
ADV AOFF "L. TOTALE = "
PROMPT FIX 1 STO 00
ARCL X " " MM. " FS? 55
AVIEW "POURCENTAGE?"
PROMPT FIX 0 STO 02
"L. DE " ARCL 02 " " = "
PROMPT FIX 1 STO 01
ARCL X " " MM. " FS? 55
AVIEW "TEMPS TOTAL = "
PROMPT STO 00 ARCL X
" " S. " FS? 55 AVIEW
"TEMPERATURE = " PROMPT
STO 03 ARCL X " " C. "
FS? 55 AVIEW ADV 20
RCL 03 - STO 03 X↑2
.0005235 * RCL 03
.027269 * + 1 +
RCL 00 * 190 *
RCL 01 / RCL 02 /
STO 03 "VIT. CHUTE = "
ARCL X " " CM. / S. "
AVIEW FC? 55 STOP
7.81 X<Y X<=Y?
GTO 00 3297.879549
ENTER↑ 937.891853
RCL 03 * - 96.02663
RCL 03 X↑2 * +
2.649068 RCL 03 3 Y↑X
* - GTO 01

129*LBL 00
RCL 03 3 Y↑X 1.187132
* RCL 03 X↑2
16.114201 * - RCL 03
129.250732 * +
43.353041 -

146*LBL 01
FIX 0 "d = " ARCL X
" " MICRONS " SF 29
AVIEW STOP ADV ADV
GTO "TUBE" END

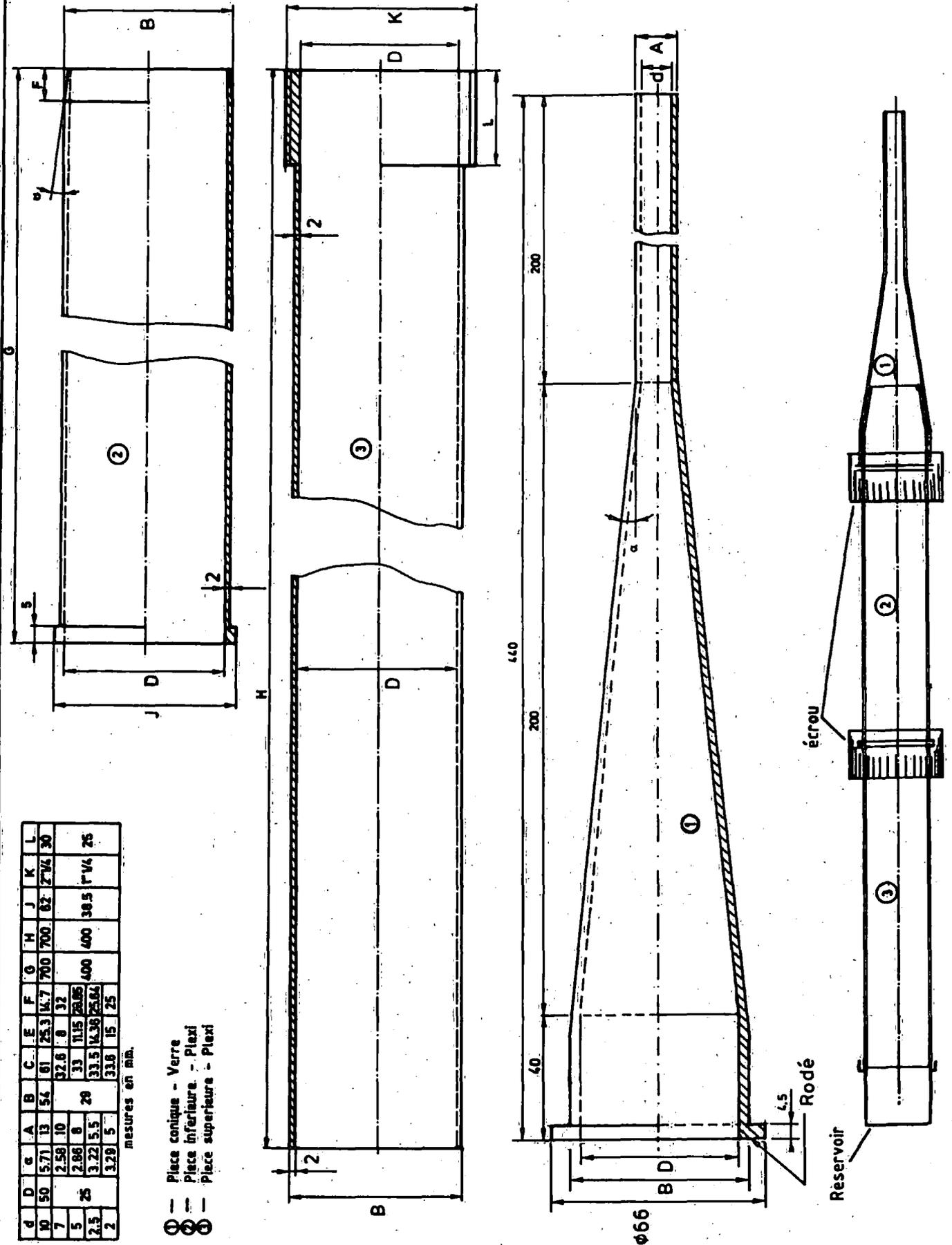


INSTALLATION D'UN TUBE A SEDIMENTATION VISUELLE





TUBE A SEDIMENTATION VISUELLE



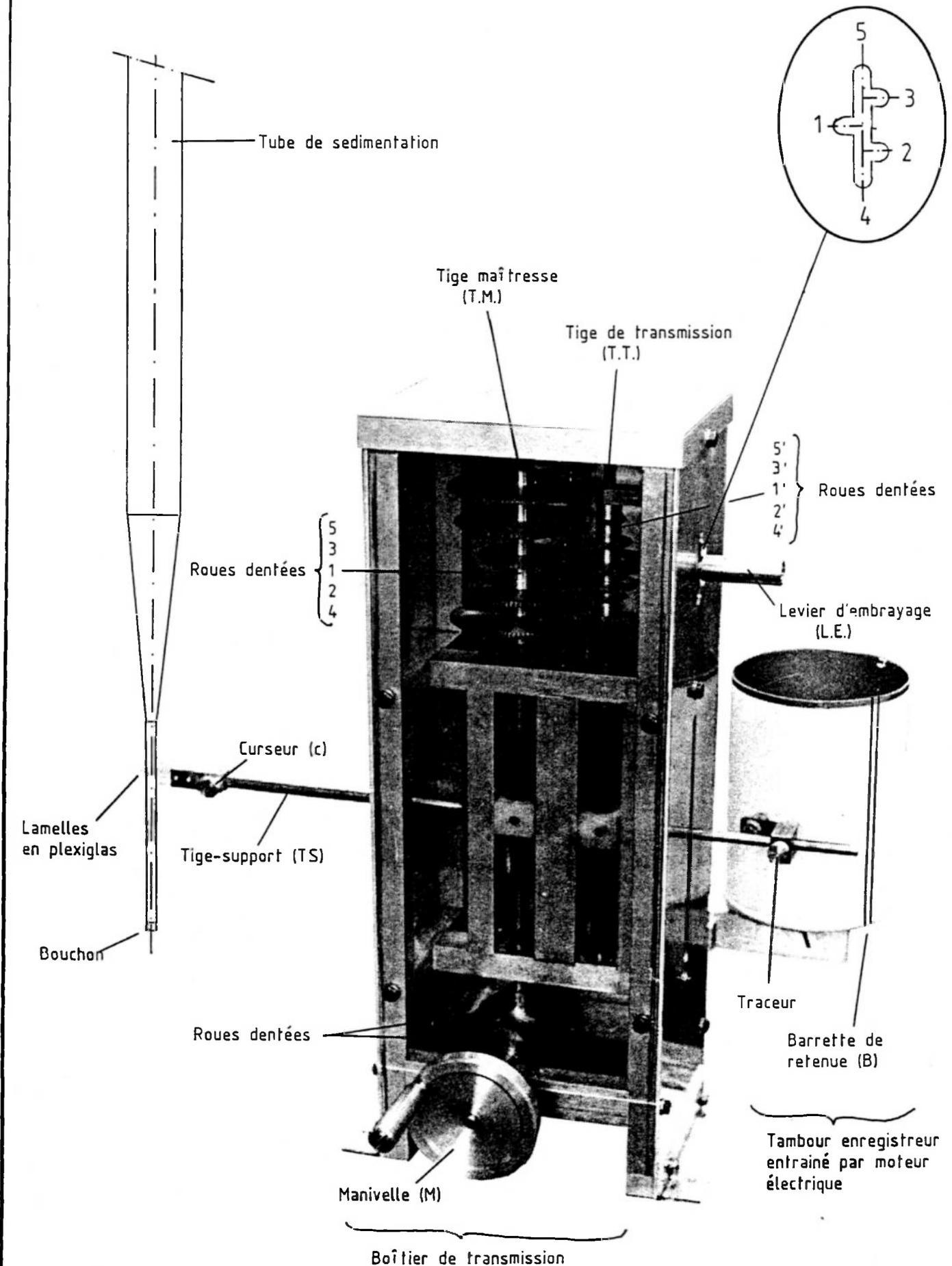
d	D	g	A	B	C	E	F	G	H	J	K	L
10	50	5.71	13	54	61	25.3	14.7	700	700	62	27/4	30
7		2.59	10			32.6	8	32				
5	25	2.86	8	29	33	11.15	23.05	400	400	38.5	17/4	25
2.5		3.22	5.5			31.5	14.36	25.64				
2		3.29	5			33.8	15	25				

mesures en mm.

- ① — Piece cotique - Verre
- ② — Piece inferieure - Plexi
- ③ — Piece superieure - Plexi

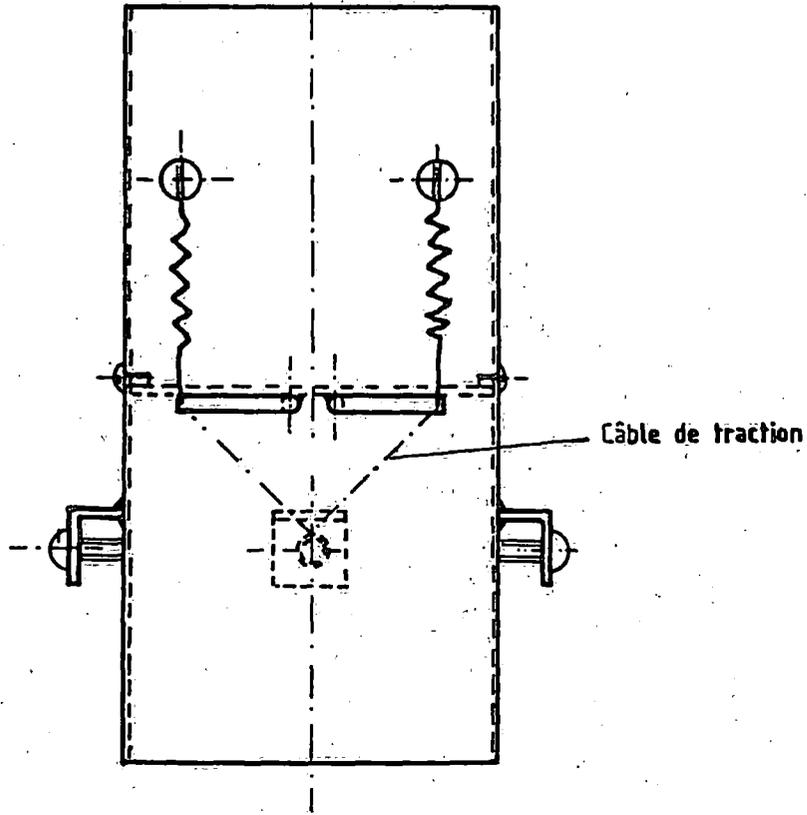


APPAREIL ENREGISTREUR POUR TUBE A SEDIMENTATION VISUELLE

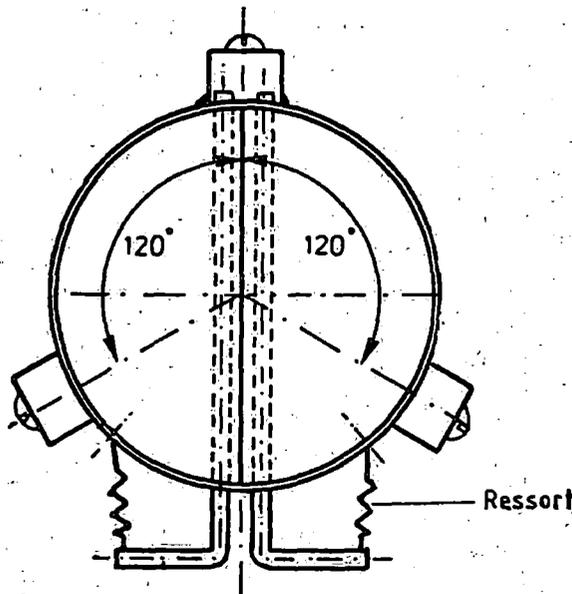




CLAPETS SEMI-CIRCULAIRES



VUE LATÉRALE



VUE EN PLAN



LABORATOIRE DE
RECHERCHES
HYDRAULIQUES

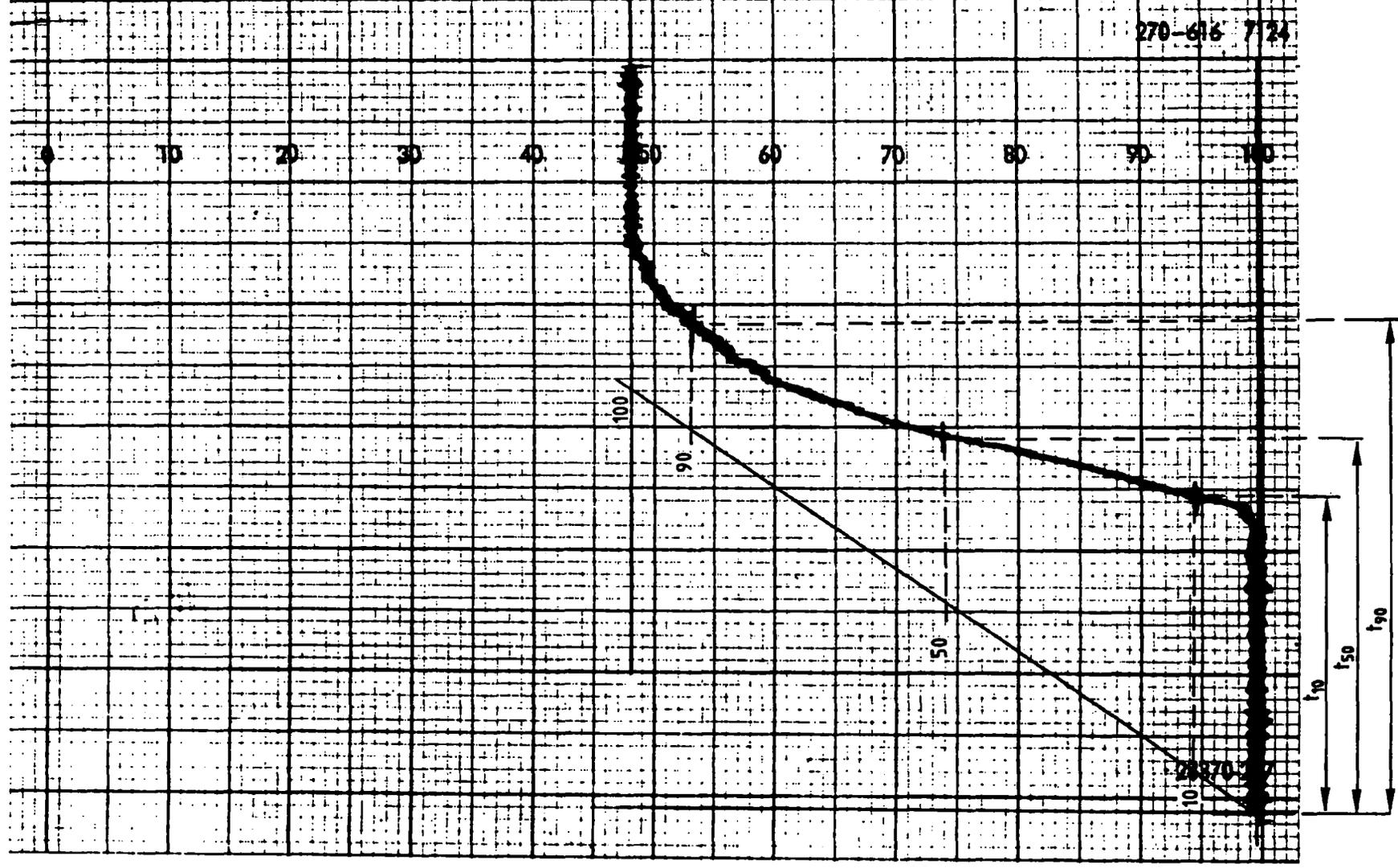
MOD. 255

BIEF MARITIME
DU FLEUVE ZAIRE

Figure 6

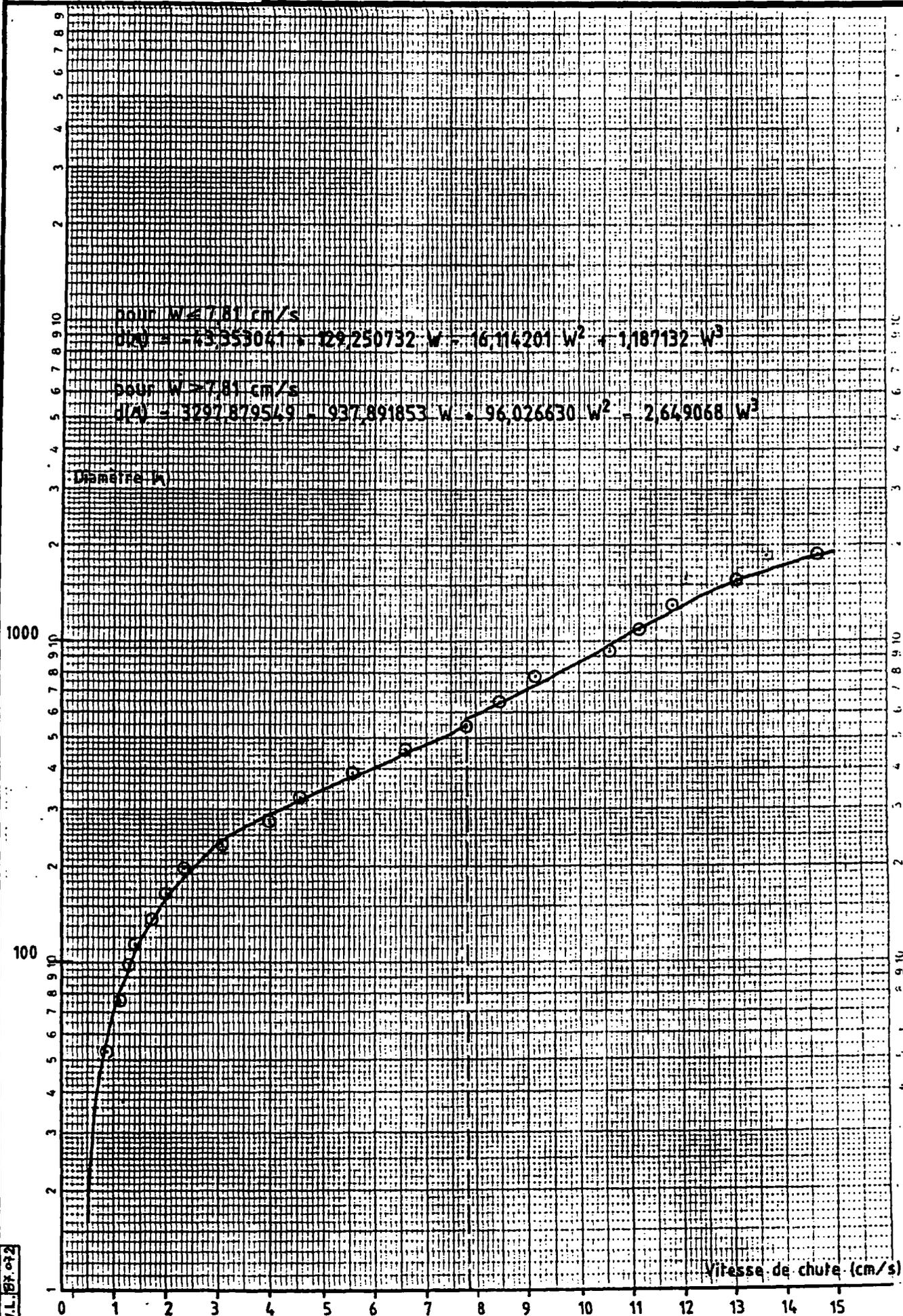
COURBE DE SEDIMENTATION

ECHANTILLON : M0182S12 - FRACTION 149-177 μ





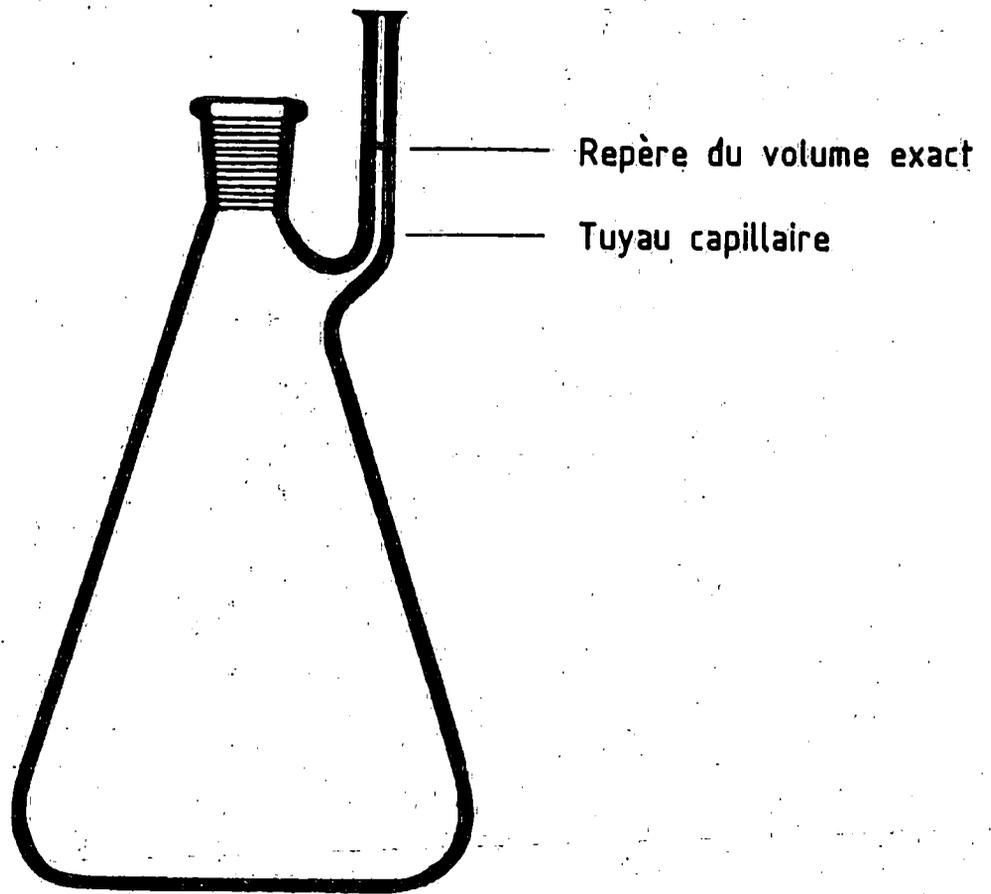
COURBE D'ETALONNAGE DU TUBE
DE SEDIMENTATION VISUELLE



W.L. 187.012



PYCNETRE



Annexe 11 - Etude de la relation concentration - Débit liquide

J.M. HIVER.

1. GENERALITES

2. RELATION CONCENTRATION - DEBIT LIQUIDE

2.1. Méthodologie

2.2. Résultats

2.3. Relations Concentration - Débit liquide à Ntua-Nkulu

2.4. Relations Concentration - Débit liquide dans les autres sections

TABLEAUX

FIGURES

1. GENERALITES

La surveillance de l'évolution des passes permet de garder ouverte la route de navigation en procédant à des balisages et des dragages.

La rentabilité de ces dragages dépend de la fiabilité des prévisions d'évolution des passes.

Cette méthode de prévision se fonde sur l'analyse des observations hydrographiques, hydrologiques et sur des lois empiriques révélées par essais sur modèles réduits et par mesures sur le terrain. Elle fait appel, entre autres, à la sédimentologie et aux modifications morphologiques du fleuve en liaison avec ses fluctuations hydrauliques.

Dans la présente annexe, nous avons analysé la liaison pouvant exister entre la concentration en matières solides et le débit liquide.

2. RELATION CONCENTRATION - DEBIT LIQUIDE

2.1. Méthodologie

La concentration en matières solides transportées par charriage ou en suspension peut être exprimée par la relation suivante :

$$C = \frac{Q_S \text{ (m}^3\text{/j)}}{Q_L \text{ (m}^3\text{/s)}}$$

avec Q_S = débit solide en suspension

Q_L = débit liquide

γ_S représentant le poids spécifique du matériau, on peut écrire que :

$$C = \frac{\gamma_S}{0,0864} \cdot \frac{Q_S}{Q_L} \quad \text{exprimée en g/m}^3$$

Cette concentration représente la "concentration pondérale".

A partir des mesures de débits liquides et solides faites dans les sections caractéristiques du fleuve, on peut étudier les relations existant entre la concentration et le débit liquide.

Les graphiques $(\frac{C}{Y_S}; Q_L)$ permettent ainsi d'analyser l'évolution du transport solide dans chacune des passes de la région divagante.

L'exploitation des données mesurées in situ est faite au moyen des mesures relatives aux années 1980 à 1985.

Nous y avons analysé successivement les données mesurées dans les sections de Ntúa-Nkulu, Mateba Amont Sud et le faux bras Mateba Village.

Les mesures sont relevées dans la base de données (inventaire général - MATEBA 19) pour ces sections caractéristiques.

Il est évident que nous n'analysons ci-dessous que les concentrations moyennes et non pas la répartition des concentrations sur la verticale.

2.2. Résultats

Les données de base et les résultats sont donnés aux tableaux I à II. On trouvera, pour chacune des sections considérées, les éléments suivants :

E.E. BOMA	échelle à Boma (m)
Q_{TOT}	débit total à Boma (m^3/s)
$Q_{SECTION}$	débit liquide dans la section considérée (m^3/s)
SURF.	surface mouillée (m^2)
V. MOY	vitesse moyenne calculée (m/s)
Q_{df1}	débit solide en suspension (m^3/j)
Q_{df2}	débit solide par charriage (m^3/j)
Q_{df12}	débit solide total (m^3/j)
C_1	concentration en débit solide en suspension (g/m^3)
C_2	concentration en débit solide par charriage (g/m^3)
C_3	concentration en débit solide total (g/m^3)

L'analyse de ces résultats indique que l'ensemble des couples (C, Q_L) peut être ajusté linéairement par une relation du type :

$$C = a + b \cdot Q_L$$

Les nombres de données disponibles sont résumées ci-dessous

SECTION	NTUA-NKULU	MATEBA AMONT	F.B. MATEBA VILL.
1980	12	0	0
1981	10	0	0
1982	10	0	0
1983	13	0	5
1984	12	2	9
1985	9	5	5
	66	7	19

Nous remarquons que le nombre de données disponibles dans les sections MATEBA AMONT et F.B. MATEBA VILLAGE étant limitées, nous analyserons en détail les relations concentration - débit liquide dans la section de NTUA-NKULU.

2.3. Relations Concentration - Débit liquide à Ntua-Nkulu

Les valeurs des coefficients d'ajustement sont données ci-dessous relativement aux concentrations C_1 , C_2 et C_3 .

	C_1		C_2		C_3	
	a	b	a	b	a	b
1980	-1,106	0,00013	-17,543	0,00066	-18,465	0,00079
1981	-4,633	0,00024	-10,588	0,00046	-15,221	0,00070
1982	-20,183	0,00081	-3,065	0,00018	-23,248	0,00099
1983	-9,550	0,00044	-0,555	0,00015	-10,099	0,00059
1984	-6,884	0,00035	-2,313	0,00019	-9,197	0,00054
1985	-9,018	0,00042	-1,053	0,00016	-10,072	0,00058

Nous remarquons sur les figures 1 à 3 que les variations des concentrations semblent obéir à plusieurs constatations, à savoir que :

- 1°) la concentration pondérale augmente en fonction du débit;
- 2°) la concentration C_1 , donc le débit solide en suspension, augmente plus vite que le débit liquide;
- 3°) la pente de la droite varie d'année en année en fonction d'autres paramètres hydrauliques (vitesse moyenne, pente de la ligne d'énergie, nombre de Froude).

La figure 4 représente l'ensemble des triplets $\{C_1, Q_L, \bar{V}\}$ à Ntua-Nkulu pour les cinq années considérées.

Elle indique une dispersion relativement faible jusqu'à des vitesses de l'ordre de 1,2 m/s soit un débit total de l'ordre de 35.000 m³/s.

La répartition des vitesses turbulentes au sein du liquide ne dépendant que de la vitesse de cisaillement (u_*) de l'écoulement, il nous semble que le taux de concentration moyen des granulates C_1 ne devrait dépendre que du nombre de Froude "étoilé" ($= u_* / \sqrt{gd}$) par lequel on peut caractériser l'intensité de la turbulence au sein du liquide à l'échelle du grain.

D'où, on peut écrire de façon adimensionnelle que :

$$C_1 = f [Fr^*] = f [u_* / \sqrt{gd}]$$

soit $C_1 = f [(hJ/d)^n]$ avec

- h = hauteur d'eau
- J = pente de la ligne d'énergie
- d = diamètre médian
- n = exposant

D'où il résulte que :

- 1°) les diminutions de pente entraînent la formation de dépôts puisque la concentration moyenne diminue;
- 2°) le débit solide en suspension augmente plus vite que le débit liquide puisque la hauteur h augmente avec le débit;
- 3°) le débit solide en suspension augmente d'autant plus vite que les matériaux sont plus fins.

L'étude de cette relation permettrait de mettre en évidence la dépendance existant entre C_1 et Fr^* dans les sections considérées.

2.4. Relations Concentration - Débit liquide dans les autres sections

La figure 5 représente l'évolution de la concentration C_1 dans les sections de Mateba Amont Sud et Faux-Bras Mateba Village par rapport à celle relevée dans Ntua-Nkulu.

Ces relations diffèrent pour chacune des sections, celle de Mateba Village présentant un gradient beaucoup plus grand que celui de Ntua-Nkulu. Ces différences proviennent entre autres des modifications de pente superficielle et du type de morphologie des fonds.

TABLEAU 1 - Station NTUA NKULU Année 1980.

6.-

MOIS	E.E.BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V.MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
JA	1.57	41193	36223	30470	1.189	7802	11767	19569	2.493	3.760	6.253
F.	1.13	35254	30900	29464	1.049	5066	9445	14511	1.898	3.538	5.435
MR	1.02	34390	29974	28246	1.061	6557	5527	12084	2.532	2.134	4.666
A.	1.26	37575	32493	29875	1.088	5935	11280	17215	2.114	4.018	6.132
MS	1.54	41182	35708	30219	1.182	12416	13794	36210	4.024	4.471	11.737
JN	1.29	38517	33546	30818	1.089	7553	12693	20246	2.606	4.379	6.985
JL	1.01	34024	29233	28099	1.040	10221	8266	18487	4.047	3.273	7.319
A.	1.18	35470	30743	28713	1.071	10181	12174	22355	3.833	4.583	8.416
S.	1.11	36486	31802	29608	1.074	8291	10076	18367	3.017	3.667	6.684
O.	1.63	41930	36209	30394	1.191	15878	14834	30262	5.075	4.742	9.673
N.	2.50	53927	45460	32167	1.413	21759	46398	68157	5.540	11.813	17.353
D.	2.98	60144	51839	32417	1.599	24014	83137	107151	5.362	18.562	23.924

TABLEAU 2 - Station NTUA NKULU Année 1981.

MOIS	E.E.BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V.MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
JA	2.11	47598	41077	30766	1.335	23703	33993	57696	6.679	9.578	16.257
F.	1.77	42616	36552	29917	1.222	13718	21519	35237	4.344	6.814	11.158
MR	.96	34731	30118	28557	1.055	5270	6112	11382	2.025	2.349	4.374
A.	1.28	37782	33014	28873	1.143	10276	11505	21781	3.603	4.033	7.636
MS	1.14	35326	31108	28129	1.106	9790	9134	18924	3.642	3.398	7.041
JN	1.59	40417	34921	29015	1.204	10340	18525	28865	3.427	6.140	9.567
JL	.54	30184	26575	27691	.960	2979	4058	7037	1.297	1.767	3.065
A.	.53	31633	27597	29899	.923	0	0	0	0.000	0.000	0.000
O.	1.86	43298	36855	29375	1.255	7765	26386	34151	2.438	8.286	10.725
N.	2.32	51251	44251	31131	1.421	22062	35201	57263	5.770	9.207	14.977
D.	2.62	55400	48209	31823	1.515	25835	45392	71227	6.203	10.898	17.100

TABLEAU 3 - Station NTUA NKULU Année 1982.

MOIS	E. E. BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V. MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
JA	2.25	48467	41951	31993	1.311	31771	19241	51012	8.765	5.309	14.074
F.	1.14	37694	32861	28623	1.148	11950	6835	18785	4.209	2.407	6.616
MR	.98	34285	29913	27584	1.084	5926	2946	8872	2.293	1.140	3.433
A.	.86	33497	29264	26628	1.099	6855	3661	10516	2.711	1.448	4.159
MS	.67	32435	28248	26110	1.082	5654	3553	9207	2.317	1.456	3.772
JN	1.07	35147	30402	27757	1.095	10991	7516	18507	4.184	2.861	7.046
JL	.38	28939	25303	25614	.988	3139	3986	7125	1.436	1.823	3.259
A.	.42	28177	24590	25362	.970	5962	3320	9282	2.806	1.563	4.369
S.	.85	31459	27548	25589	1.077	6436	5551	11987	2.704	2.332	5.036
N.	2.66	52068	43940	29045	1.513	0	0	0	0.000	0.000	0.000
D.	3.22	70220	60866	34555	1.761	0	0	0	0.000	0.000	0.000
D.	2.99	53915	45289	29128	1.555	87303	17182	104484	22.311	4.391	26.702

TABLEAU 4 - Station NTUA NKULU Année 1983.

MOIS	E. E. BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V. MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
JA	2.25	49212	41993	29942	1.402	40183	19755	59938	11.075	5.445	16.520
F.	1.15	35622	30894	29314	1.054	0	0	0	0.000	0.000	0.000
F.	1.03	37438	32646	27577	1.184	5448	18783	24231	1.931	6.659	8.591
MR	.94	35191	30656	26743	1.146	8845	8824	17669	3.339	3.332	6.671
A.	.89	34107	29795	27120	1.099	9099	11753	20852	3.535	4.566	8.100
MS	.88	34771	30619	27410	1.117	6579	12602	19361	2.487	4.764	7.318
JN	.44	29001	25465	27119	.939	4345	7476	11821	1.975	3.398	5.373
JL	.05	25646	22437	25901	.866	2395	4503	6898	1.236	2.323	3.558
A.	-.03	26469	23776	26926	.883	1895	3817	5712	.922	1.858	2.781
A.	.09	25595	22524	25533	.882	2741	8634	11375	1.408	4.437	5.845
S.	.70	31618	27419	26611	1.030	5638	9278	14916	2.380	3.916	6.296
O.	1.04	36269	31463	27640	1.138	9907	5837	15744	3.644	2.147	5.792
N.	2.11	45455	39582	29761	1.330	29442	15399	44841	8.609	4.503	13.112
D.	2.32	51623	44713	30901	1.447	36408	27696	64104	9.424	7.169	16.593

MOIS	E.E.BOMA	Qtot	Qsec	Surf.	V.MOY.	Qdf1	Qdf2	Qdf12	C1	C2	C3
	m.	m3/s	m3/s	m2	m/s	m3/j.	m3/j.	m3/j.	g/m3	g/m3	g/m3
JA	1.95	149513	143570	130425	1.432	22905	20594	43499	6.085	5.471	11.555
F.	1.23	131908	131908	127483	1.161	7070	7413	14483	2.564	2.689	5.253
F.	.70	131784	127875	126521	1.051	4886	6977	11863	2.029	2.897	4.926
MR	.67	128744	124615	125225	.976	3714	5592	9306	1.746	2.629	4.376
A.	.79	132674	128700	127017	1.062	7366	10477	17843	2.970	4.225	7.196
JN	.12	126086	122762	126722	.852	1770	4159	5929	.900	2.115	3.015
JL	.02	121383	118516	125427	.728	0	0	0	0.000	0.000	0.000
JL	.05	125065	122233	127035	.822	757	1251	2008	.394	.651	1.045
A.	.42	128629	124786	125889	.957	5100	5381	10481	2.381	2.513	4.894
S.	.53	128862	125103	125966	.967	3924	4702	8626	1.809	2.168	3.977
O.	.79	129897	125891	126279	.985	5698	7685	13383	2.547	3.435	5.983
O.	1.33	138767	133805	127792	1.216	20979	10316	31296	7.183	3.532	10.715
N.	1.88	146043	139223	129100	1.348	0	0	0	0.000	0.000	0.000
D.	1.94	145282	138906	128659	1.358	31183	19640	50823	9.277	5.843	15.119

Tableau 6 - Station NTUA NKULU Année 1985.

MOIS	E.E.BOMA	Qtot	Qsec	Surf.	V.MOY.	Qdf1	Qdf2	Qdf12	C1	C2	C3
	m.	m3/s	m3/s	m2	m/s	m3/j.	m3/j.	m3/j.	g/m3	g/m3	g/m3
JA	1.26	136159	131346	127217	1.152	14668	14436	29105	5.416	5.330	10.747
F.	1.01	133459	129502	127156	1.086	0	0	0	0.000	0.000	0.000
F.	.97	134142	129772	127673	1.076	6899	9468	16367	2.682	3.681	6.363
MR	.20	125937	122512	125602	.879	1221	4211	5432	.628	2.165	2.793
A.	.80	133055	128422	127193	1.045	5769	7089	12858	2.349	2.887	5.236
MS	1.78	141579	135479	128206	1.258	21303	16361	37664	6.950	5.337	12.287
JN	1.58	143810	137704	129185	1.292	19907	12715	32622	6.111	3.903	10.014
JL	.81	133311	129801	128831	1.034	0	0	0	0.000	0.000	0.000
JL	.81	134062	129532	128056	1.053	6853	6182	13036	2.686	2.423	5.109
A.	.74	131645	127436	126281	1.044	5839	11096	16935	2.463	4.681	7.144
S.	.84	133097	128956	127030	1.071	11291	6645	17936	4.513	2.656	7.169

TABLEAU 7 - Station MATEBA AMONT Année 1984.

MOIS	E. E. BOMA	Qtot	Qsec	Surf.	V. MOY.	Qdf1	Qdf2	Qdf12	C1	C2	C3
	m.	m ³ /s	m ³ /s	m ²	m/s	m ³ /j.	m ³ /j.	m ³ /j.	g/m ³	g/m ³	g/m ³
O.	.80	29897	8448	8415	1.004	2203	1553	3756	3.018	2.128	5.146
N.	1.46	46043	10468	8689	1.205	8287	4850	13138	9.163	5.363	14.526
N.	1.89	46036	11544	9336	1.237	0	0	0	0.000	0.000	0.000

TABLEAU 8 - Station MATEBA AMONT Année 1985.

MOIS	E. E. BOMA	Qtot	Qsec	Surf.	V. MOY.	Qdf1	Qdf2	Qdf12	C1	C2	C3
	m.	m ³ /s	m ³ /s	m ²	m/s	m ³ /j.	m ³ /j.	m ³ /j.	g/m ³	g/m ³	g/m ³
JA	1.12	36159	9322	9018	1.034	4975	3086	8061	6.177	3.832	10.008
F.	.98	34147	13155	10162	1.295	0	0	0	0.000	0.000	0.000
MR	.18	25937	7629	8255	.924	1723	4013	5735	2.614	6.088	8.701
MS	1.75	41579	10795	8985	1.201	7709	6083	13793	8.265	6.522	14.788
JL	.81	33311	8317	7502	1.109	0	0	0	0.000	0.000	0.000
JL	.86	33297	9691	8940	1.084	7032	3410	10442	8.398	4.073	12.471
S.	.89	33097	8482	7973	1.064	2406	2683	5090	3.283	3.661	6.946

TABLEAU 9 - Station F.B. MATEBA VILLAGE Année 1983.

MOIS	E.E.BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V.MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
F.	1.10	37442	5556	5154	1.078	0	0	0	0.000	0.000	0.000
A.	.09	29705	2691	3033	.887	565	528	1093	2.430	2.271	4.701
A.	.16	29691	3246	3558	.912	0	0	0	0.000	0.000	0.000
S.	.70	31618	4191	4245	.987	2265	4715	6980	6.255	13.021	19.276
S.	.70	34725	4099	4324	.948	0	0	0	0.000	0.000	0.000
O.	1.13	36269	3782	3613	1.047	4053	4336	8389	12.403	13.269	25.673
N.	1.97	45455	5744	3986	1.441	19643	8407	28050	39.580	16.940	56.520
D.	2.32	51623	6739	5078	1.327	19101	8080	27181	32.806	13.877	46.683

TABLEAU 10 - Station F.B. MATEBA VILLAGE Année 1984.

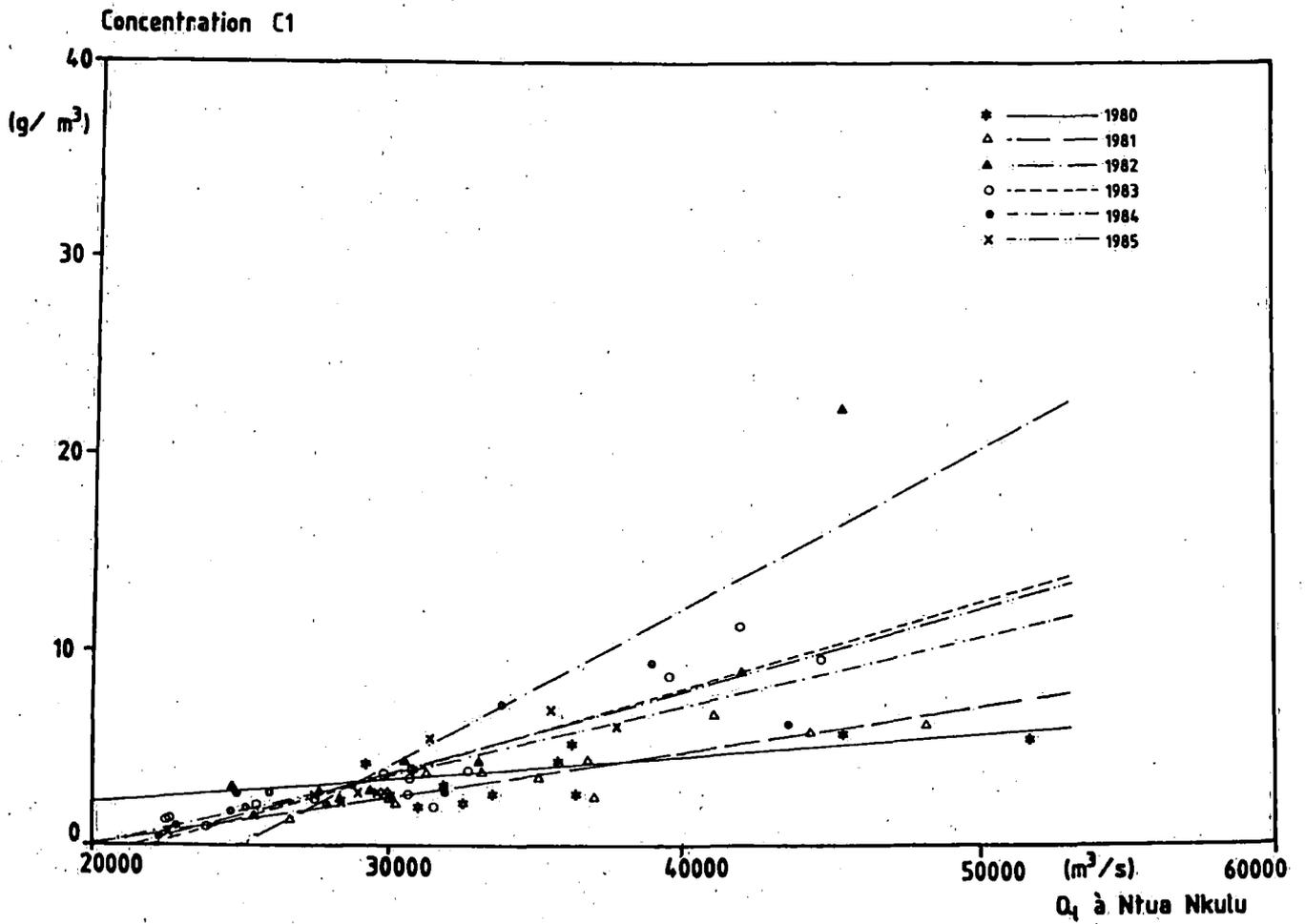
MOIS	E.E.BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V.MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
JA	1.82	149513	5147	4695	1.096	16570	5280	21860	37.261	11.873	49.157
F.	.93	31908	3801	3850	.987	1394	2513	3907	4.245	7.652	11.897
MR	.72	28744	4335	4281	1.013	3433	3063	6497	9.166	8.178	17.346
MR	.80	28756	3683	3983	.925	931	3545	4476	2.926	11.140	14.066
A.	.83	32674	4045	4275	.946	1375	5254	6629	3.934	15.033	18.968
JL	.03	21383	3439	3807	.903	0	0	0	0.000	0.000	0.000
JL	.03	21381	2980	3856	.773	1214	1710	2923	4.715	6.642	11.353
S.	.54	28862	3984	4359	.914	6106	5386	11492	17.739	15.647	33.386
O.	.79	29897	3688	4016	.918	1111	651	1762	3.487	2.043	5.530
N.	1.48	46043	4596	3598	1.277	3840	2678	6519	9.670	6.744	16.417
N.	1.89	46036	7687	4997	1.538	0	0	0	0.000	0.000	0.000

TABLEAU 11 - Station F.B. MATEBA VILLAGE Année 1985.

MOIS	E.E.BOMA m.	Qtot m3/s	Qsec m3/s	Surf. m2	V.MOY. m/s	Qdf1 m3/j.	Qdf2 m3/j.	Qdf12 m3/j.	C1 g/m3	C2 g/m3	C3 g/m3
JA	1.10	36159	4887	4243	1.152	4107	1956	6063	9.727	4.632	14.359
F.	1.00	33459	3336	3533	.944	0	0	0	0.000	0.000	0.000
MR	.18	25937	3274	3912	.837	875	1391	2266	3.093	4.917	8.011
MS	1.75	41579	5734	4400	1.303	4940	3130	8071	9.971	6.318	16.291
JL	.81	33311	4805	5207	.923	0	0	0	0.000	0.000	0.000
JL	.88	33297	4048	5024	.806	2464	967	3432	7.045	2.765	9.813
S.	.88	33097	5194	4307	1.206	7319	6039	13358	16.309	13.457	29.766

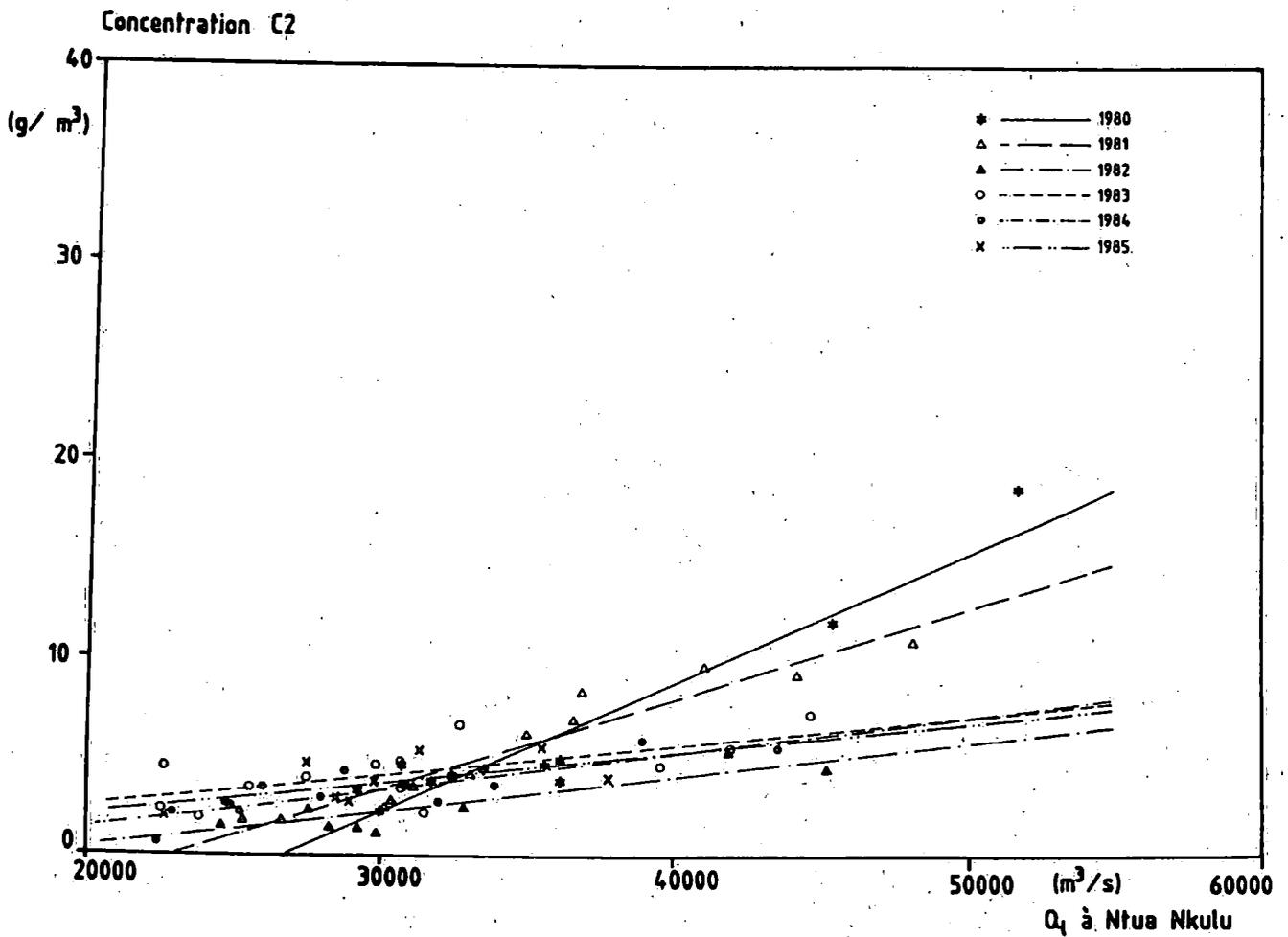


NTUA NKULU
RELATION CONCENTRATION C1 - DEBIT LIQUIDE



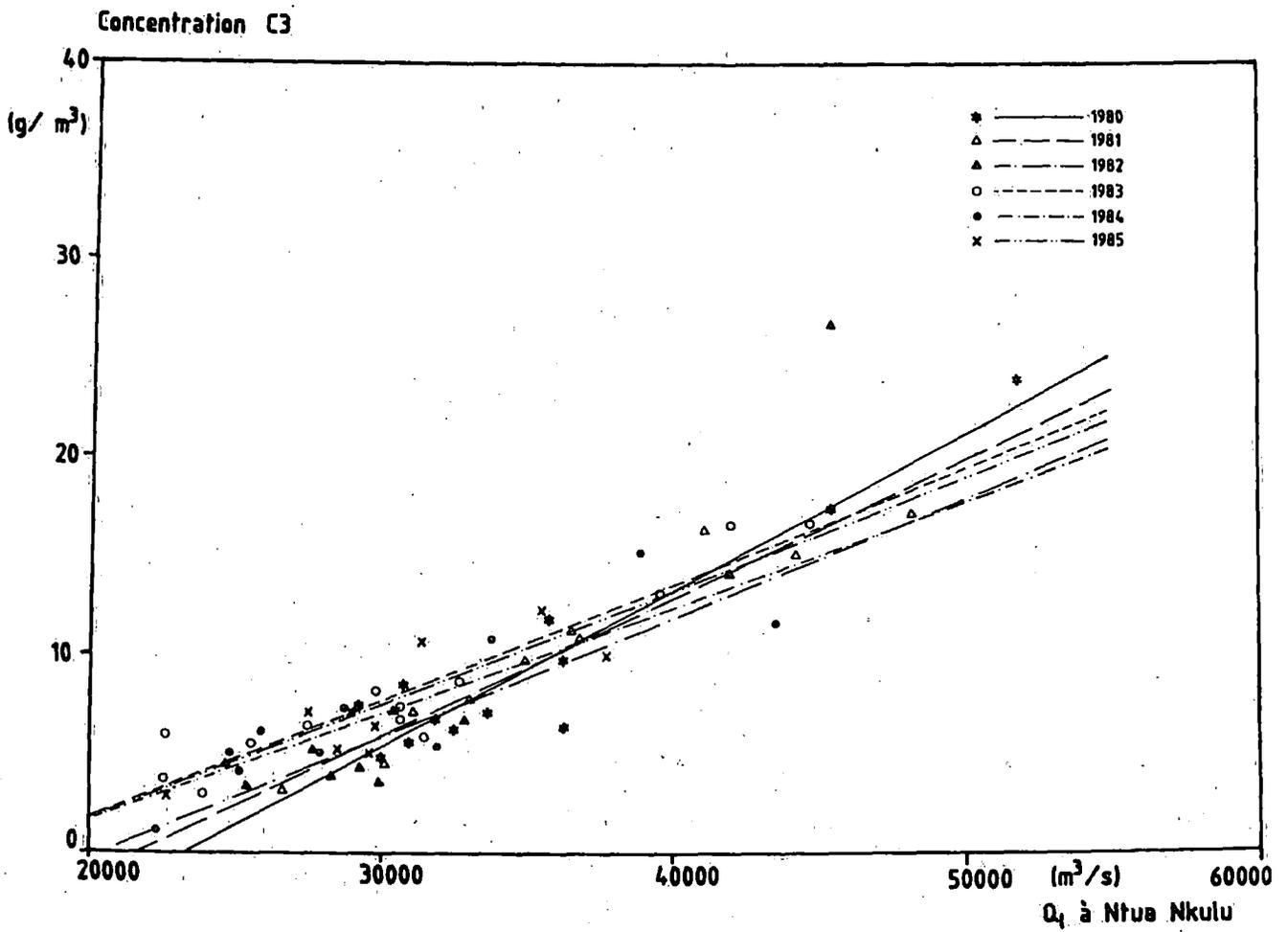


NTUA NKULU
RELATION CONCENTRATION C2 - DEBIT LIQUIDE





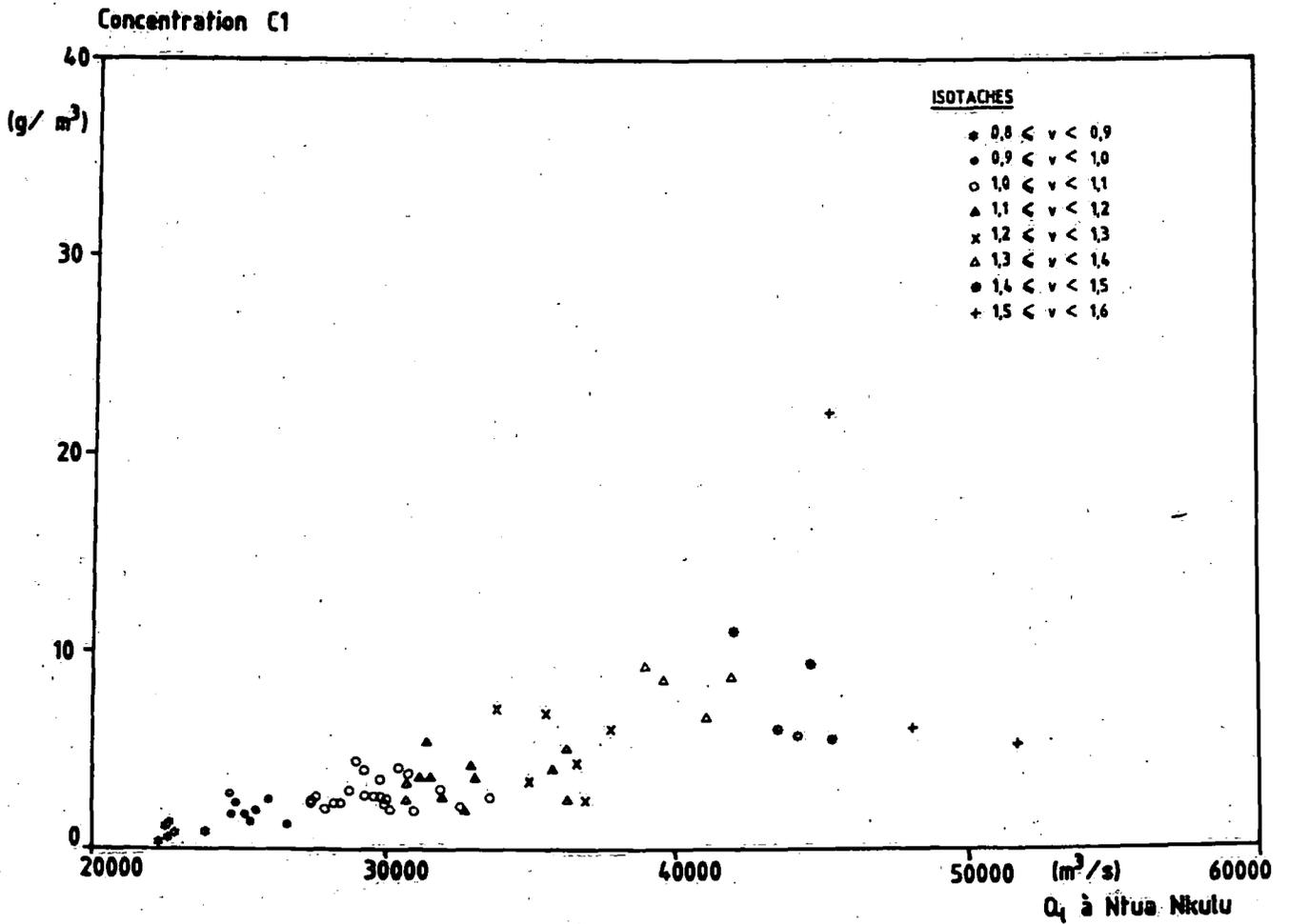
NTUA NKULU
RELATION CONCENTRATION C3 - DEBIT LIQUIDE





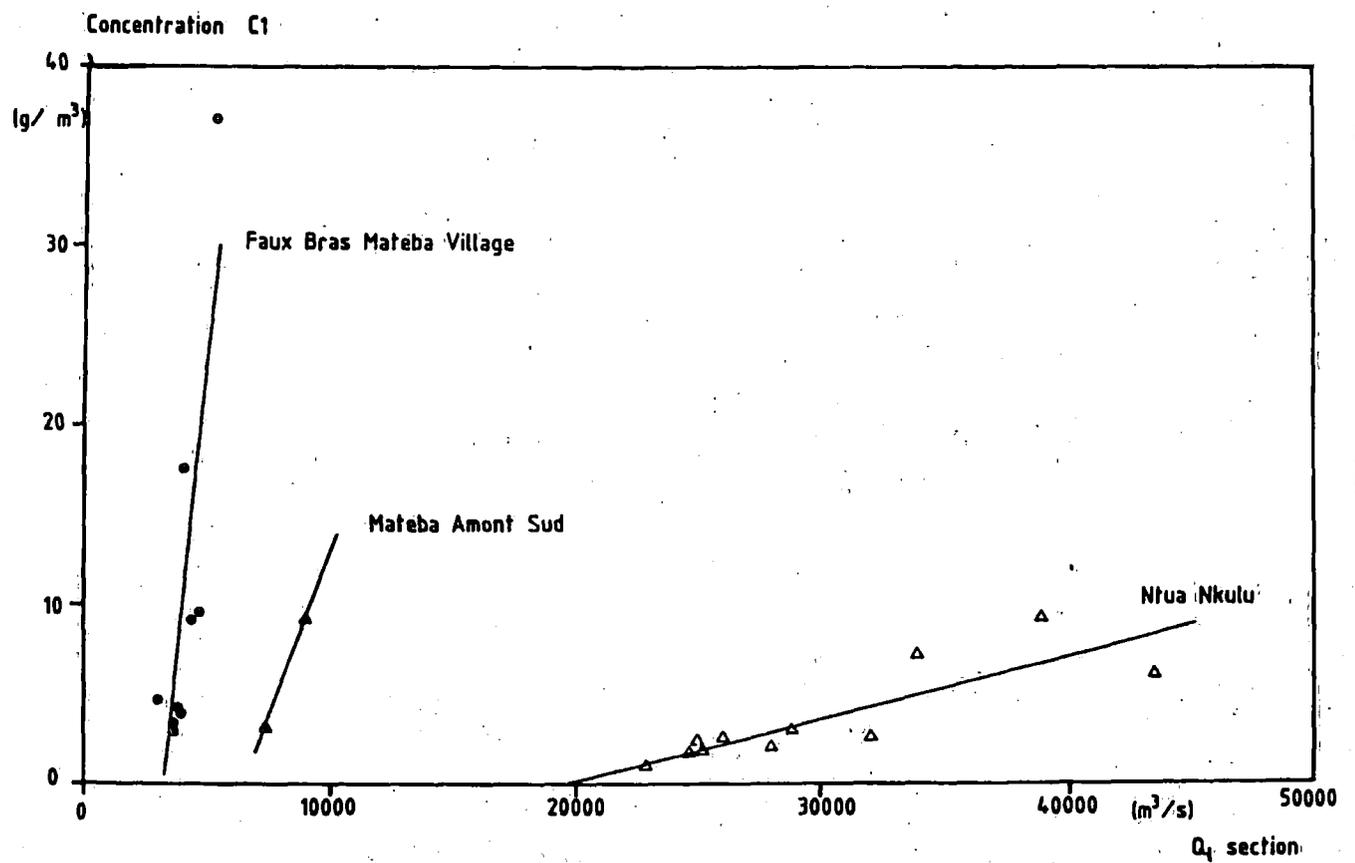
NTUA NKULU

RELATION CONCENTRATION C1 - DEBIT LIQUIDE - VITESSE





RELATION CONCENTRATION C1 - DEBIT LIQUIDE
1984



1. INTRODUCTION

2. PROGRAMME FLOT

- 2.1. Description
- 2.2. Structure du programme
- 2.3. Mode d'emploi
- 2.4. Liste du programme

3. PROGRAMME REGRES

- 3.1. Description
- 3.2. Structure du programme
- 3.3. Mode d'emploi
- 3.4. Liste du programme

1. INTRODUCTION

Cette annexe comprend deux programmes pour calculatrices HP41CV utilisées à la R.V.M.

- Programme FLOT : calcul des débits liquides mesurés aux flotteurs.
- Programme REGRES : calcul des coefficients des lois d'ajustement (régression au sens des moindres carrés).

Pour chaque programme en plus de la description, le mode d'emploi et la liste du programme sont donnés.

2. PROGRAMME FLOT

2.1. Description

Ce programme calcule le débit liquide sur base des données obtenues par flotteurs.

2.2. Structure du programme

Le programme comprend trois parties.

- 1) Questions d'ordre général.
- 2) Questions spécifiques par flotteur.
- 3) Calculs et résultats.

2.3. Mode d'emploi

- XEQ alpha SIZE alpha 050
- Charger le programme et connecter l'imprimante. Si, en cours de calculs, l'imprimante était mise hors service sans être déconnectée, le programme sera arrêté et il sera affiché "NONEXISTENT".
Dans ce cas, déconnecter l'imprimante, éteindre et rallumer la calculatrice (pour effacer le drapeau 21).
- XEQ alpha FLOT alpha.

Les questions suivantes sont posées :

- DATE? J / M / A / jour ENTER, mois ENTER, année R/S
p.ex. 30 / 6 / 1960 R/S
- NOM SECTION? p.ex. BARRAGE R/S
- COEFF. VM/VS? p.ex. 0,91 R/S
- NBR FLOTTRS? (nombre de flotteurs) p.ex. 3 R/S
- FLOTTEUR 1
- T LCEMENT 1? (temps de lancement 1?)
p.ex. 12,12 R/S (=12h12min)
- T RPECHAGE? (temps de repèchage 1?)
p.ex. 12,25 R/S (=12h25min)
- d PARCOUR? (distance parcourue par le flotteur?)
p.ex. 650 R/S (=650m)
- ~~TRAJET~~ 1? (angle entre le trajet du flotteur et la normale à la section)
p.ex. 6 R/S (=6°)
- PROFDEUR 1? (profondeur?)
p.ex. 10,5 R/S (=10,5m)
- DIST. RIVE 1? (distance à la rive)
p.ex. 75 R/S (=75m)

Après introduction de cette dernière donnée; la calculatrice calcule et imprime successivement

- la VIT. CORRIG. (vitesse corrigée)
- le DEB. UN. LGR. (débit par unité de largeur)
- le DEB. PART. (débit partiel entre la verticale et la rive ou la verticale précédente)
- la S. MOU. PART. (section mouillée partielle entre la verticale et la rive ou la verticale précédente)

Vient ensuite FLOTTEUR 2

etc.....

Lorsque les données de la dernière verticale ont été introduites, la calculatrice donnera les mêmes résultats que ceux décrits ci-dessus, plus le DEB. PART. et la S. MOU. PART.. de la dernière verticale à la rive.

Suivent les résultats finals

DEBIT BRUT

DEBIT NET

SECT. MOUILL. (section mouillée)

VIT. MOYEN (vitesse moyenne)

PROFOND. MOY. (profondeur moyenne)

2.4 Liste du programme

01+LBL "FLOT"
 "FLOTTEURS" SF 12
 FS? 21 AVIEM ADV
 FIX 0 CF 29
 "DATE? JINIA" PROMPT
 CLA ARCL Z "I-"
 ARCL Y "I-" ARCL X
 FS? 21 ACA FS? 21
 PRBUF ADV
 "NON SECTION?" AON
 PROMPT FS? 21 ACA
 FS? 21 PRBUF ADV ACFF
 FIX 2 CF 12 SF 29
 CLRG 20 XROH 25,30
 "COEFF. VM/VS?" XEQ 00
 STO 09 XEQ 01
 "LGR. SECTION?" XEQ 00
 STO 01 XEQ 01
 "NBR. FLOTTRS?" XEQ 00
 STO 02 XEQ 01

49+LBL "DETAIL"
 1 ST+ 03 RCL 02
 RCL 03 X>Y? GTO "RIVE"

56+LBL "ERREUR"
 FIX 0 CF 29 ADV
 "FLOTTEUR" ARCL 03
 FS? 21 ACA TONE 9 ADV
 FC? 21 AVIEM FC? 21
 PSE "T. LOCEMENT"
 ARCL 03 "I?" FIX 4
 XEQ 09 STO 04 XEQ 01
 "T. RECHAGE" FIX 0
 ARCL 03 "I?" FIX 4
 XEQ 09 STO 05 XEQ 01
 "d. PARCOUR." FIX 0
 ARCL 03 "I?" FIX 2
 XEQ 00 STO 06 XEQ 01
 "d. TRAJET" FIX 0
 ARCL 03 "I?" FIX 2
 XEQ 00 STO 07 XEQ 01
 "PROFDEUR" FIX 0
 ARCL 03 "I?" FIX 2
 XEQ 00 STO 08 XEQ 01
 "DIST. RIVE" FIX 0
 ARCL 03 "I?" FIX 2
 XEQ 00 STO 09 XEQ 01
 "FLOTTR." FIX 0
 ARCL 03 "I OK?" AON
 FIX 2 PROMPT ASTO X
 SF 29 "H" ASTO Y ACFF
 X=Y? GTO "ERREUR" ADV
 "VIT. CORRIG.=" XEQ 02
 RCL 06 RCL 05 RCL 04
 HNS- 1 E2 * ENTER
 INT 60 * X<>Y FRC
 1 E2 * + / RCL 07
 COS * CLA ARCL X
 "I M/S" XEQ 02 FS? 21
 PRBUF "DEB. UN. LGR.=" XEQ 02 RCL 08 *
 STO 10 CLA ARCL X
 "I M2/S" XEQ 02 FS? 21
 PRBUF "DEB. PART.=" XEQ 02 ENTER X<> 11
 + 2 / RCL 09 ENTER
 X<> 12 - STO 16 *
 ST+ 13 CLA ARCL X
 "I M3/S" XEQ 02 FS? 21
 PRBUF "S. MOU. PART.=" FIX 0 XEQ 02 RCL 08
 ENTER X<> 14 + 2 /
 RCL 16 * ST+ 15 CLA
 ARCL X "I M2" XEQ 02
 FS? 21 PRBUF FIX 2
 GTO "DETAIL"

210+LBL 00
 FS? 21 ACA PROMPT RTN

215+LBL 01
 FS? 21 ACX FS? 21
 PRBUF RTN

221+LBL 02
 FS? 21 ACA FC? 21
 AVIEM FC? 21 PSE RTN

229+LBL "RIVE"
 ADV "RIVE" FS? 21 ACA
 FS? 21 ADV
 "DEB. PART.=" XEQ 02
 RCL 11 2 / RCL 01
 RCL 12 - STO 04 *
 ST+ 13 CLA ARCL X
 "I M3/S" XEQ 02 FS? 21
 PRBUF "S. MOU. PART.=" FIX 0 XEQ 02 RCL 14 2
 / RCL 04 * ST+ 15
 CLA ARCL X "I M2"
 XEQ 02 FS? 21 PRBUF
 FIX 2 ADV "RESULTATS"
 SF 12 FS? 21 ACA ADV
 CF 12 TONE 9 FC? 21
 AVIEM FC? 21 PSE
 "DEBIT BRUT=" FIX 0
 XEQ 02 RCL 13 CLA
 ARCL X "I M3/S" XEQ 02
 FS? 21 PRBUF FC? 21
 STOP "DEBIT NET=" XEQ 02 RCL 00 * CLA
 ARCL X "I M3/S" XEQ 02
 FS? 21 PRBUF FC? 21
 STOP "SECT. MOUILL.=" XEQ 02 CLA ARCL 15
 "I M2" XEQ 02 FS? 21
 PRBUF FC? 21 STOP
 "VIT. MOYEN.=" RCL 15
 FIX 2 XEQ 02 / CLA
 ARCL X "I M/S" XEQ 02
 FS? 21 PRBUF FC? 21
 STOP "PROFOND. MOY.=" XEQ 02 RCL 15 RCL 01
 / CLA ARCL X "I M"
 XEQ 02 FS? 21 PRBUF
 STOP .END.

3. PROGRAMME REGRES

3.1. Description

Ce programme permet de calculer pour différentes séries de données, stockées au préalable, les coefficients des relations suivantes.

- Régressions linéaires

$$y = a + bx$$

linéaire "LIN"

$$y = ae^{bx}$$

exponentielle "EXP"

$$y = a + b \ln x$$

logarithmique "LOG"

$$y = a x^b$$

puissance "POW"

- Régressions polynomiales

$$y = a + bx + cx^2$$

parabolique "PAR"

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

cubique "CUB"

- Régressions multilinéaires

$$Z = a + bx + cy$$

à 2 variables indépendantes "XYZ"

$$T = a + bx + cy + dz$$

à 3 variables indépendantes "XYZT"

Les séries de variables indépendantes ainsi que le type de régression sont laissés au choix de l'utilisateur au cours du programme.

3.2. Structure du programme

1) Initialisation.

2) Stockage de données.

En ajoutant des modules supplémentaires la mémoire de la calculatrice sera agrandie : cela nous permet de stocker plus de données. Le tableau ci-dessous donne le nombre de registres disponibles suivant le fonctionnement avec 0, 1 et 2 modules "X memory" supplémentaires. Le programme nécessite aussi l'utilisation du module "X-functions"

	Nombre de registres disponibles
HP41VC sans "X-memory"	124 registres
HP41CV avec 1"X-memory"	362 registres
HP41CV avec 2"X-mémory"	600 registres

Chaque série de données (x,y,z,t) demande deux registres supplémentaires. Pour une capacité de 600 registres disponibles, le nombre de données enregistrables est limité à :

- pour 5 séries

$$\frac{600}{5} - 2 = 118 \text{ données}$$

- pour 2 séries

$$\frac{600}{2} - 2 = 298 \text{ données}$$

- 3) Choix du type de relation
- 4) Choix des variables indépendantes
- 5) Calcul des coefficients de régression
- 6) Calcul des variables dépendantes à partir des variables indépendantes quelconques.

3.3. Mode d'emploi

3.3.1. Introduction du programme

- Avant l'introduction des cartes magnétiques

- 1) effacer tous les programmes existants de la mémoire de travail par :

XEQ alpha CLP alpha

alpha-nom du (des) programme(s) à effacer-alpha

- 2) garder 50 registres utilisés par le programme

XEQ alpha SIZE alpha 050

- Introduire les deux côtés des cartes magnétiques 1 à 8 et le côté 1 de la carte 9.

3.3.2. Utilisation du programme

- Initialisation XEQ alpha REGRES alpha

- Question posée : INPUT DONE? (introduction des données exécutée?)

Selon le cas répondre par Y (yes-oui) ou N (no-non) et enfoncer la touche R/S

YES : voir ci-dessous à la question WHAT WANTED?

NO : question posée : NAME FILE? (Quel est le nom de la série à stocker ?)

Introduire le nom de la série de données (max. 6 caractères) + R/S

- Questions posée : NUMBER DATA ? (Quel est le nombre de données de cette série ?)

Introduire le nombre + R/S

- Affichage : INPUT = R/S ce qui, signifie que l'introduction de données peut commencer. Chaque donnée sera stockée en utilisant la touche R/S. Pour la correction de fautes éventuelles voir ci-après. Après introduction de la dernière donnée, enfoncer la touche R/S "à vide".

- Question posée : NEW FILE ? (nouvelle série de données à introduire ?)

Répondre par Y R/S ou N R/S.

Si vous avez répondu Y, la question NAME FILE ? sera posée comme ci-dessus.

Si vous avez répondu N le stockage est terminé et la question suivante sera posée :

WHAT WANTED ? - LIN - EXP - POW - LOG - PAR - CUB - XYZ or XYZT?

(Quelle régression désirez-vous ?)

Réponse : au choix LIN, EXP, + R/S.

La formule correspondante est affichée (imprimée) et la question suivante apparaît :

NAME X-BANK

Vous introduisez le nom de la série que vous désirez voir figurer comme variable indépendante + R/S.

Les questions

NAME Y-BANK,

NAME Z-BANK (selon le cas),

NAME T-BANK (selon le cas)

seront posées et les réponses apparaîtront.

3.3.3. Calcul

Pendant le calcul : affichage de la progression des calculs.

Après le calcul : affichages successifs de R^2 , a, b, c et d selon le cas à obtenir après enfoncement de la touche R/S.

Le dernier coefficient étant affiché, on pourra calculer une variable dépendante correspondant aux valeurs introduites des variables indépendantes selon le cas :

X - R/S

X-ENTER - Y - R/S

X-ENTER - Y - ENTER - Z - R/S

Pour tout nouveau calcul avec ou sans nouvelle introduction de données ré-initialiser le programme par XEQ-alpha-REGRES-alpha etc....

En cas de cessation de calculs, enfoncez successivement la touche jaune et C.

3.3.4. Corrections

- En cours de stockage :

Visualisation de p.ex. la 6^{ème} donnée de la série : enfoncez successivement 6 et A.

Correction de la donnée visualisée : introduire la nouvelle valeur et enfoncez C.

Visualisation de la valeur suivante : enfoncez E.

- Correction ultérieure :

Introduire le nom de la série à corriger par alpha-nom de la série-alpha.

Introduire 0 (zéro)

XEQ alpha SEEKPTA alpha;

USER (s'il n'est pas mis!)

Procéder ensuite comme "en cours de stockage".

3.3.5. Effacement d'une série

- Introduire le nom de la série à effacer par alpha - nom - alpha

- XEQ-alpha-PURFL-alpha

3.4 Liste du programme

```

01*LBL "REGRES"
XEQ c FC? 55 CF 21
"INPUT DONE?" AON
PROMPT ASTO X "N"
ASTO Y X=Y?
GTO "STORE"

13*LBL "NEW"
AON XROM 25.09 CF 08
CLRG 50 XROM 25.30
TONE 9 FIX 0
"WHAT WANTED?" AVIEW
PSE "LIN-EXP-POW-"
AVIEW PSE
"LOG-PAR-CUB-" AVIEW
PSE "XYZ OR XYZT?"
AVIEW ADV PROMPT
ASTO X XEQ IND X

37*LBL "PAR"
SF 01 SF 02
"Y=a+bX+cX2" ASTO 26
GTO 00

43*LBL "CUB"
SF 02 "Y=a+bX+cX2+dX3"
ASTO 26 GTO 00

49*LBL "XYZ"
SF 09 "Z=a+bX+cY"
ASTO 26 SF 01 GTO 00

54*LBL "XYZT"
SF 09 SF 10 33 STO 26
"Z=a+bX+cY+dZ"

60*LBL 00
CF 04 AVIEW PSE ADV

65*LBL "AUTO"
"NAME X-BANK?" PROMPT
ASTO 45 "X=" ARCL 45
AVIEW "NAME Y-BANK?"
PROMPT ASTO 46 "Y="
ARCL 46 AVIEW FC? 09
GTO "GO" "NAME Z-BANK?"
PROMPT ASTO 47 "Z="
ARCL 47 AVIEW FC? 10
GTO "GO" "NAME T-BANK?"
PROMPT ASTO 48 "T="
ARCL 48 AVIEW

94*LBL "GO"
ADV CF 21 AOFF 99 E99
STO L CLA RCL 49
VIEW X ARCL 45 XEQ 99
ARCL 46 XEQ 99 FC? 09
GTO "EE" ARCL 47
XEQ 99 FC? 10 GTO "EE"
ARCL 48 XEQ 99
GTO "EE"

```

```

116*LBL 99
RCL 49 XROM 25.43 CLX
XROM 25.23 X<>Y X<>L
X=Y? GTO "H" X<>L
X<>Y CLA RTN

```

```

129*LBL "EE"
FS? 08 GTO b FS? 02
XEQ 55 FS? 02 GTO 01
FS? 01 0 FS? 01 X<>Y

```

```

140*LBL 01
STO 23 ST+ 41 ST+ 01
X+2 ST+ 30 RDN STO 22
ST+ 34 ST+ 03 ST+ 17
X+2 ST+ 40 ST+ 20 RDN
STO 21 ST+ 33 ST+ 07
ST+ 13 X+2 ST+ 38
ST+ 15 RDN STO 20
ST+ 32 ST+ 06 ST+ 09
X+2 ST+ 35 ST+ 10
RCL 20 RCL 21 *
ST+ 36 ST+ 11 ST+ 14
RCL 20 RCL 23 *
ST+ 42 ST+ 02 RCL 21
RCL 22 * ST+ 39
ST+ 16 ST+ 19 RCL 21
RCL 23 * ST+ 43
ST+ 03 RCL 22 RCL 23
* ST+ 44 ST+ 04
RCL 20 RCL 22 *
ST+ 37 ST+ 12 ST+ 18
1 ST+ 25 ST+ 31
ST+ 05 ST+ 49 RCL 25
GTO "GO"

```

```

210*LBL 55
STO 28 X<>Y STO 29
ENTER+ X+2 ENTER+
ENTER+ RCL 29 *
RCL 28 RTN

```

```

222*LBL 22
0 STO 12 STO 18
STO 04 STO 16 STO 19
STO 08 STO 17 1
STO 20 RTN

```

```

234*LBL "H"
ADV "WAIT" AVIEW
FIX 6 SF 27 FS?C 00
GTO d FS? 04 GTO 31
SF 04 RCL 40 STO 20
FS? 01 XEQ 22 0
STO 00 1 STO 21
STO 23 STO 24 RCL 05
ABS STO 22 2 RCL 06
XEQ 15 3 RCL 07
XEQ 15 4 RCL 08
XEQ 15 1 RCL 21 X=Y?
GTO 00 XEQ 16 1
XEQ 17 2 XEQ 17 3
XEQ 17 4 XEQ 17

```

```

280*LBL 00
RCL 05 CHS ST/ 06
ST/ 07 ST/ 08 9
STO 25 XEQ 18 XEQ 18
XEQ 18 2 STO 21
STO 23 XEQ 30 RCL 00
ABS STO 22 3 RCL 01
XEQ 15 4 RCL 02
XEQ 15 XEQ 30 2
RCL 21 X=Y? GTO 00 10
* XEQ 16 2 XEQ 17 3
XEQ 17 4 XEQ 17

```

```

318*LBL 00
XEQ 30 RCL 00 CHS
ST/ 01 ST/ 02 RCL 01
RCL 04 * ST+ 05
RCL 02 RCL 04 *
ST+ 06 RCL 01 RCL 08
* ST+ 09 RCL 02
RCL 08 * RCL 20 +
STO 20 RCL 05 ABS
RCL 06 ABS X=Y?
GTO 00 RCL 05 RCL 06
STO 05 X<>Y STO 06
RCL 09 RCL 20 STO 09
X<>Y STO 20 .4 XEQ 30
XEQ 16 XEQ 30

```

```

362*LBL 00
RCL 05 CHS ST/ 06
RCL 09 RCL 06 *
RCL 20 + STO 20
XEQ 30 GTO 44

```

```

374*LBL 15
ABS RCL 22 X<>Y? RTN
RDN STO 22 RDN STO 21
RTN

```

```

384*LBL 16
ST+ 00 RCL 24 CHS
STO 24 RTN

```

```

390*LBL 17
STO 22 RCL 23 RCL 22
XEQ 14 RCL 21 RCL 22
XEQ 14 X<>Y STO IND 25
X<>Y RCL 23 RCL 22 4
* + STO 25 RDN
STO IND 25 RTN

```

```

410*LBL 14
4 * + STO 25 CLX
RCL IND 25 RTN

```

```

418*LBL 18
RCL IND 25 STO 21 1
ST+ 25

```

423*LBL 21
 RCL 06 XEQ 19 RCL 07
 XEQ 19 RCL 08 XEQ 19
 RTN

431*LBL 19
 RCL 21 * ST+ IND 25 1
 ST+ 25

437*LBL 21
 RTN

439*LBL 44
 RCL 24 RCL 05 *
 XEQ 30 RCL 00 *
 RCL 05 * XEQ 30
 RCL 20 * "DET" X=0?
 GTO 08 RCL 00 10
 STO 23 / FRC RCL 23
 * INT X=0? GTO 00
 STO 25 RCL IND 25
 RCL 01 STO IND 25 X<>Y
 STO 01

470*LBL 00
 RCL 01 RCL 06 *
 ST+ 02 RCL 01 RCL 07
 * ST+ 03 RCL 01
 RCL 08 * ST+ 04
 RCL 00 RCL 23 / INT
 X=0? GTO 00 STO 25
 RCL IND 25 RCL 02
 STO IND 25 X<>Y STO 02

495*LBL 00
 XEQ 30 RCL 02 RCL 01
 XEQ 30 RCL 02 *
 ST+ 03 CLX RCL 02 *
 ST+ 04 RCL 00 FRC
 RCL 23 * X=0? GTO 00
 STO 25 RCL IND 25
 RCL 03 STO IND 25 X<>Y
 STO 03

519*LBL 00
 XEQ 30 RCL 06 XEQ 30
 RCL 03 * ST+ 04
 RCL 20 ST/ 04 RCL 04
 CNS STO 21 XEQ 30
 RCL 05 STO 22 RCL 09
 RCL 08 RCL 07 XEQ 30
 RCL 21 * ST+ 01 CLX
 RCL 21 * ST+ 02 CLX
 RCL 21 * ST+ 03
 RCL 22 ST/ 03 RCL 03
 CNS STO 21 XEQ 30
 RCL 00 STO 22 RCL 04
 RCL 03 XEQ 30 RCL 21
 * ST+ 01 CLX RCL 21
 * ST+ 02 RCL 22
 ST/ 02 RCL 09 RCL 02
 CNS * ST+ 01 RCL 05
 ST/ 01 RCL 42 RCL 02
 * RCL 41 RCL 01 * +

RCL 43 RCL 03 * +
 RCL 44 RCL 04 * +
 RCL 41 X+2 RCL 31 /
 - LASTX RCL 30 - CNS
 / STO 27

602*LBL 31
 RCL 27 "R2" XEQ 88
 RCL 01 "a" XEQ 88
 RCL 02 "b" XEQ 88
 RCL 03 "c" FS? 01
 GTO 10 XEQ 88 RCL 04
 "d"

619*LBL 10
 "f=" ARCL X TONE 9
 AVIEW STOP

625*LBL e.
 XEQ 77 FS? 02 X<>Y
 FS? 02 XEQ 55 FS? 02
 RDH FS? 02 GTO 09
 FS? 01 0

637*LBL 09
 RCL 04 * X<>Y RCL 03
 * + X<>Y RCL 02 * +
 RCL 01 + FS? 02 "Y"
 FS? 02 GTO 10 "Z"
 FS? 10 "T"

657*LBL 10
 XEQ 88 GTO e

660*LBL a
 FS? 08 GTO 20
 GTO IND 26

664*LBL 30
 RCL 00 X<> 10 X<> 00
 CLX RCL 01 X<> 11
 X<> 01 CLX RCL 02
 X<> 12 X<> 02 CLX
 RCL 03 X<> 13 X<> 03
 CLX RCL 04 X<> 14
 X<> 04 CLX RCL 05
 X<> 15 X<> 05 CLX
 RCL 06 X<> 16 X<> 06
 CLX RCL 07 X<> 17
 X<> 07 CLX RCL 08
 X<> 18 X<> 08 CLX
 RCL 09 X<> 19 X<> 09
 RDH RTN

706*LBL "LIN"
 5 "Y=a+bX" GTO 13

710*LBL "EXP"
 6 "Y=ae+bx" GTO 13

714*LBL "LOG"
 7 "Y=a+b.LN.X" GTO 13

718*LBL "POW"
 8 "Y=aX+tb"

721*LBL 13
 SF 08 STO 00 ASTO 08
 SREG 10 TONE 9 AVIEW
 ADV PSE GTO "AUTO"

731*LBL b
 X<>Y XEQ IND 00 Σ+ 1
 ST+ 49 GTO "GO"

738*LBL 07
 LN RTN

741*LBL 08
 LN

743*LBL 06
 X<>Y LN X<>Y RTN

748*LBL d
 RCL 15 RCL 11 RCL 10
 RCL 10 XEQ 11 STO 03
 RCL 12 RCL 11 RCL 10
 RCL 14 XEQ 11 RCL 03
 / STO 04 XEQ IND 00
 STO 06 RCL 15 RCL 14
 RCL 10 RCL 12 XEQ 11
 RCL 03 / STO 05

773*LBL 03
 RCL 04 RCL 12 *
 RCL 05 RCL 14 * +
 RCL 12 X+2 RCL 15 /
 STO 09 - RCL 13
 RCL 09 - / "R2"
 XEQ 88 RCL 06 "a"
 XEQ 88 RCL 05 "b"
 GTO 12

799*LBL 06
 800*LBL 08
 E+X

802*LBL 05
 803*LBL 07
 RTN

805*LBL 11
 * STO 07 RDH *
 RCL 07 - RTN

813*LBL 24
 "Y"

815*LBL 12
 "f=" ARCL X AVIEW
 STOP XEQ 77

821*LBL 04
 GTO IND 00

823*LBL 08
 RCL 05 Y+X GTO 11

827*LBL 06
RCL 05 * EIX

831*LBL 11
RCL 06 * GTO 24

835*LBL 07
LN

837*LBL 05
RCL 05 * RCL 06 +
GTO 24

843*LBL 08
FS? 55 SF 21 "I="
ARCL X AVIEW TONE 9
STOP RTN

852*LBL 20
GTO IND 08

854*LBL 77
ADV FS? 09 X<Y
FS? 10 RCL Z "X="
ARCL X AVIEW FC? 09
RTN "Y=" ARCL Y AVIEW
FC? 10 X<Y FC? 10
RTN "Z=" ARCL Z AVIEW
X<Y Z RTN

877*LBL c
CF 09 CF 10 FIX 2
CF 00 CF 01 CF 02
CF 03 CF 04 CF 27 RTN

888*LBL "STORE"
"STOP" 84 XROM 25,26

892*LBL "FILE"
CF 27 "NAME FILE?" AON
PROMPT AVIEW ASTO 00
ROFF "NUMBER DATA?"
PROMPT 1 + CLA
ARCL 00 XROM 25,11
STO 01 SF 27
"INPUT = R/S" PROMPT

911*LBL A
CF 22 1 - XROM 25,42
XROM 25,23 RTN

918*LBL E
XROM 25,23 RTN

921*LBL C
CF 22 XROM 25,33 1 -
XROM 25,42 RDN
XROM 25,41 RTN

930*LBL "STOP"
FS? 22 VIEW X FS? 22
XROM 25,41 TONE 9
FS?C 22 RTN 99 E99
XROM 25,41 "NEW FILE?"
AON PROMPT ASTO X
ROFF "Y" ASTO Y X=Y?
GTO "FILE" XROM 25,09
CF 27 GTO "NEW" .END.

Annexe 13 - Manutention et maintenance du matériel

W. VERSTRAETE.

1. VERIFICATION ET RECTIFICATION DES SEXTANTS TOPOGRAPHIQUES
 - 1.1. Conditions
 - 1.2. Vérification du grand miroir
 - 1.3. Vérification du petit miroir

2. VERIFICATIONS ET ENTRETIENS COURANTS DES LIMNIGRAPHERS OTT X 25
 - 2.1. Les parties essentielles
 - 2.2. Quelques conseils
 - 2.3. Entretien et vérifications
 - 2.4. Considération
 - 2.5. Pièces de rechange

3. LE MOULINET OTT C 31
 - 3.1. Introduction
 - 3.2. Pièces de rechange
 - 3.3. Vérification du moulinet

4. LA BOUTEILLE DE DELFT DF 1-2
 - 4.1. Informations générale
 - 4.2. Directives pour l'utilisation
 - 4.3. Procédure des calculs du transport de sédiments
 - 4.4. Formulaire standardisé

5. VERIFICATION DES THEODOLITES ET TELEMETRES, TYPE DISTOMAT

1. VÉRIFICATION ET RECTIFICATION DES SEXTANTS TOPOGRAPHIQUES

- 1.1. Un instrument en bon état présente les trois caractéristiques suivantes :
- le grand miroir doit être perpendiculaire au plan du sextant;
 - le petit miroir (miroir de l'horizon) doit également être perpendiculaire au plan du sextant;
 - quand la lecture est "0" au vernier, les deux miroirs doivent être parallèles.

1.2. Vérification du grand miroir

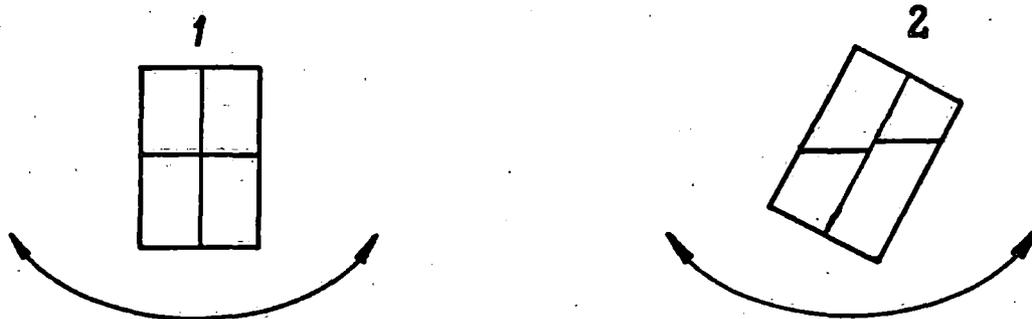
Lorsqu'on observe l'arête directement et par réflexion dans le grand miroir, les deux images doivent être parfaitement dans le prolongement l'une de l'autre.

1.3. Vérification du petit miroir (miroir de l'horizon)

Se basant sur un théorème de la géométrie, nous savons que lorsque deux plans (les deux miroirs) sont parallèles entre eux, si un troisième plan (le plan de l'instrument) se trouve perpendiculaire à un de ces deux plans (le grand miroir), alors ce troisième plan (de l'instrument) est également perpendiculaire à l'autre plan (le petit miroir).

Procédure de rectification

En se servant de l'horizon : viser l'horizon (avec lecture "0"), basculer le sextant, la ligne de l'horizon doit rester une seule droite (1)



Dans le cas contraire (2), il faut régler sa position à l'aide des trois vis sur à l'arrière du petit miroir (souvent une petite vis découverte + 2 petits boulons sous un cache), de telle manière que quel que soit l'angle sous lequel on tient l'appareil, l'horizon reste une droite.

En se servant d'une étoile (la meilleure façon) : quand on vise une étoile, les deux images doivent correspondre parfaitement.

N.B. Tout objet assez éloigné et bien délimité peut servir pour procéder à un réglage du sextant.

2. VERIFICATIONS ET ENTRETIENS COURANTS DES LIMNIGRAPHERS OTT X 25 (figures 1, 2 et 3)

2.1. Les parties essentielles du limnigraphe sont :

- 1) Le tambour avec l'horloge et les roues dentées.
- 2) L'arbre fileté avec la roue à flotteur.
- 3) La tête du transcripteur.
- 4) Le boîtier.
- 5) Le flotteur et le contrepoids.

2.2. Quelques conseils

- En principe, le crayon doit se déplacer de gauche à droite quand le niveau de l'eau monte.
- La longueur du câble sera dimensionnée en considérant ce qui suit : le contrepoids ne doit pas venir buter sur le fond du puits quand le niveau de l'eau est au maximum et ne doit pas buter contre l'appareil en cas d'étiage. Le contrepoids et le flotteur ne devraient pas entrer en contact avec le tube, mais pouvoir cheminer en toute sécurité.
- Il faut veiller que le bord gauche du papier vienne buter contre le rebord gauche du tambour.
La feuille doit être bien tendue après que le listeau ait été pressé contre le tambour et puis bloqué.
- La feuille devrait avoir séjourné auparavant, durant une période d'enregistrement, dans le petit abri contenant le limnigraphe; le papier sera ainsi adapté au degré d'humidité de l'air.

2.3. Entretiens et vérifications

- A chaque changement de feuille, vérifier l'état du câble et de la mine. S'assurer que le fonctionnement de l'appareil se fait sagement.
- En moyenne 2 fois par an : il faut vérifier si l'inversion de courbe se fait au bon moment et sans accroc. Contrôler, à l'occasion l'usure éventuelle, du téton de guidage (pièce 37).
En même temps, mettre une goutte d'huile sur les charnières et le système de fermeture.
- Toutes les années : il faut nettoyer soigneusement, à l'alcool, la tige hélicoïdale. Les rainures doivent être parfaitement propres (ainsi que le téton de guidage). Ne jamais huiler la tige.
- Vérifier aussi les parties mobiles extérieures : roue de flotteur - guidage du câble - poulie de renvoi (si besoin, huiler ou selon le cas, mettre un peu de graisse pour roulement à billes).
- Tous les deux ans : vérification de l'état des joints d'étanchéité - mettre du talc.
Eventuellement, ajuster la friction du tambour si elle est devenue trop molle.
- Tous les trois ou quatre ans : enlever le mouvement d'horlogerie et le faire nettoyer par un horloger compétent (huiler avec l'huile spéciale pour montres uniquement).
Vérifier la bonne position des engrenages horloge-tambour.
- Tous les cinq ans : vérifier l'état du flotteur. Nettoyer à fond l'instrument entier (extérieur et intérieur).

2.4. Considération

Faut-il abandonner le système "câble" et équiper systématiquement tous les appareils avec le système "bande perforée - roue à picots" ?

2.5. Pièces de rechange à avoir de stock en permanence (figures 2 et 3)

- Mouvement d'horlogerie A (27)
- Roues dentées pour arbre d'horloge 8 jours (66)
24 heures (p.e. observation de phénomènes locaux) (64)
- Flotteur O 150 ou 200 mm + contrepoids correspondant
- Câble de flotteur 100 m ϕ 4 mm
- Roue de flotteur p 1/5 (46) 1/10 (47) 1/20 (48)
- Joint d'étanchéité (15)
- Fermeture du boîtier (13)
- Rampe hélicoïdale (métrique) (30)
- Levier porte inscripteur complet avec tige chargée d'un contrepoids(31)
- Doigt de guidage monté complet (37)
- Rondelle ressort (56)
- Bouton moleté (57)
- Vis d'extrémité (58)
- Roue dentée arbre d'horloge + tambour 8 j (71)
24 h (69)
- Mine de crayon (36)

() numéros correspondant aux figures 2 et 3.

3. LE MOULINET OTT C 31

3.1. Introduction

Le moulinet est un instrument important dans le domaine de l'hydrométrie, mais c'est un instrument délicat et quelques précautions sont à prendre quand on s'en sert.

Si malgré toutes les précautions prises, nous doutons des résultats obtenus, il y a lieu de tester l'instrument. Alors il est fortement recommandé de procéder à une vérification du moulinet en fonctionnement et si possible, de le comparer à un moulinet étalonné qui est maintenu dans des conditions optimales qui, en principe, ne sert qu'à l'étalonnage.

L'idéal serait de pouvoir faire ces tests en laboratoire dans un canal d'étalonnage. A défaut de ces moyens, la RVM dispose d'un système qui permet d'effectuer ces tests dans des conditions acceptables, à partir d'une unité hydrographique.

3.2. Pièces à avoir de stock en permanence

- axe;
- gaine;
- joint en caoutchouc pour fiche T;
- Fiche T complète.

3.3. Vérification du moulinet

Les parties susceptibles de subir des déformations sont (voir figures 4 et 5) :

- 1) l'axe (6)
- 2) la gaine dans laquelle l'axe est logé (4)
- 3) les roulements à billes (7)

Si nous examinons ces éléments, nous pouvons pratiquement conclure, avec certitude, conclure que le moulinet donnera des résultats satisfaisants ou non.

1) Vérification de l'axe

Voir si l'axe n'est pas déformé (p.ex. plié légèrement).

Tenir l'ensemble hélice-axe en main verticalement, faire tourner l'axe. Le moindre mouvement latéral indique une courbure de l'axe, d'où peuvent découler des erreurs.

La seule réparation valable : remplacer l'axe.

2) Vérification de la gaine

On prend le moulinet par l'axe, l'hélice vers le bas. Faire tourner l'hélice. Le moindre mouvement latéral indique une déformation de la gaine. Seule réparation valable : remplacement.

3) Les roulements

Ils ne s'usent pratiquement pas. Si néanmoins, nous constatons des grincements lorsqu'on fait tourner le moulinet, nous devons laver les roulements à l'essence pure.

Si après remontage, nous constatons encore des anomalies, il faut procéder au remplacement.

Lors de l'assemblage, faire attention de monter les roulements (7a) dans le bon sens. Mettre en place correctement l'écrou moleté (11) et le serrer à fond.

Le moulinet constitue un instrument de mesure de précision. Une manipulation minutieuse est nécessaire pour assurer la précision des mesures.

4. BOUTEILLES DE DELFT DF 1-2

4.1. Informations générales

Applications

Elles servent à mesurer le sédiment transporté en rivière et autres cours d'eau, à partir de la surface jusqu'à 0,05 m au-dessus du lit de la rivière.

Principe

L'eau qui contient le sédiment coule à travers un échantillonneur en forme de bouteille. Par la forme de l'appareil, une basse pression est créée à l'arrière de la bouteille. Grâce à cette technique l'eau rentre dans l'embout avec pratiquement la même vitesse que les courants avoisinants non perturbés. Une très nette perte de vitesse dans la volumineuse chambre d'échantillonnage, y fait décanter les sédiments (fig. 6).

Possibilités

Il y a deux applications :

- a) Suspendue à un câble ou filin, pour toutes les profondeurs variant de la surface jusqu'à 0,4 m au-dessus du fond (fig. 7.1).
Une dérive maintient l'embout dans le courant.
- b) Montée dans un cadre posé sur le fond de la rivière pour les hauteurs variant de 0,05 à 0,35 m au-dessus du lit (fig. 7.4).
L'inclinaison du corps nécessite l'emploi d'un embout courbé.

Pour les deux applications, le même corps de bronze est employé. Ce corps est divisé à l'intérieur en trois compartiments. La prolongation conique de l'embout pénètre dans le compartiment central.

Le corps peut être employé avec quatre embouts différents : deux droits et deux courbés.

Pour les mesures dans de faibles courants, l'embout de diamètre intérieur de 2,2 cm, de section 3,8 cm² peut être employé.

Accessoires

Entonnoir et support pour recueillir le sable de la bouteille (fig. 7.2b). Six verres gradués de 60 ml. Tournevis, pince universelle, 2 clés plates 14 x 17, deux modes d'emploi.

Pièces de réserve

Une vis A (fig. 6), 4 boulons + écrous longs, 4 boulons + écrous courts pour le cadre, 4 joints caoutchouc ronds pour l'entonnoir. Le tout, cadre exclu, emballé dans une caisse (fig. 7.3).

Caractéristiques

Corps d'échantillonnage suspendu avec embout et dérive de longueur 1,165 m, diamètre 0,195 m, poids 20 kgs.

La distance minimum entre le davier et le bastingage est de 1 m.

Le corps d'échantillonnage monté dans le cadre présente une longueur de 1,55 m, la hauteur du cadre est de 0,85 m et la largeur de 0,90 m. Le poids ainsi est de 66 kgs et la distance requise entre davier et bastingage est de 1,5 m plus une poutre de renvoi éventuel et compteur de profondeur.

Le poids de l'instrument dans sa caisse (sans cadre) est de 42 kgs.

Le cadre pèse 50 kgs.

Etendue des mesures

Vitesse du courant jusqu'à 2,5 m/s.

Sable : tous les diamètres excédant 0,05 mm (50/μ)

Avantages

- 1) Grâce au principe "flow-through" une grande quantité de sédiments est prise en considération; l'échantillonnage est une mesure directe du transport.

- 2) L'instrument est mécaniquement simple, solide et peut être employé à n'importe quelle profondeur.

Désavantages

- 1) Nécessite un davier avec treuil à cause du poids de l'ensemble.
- 2) Le calcul des résultats exige une mesure de vitesse simultanément afin de pouvoir appliquer les coefficients de calibration.

4.2. Directives pour l'emploi

Comme mentionné plus haut, la bouteille de Delft 1-2 peut être employée de deux façons. Suspendue à un câble ou bien fixée dans un cadre reposant sur le fond de la rivière.

Pour les deux applications, le même corps de bronze est utilisé.

Si elle est suspendue à un câble, la base courte en inox doit être fixée à l'arrière en haut, au moyen d'une vis prévue spécialement (voir fig. 7.1 et 8.3).

Puis suspendre la DF 1-2 au davier, visser l'embout sur la bouteille, attacher le gouvernail à l'arrière en faisant attention de le fixer convenablement avec la vis moletée.

Pour utilisation dans le cadre, fixer le corps de bronze sur le large plat en inox, placer le tout dans la position désirée et l'immobiliser dans cette position au moyen de la goupille chaînée.

Pour les mesures à 0,05 - 0,15 - 0,25 - 0,35 m au-dessus du fond, prendre l'embout courbé.

Embout de grand diamètre : à employer seulement dans des courants atteignant max. 1 m/s. Aucune des quatre ouvertures dans le couvercle de derrière ne peut être fermée.

Embout de petit diamètre : peut être employé dans des courants allant jusqu'à 2,5 m/s. Les deux ouvertures en bas dans le couvercle de derrière doivent être fermées avec les bouchons en caoutchouc.

Conseils pratiques

Commencez les mesures avec l'embout de petit diamètre.

Bien que la prise soit plus petite qu'avec l'embout de grand diamètre, la précision sera meilleure suite à des facteurs de correction plus petits et suite au fait que les pertes pendant la remontée seront négligeables.

Dans la plupart des cas, un temps de mesure de 5 minutes assure une prise suffisante. Si la prise avec le petit embout est insuffisante et si un doublement du temps de mesure n'est pas indiqué (eaux soumises à la marée), on peut employer l'embout de grand diamètre si la vitesse du courant est plus petite que 1 m/s.

Quand le temps de mesure s'est écoulé, la DF doit être remontée. La vitesse de remontée se situe entre 10 à 20 cm/s. Une remontée plus rapide cause des pertes de sédiments.

Mise à l'eau pour une mesure

- Descendez la bouteille dans le courant.
- Arrêtez dès qu'elle est complètement submergée. La bouteille s'incline vers l'arrière à cause de l'air qu'elle contient. L'air s'échappe de l'embout par les petites ouvertures en haut à l'arrière.
- La ventilation peut être accélérée en montant le gouvernail de la bouteille avec une gaffe.
- Attendez que la bouteille se mette à l'horizontale.
- Mettez le compteur de profondeur à zéro.
- Descendez la DF rapidement pour atteindre le point de mesure ou le fond.
- Actionnez le chronomètre.

Après déroulement du temps de mesure

- Arrêtez le chronomètre.
- Remontez l'instrument, pas plus vite que 20 cm/s. Dès que la DF fait surface, elle s'incline légèrement vers l'avant évitant ainsi une perte de sable par les ouvertures dans le couvercle de derrière.
- Ramenez l'appareil à bord et manœuvrez l'arrière au-dessus de l'entonnoir.
- Ouvrez le couvercle avec le gouvernail comme levier.

- Videz le contenu des compartiments dans l'entonnoir.
- Très important : bien rincer les compartiments avec un tuyau d'arrosage à basse pression. L'emploi d'un seau d'eau, jeté dans la bouteille pour enlever tout le sable est à déconseiller formellement.
- Préparez la DF pour une mesure suivante; en faisant attention de bien fermer le couvercle à l'arrière.
- Laissez décanter la prise dans le verre gradué attaché à l'entonnoir.
- Détachez le verre de l'entonnoir et lisez la quantité de sable recueilli.

L'entonnoir (fig. 7.2b)

Montez l'entonnoir à bord du navire ou bien hors bord de façon à ce que la DF 1-2 puisse y être vidée facilement quand elle est suspendue au davier. Le verre gradué peut être facilement monté et démonté de l'entonnoir quand pendant cette opération le verre est légèrement tourné autour de son axe.

4.3. Procédure des calculs du transport de sédiments

Données requises

- Profondeur totale.
- Distribution des vitesses sur la verticale.
- Profondeur à laquelle la mesure a été effectuée.
- Temps de mesure.
- Quantité de sable recueilli.
- Diamètre moyen du sable.

Calcul

La plupart du temps, les mesures sont effectuées sur les verticales où on détermine simultanément les vitesses, dans des sections en travers bien connues des rivières.

Pour chaque verticale, on prend de préférence un formulaire (voir 4.4.).

A part des informations générales, les quantité, profondeur, vitesse du courant, temps de mesure sont notés sur le formulaire.

Le diamètre médian du sable peut être déterminé :

- en comparant avec une latte d'échantillon standard (rapide mais approximatif)
- au moyen d'un tube de sédimentation (précis et assez rapide)
- en séchant et tamisant (précis mais lent)

Dès que nous connaissons le diamètre médian du sable et la vitesse du courant, le facteur de correction par lequel nous devons multiplier la prise, peut être déterminé dans les tables (voir page 13).

Ce facteur est en rapport avec le coefficient des pertes et le coefficient hydraulique.

Le coefficient de perte est le rapport entre le volume total qui entre par l'embout et la partie qui décante dans la DF.

Le coefficient de perte croît avec une augmentation de la vitesse du courant et la finesse du sable.

Le coefficient hydraulique est le rapport du débit par l'embout fixé sur l'appareil et le débit par l'embout non fixé sur l'instrument.

Evidemment, toutes les prises de sable sont recalculées pour un même temps de mesure.

Si nous avons effectué une quantité suffisante de mesures sur une verticale, le transport peut être obtenu par intégration.

Connaissant le transport dans les différentes verticales d'une section en travers, le transport total dans la section est calculé de la même façon.

Facteurs de correction

Emploi avec embout droit											
diamètre médian du sable (µm) vitesse de courant cm/s	Petit embout (section 1.9 cm ²)					Grand embout (section 3.8 cm ²)					
	50-85	80-110	100-130	125-200	200-400	50-85	80-110	100-130	125-200	200-400	
0- 25	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	
25- 50	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	
50- 75	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.1	1.0	1.0	1.0	
75-100	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.6	1.2	1.0	0.9	0.9	
100-125	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	1.9	1.3	1.1	1.0	0.9	
125-150	1.4	1.0	0.9	0.9	0.9	-	1.6	1.2	1.0	1.0	
150-175	1.5	1.1	1.0	0.9	0.9	-	-	1.3	1.1	1.0	
175-200	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9	-	-	1.6	1.3	1.2	
200-225	1.9	1.3	1.0	0.9	0.9	-	-	-	1.6	1.4	
225-250	2.0	1.4	1.1	0.9	0.9	-	-	-	-	-	

Embout courbé											
diamètre médian du sable (µm) vitesse de courant cm/s	Petit embout (section 1.9 cm ²)					Grand embout (section 3.8 cm ²)					
	50-85	80-110	100-130	125-200	200-400	50-85	80-110	100-130	125-200	200-400	
0- 25	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	
25- 50	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	
50- 75	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.4	1.1	1.0	0.9	0.9	
75-100	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8	1.5	1.1	1.0	0.9	0.8	
100-125	1.2	0.9	0.9	0.8	0.8	1.8	1.3	1.1	0.9	0.9	
125-150	1.3	1.0	0.9	0.8	0.8	-	1.5	1.1	1.0	0.9	
150-175	1.4	1.1	0.9	0.9	0.8	-	-	1.2	1.0	1.0	
175-200	1.6	1.2	1.0	0.9	0.8	-	-	1.5	1.3	1.1	
200-225	1.8	1.3	1.0	0.9	0.8	-	-	-	1.5	1.3	
225-250	1.9	1.4	1.0	0.9	0.8	-	-	-	-	-	

4.4. FORMULAIRE STANDARD BOUTEILLE DE DELFT SUSPENDUE

DIVISION ou SECTION : Laboratoire hydr. Delft DATE : 30 juin 1967 OBSERVATEUR : Haydrill		RIVIERE : Rhin SECTION : 6 VERTICALE : 2		PROFONDEUR : 3,5 m EMPLACEMENT DE LA SECTION : km 1214 POSITION DE LA VERTICALE : 60 m de la rive	
Temps (heures)	9.30	10.00			
Profondeur de mesure (m)	-1.00	-2.00			
Vitesse du courant (m/s)	1.20	1.00			
Temps de mesure (min.)	9	12			
Prise (cm ³)	15	25			
Diamètre médian du sable (um)	140	150			
Facteur de correction	0.9	0.9			
Prise corrigée (cm ³)	13.5	22.5			
Section de l'embout (cm ²)	1.9	1.9			
Prise corrigée par heure et par cm ²	47	59			

5. VERIFICATION DES THEODOLITES ET DISTANCOMETRES TYPE DISTOMAT

Une vérification régulière du bon fonctionnement est indispensable. La meilleure façon de vérifier le théodolite consiste à effectuer la mesure complète d'un angle connu avec deux ou trois répétitions et chaque fois avec un calage comprenant une visée "cercle à gauche" et une visée "cercle à droite".

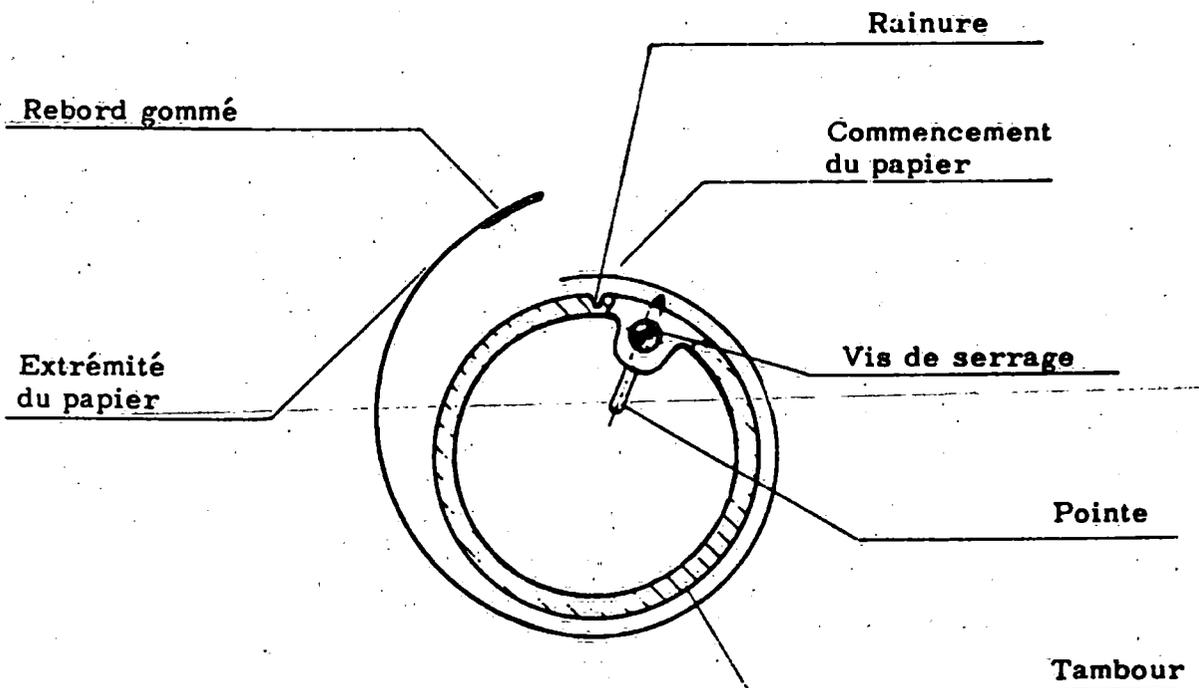
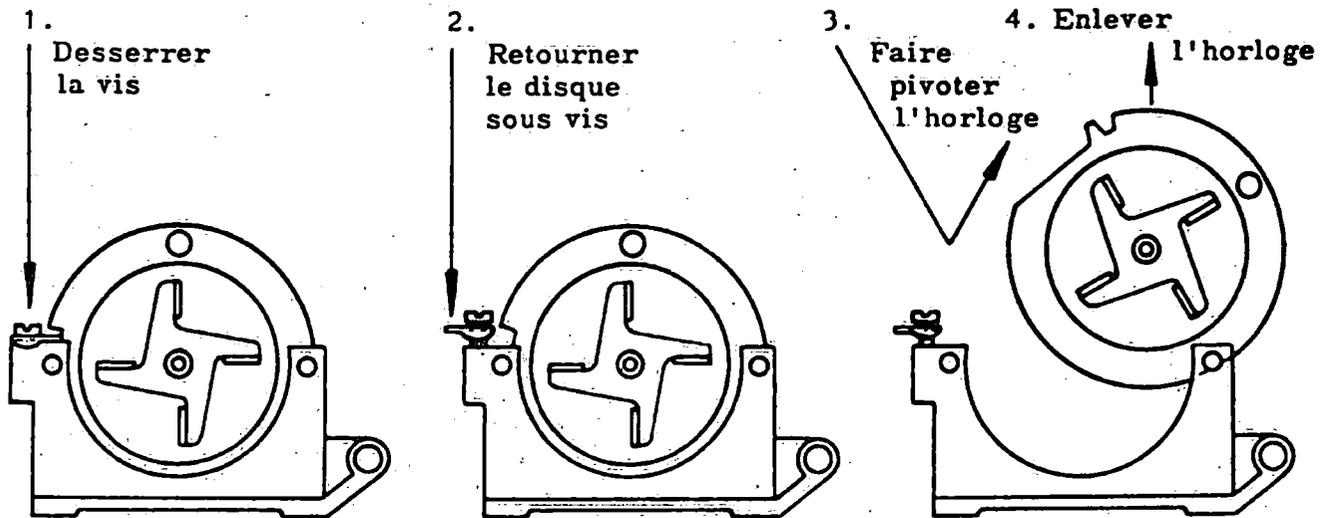
Pour le distancemètre, le meilleur étalonnage consiste à effectuer la mesure d'une distance connue par triangulation.

Eventuellement la RVM peut aussi étudier ce problème avec l'IGZ pour vérifier si une base géodésique, dont la longueur est très justement connue, ne peut être employée régulièrement.

Quand on trouve qu'un instrument est déréglé, cet instrument doit être envoyé au constructeur vu le fait que tous les appareils modernes sont "blindés" c'est-à-dire que tous les réglages sont exécutés en usine et bloqués ensuite par du personnel spécialisé.

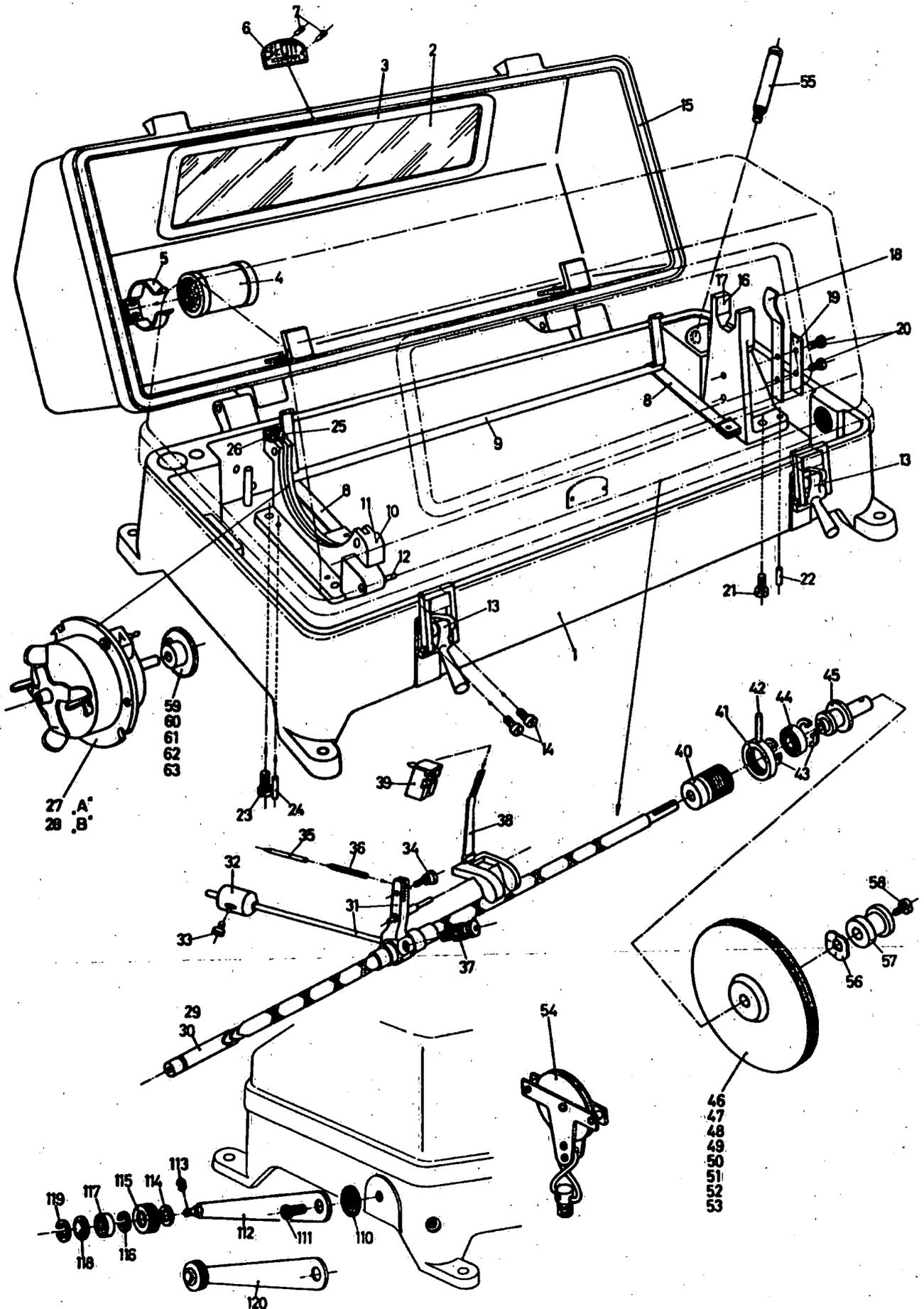


INSTRUCTION POUR LE MONTAGE ET LA MISE
EN SERVICE DU LIMNIGRAPHÉ OTT TYPE X





PIECES DE RECHANGE POUR LIMNIGRAPHE OTT TYPE X





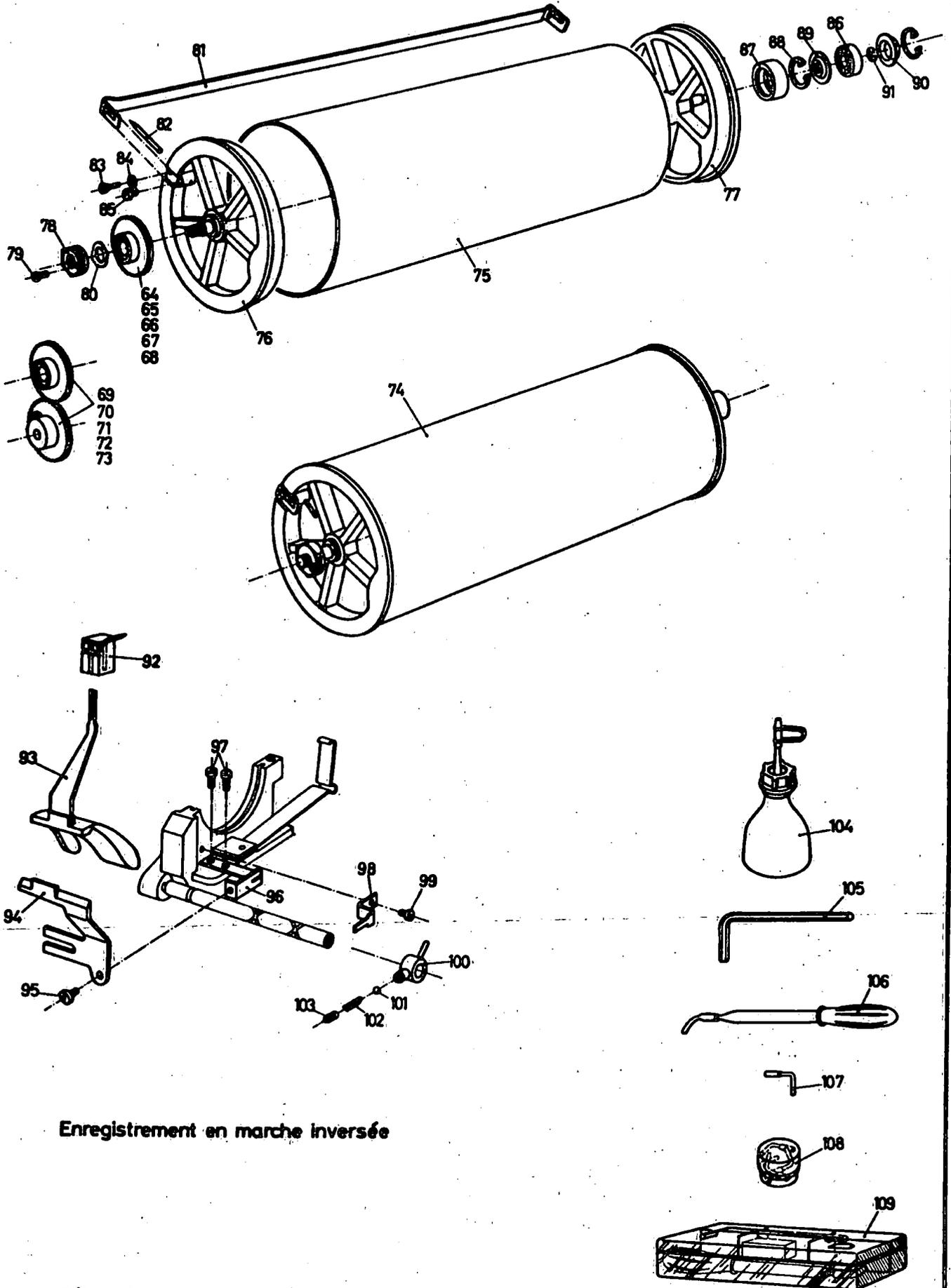
LABORATOIRE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES

MOD. 255

BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

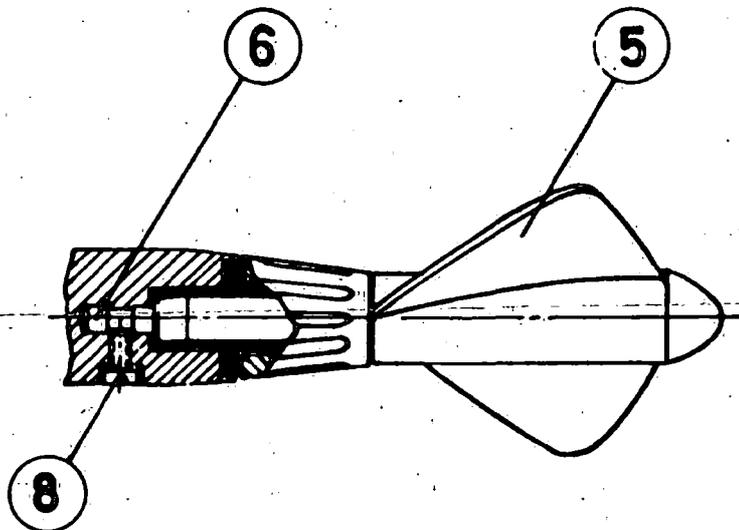
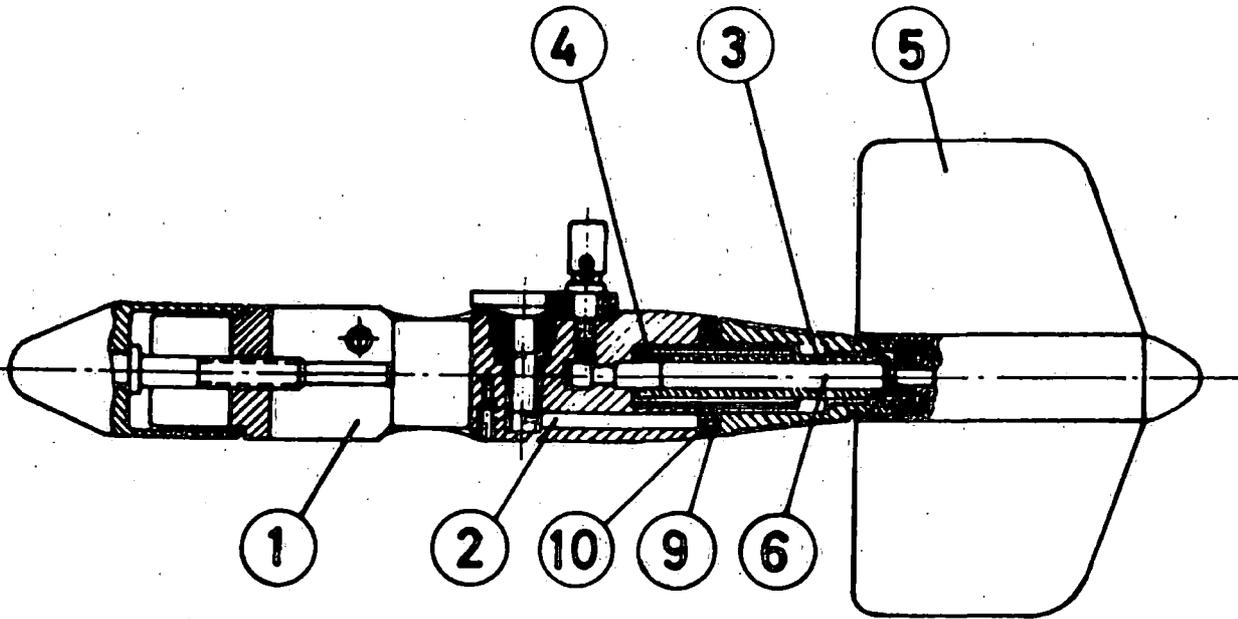
Figure 3

PIECES DE RECHANGE POUR LIMNIGRAPHE OTT TYPE X SUITE



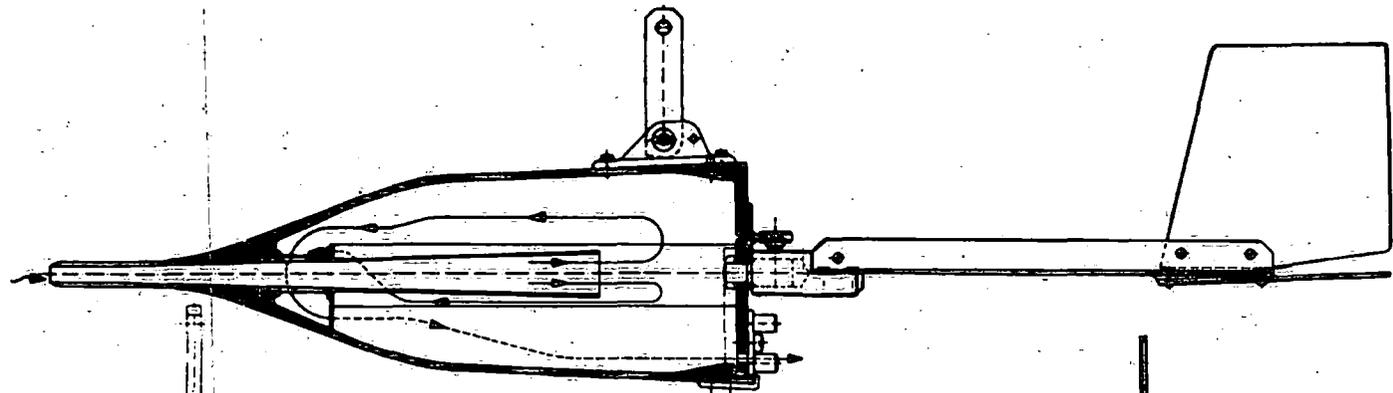


MOULINET UNIVERSEL DE MESURE OTT TYPE C31

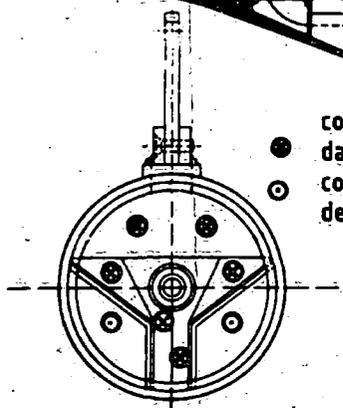


BOUTEILLE DE DELFT DF1
SCHEMA DE LA TRAVERSEE DES COURANTS

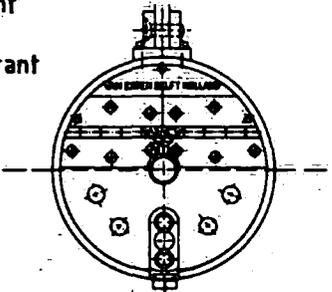
COUPE EN TRAVERS



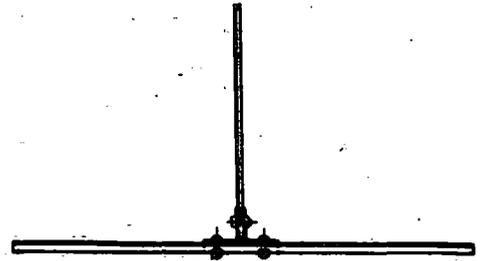
● courant avant
dans l'image
○ courant sortant
de l'image



Arrière sans couvercle



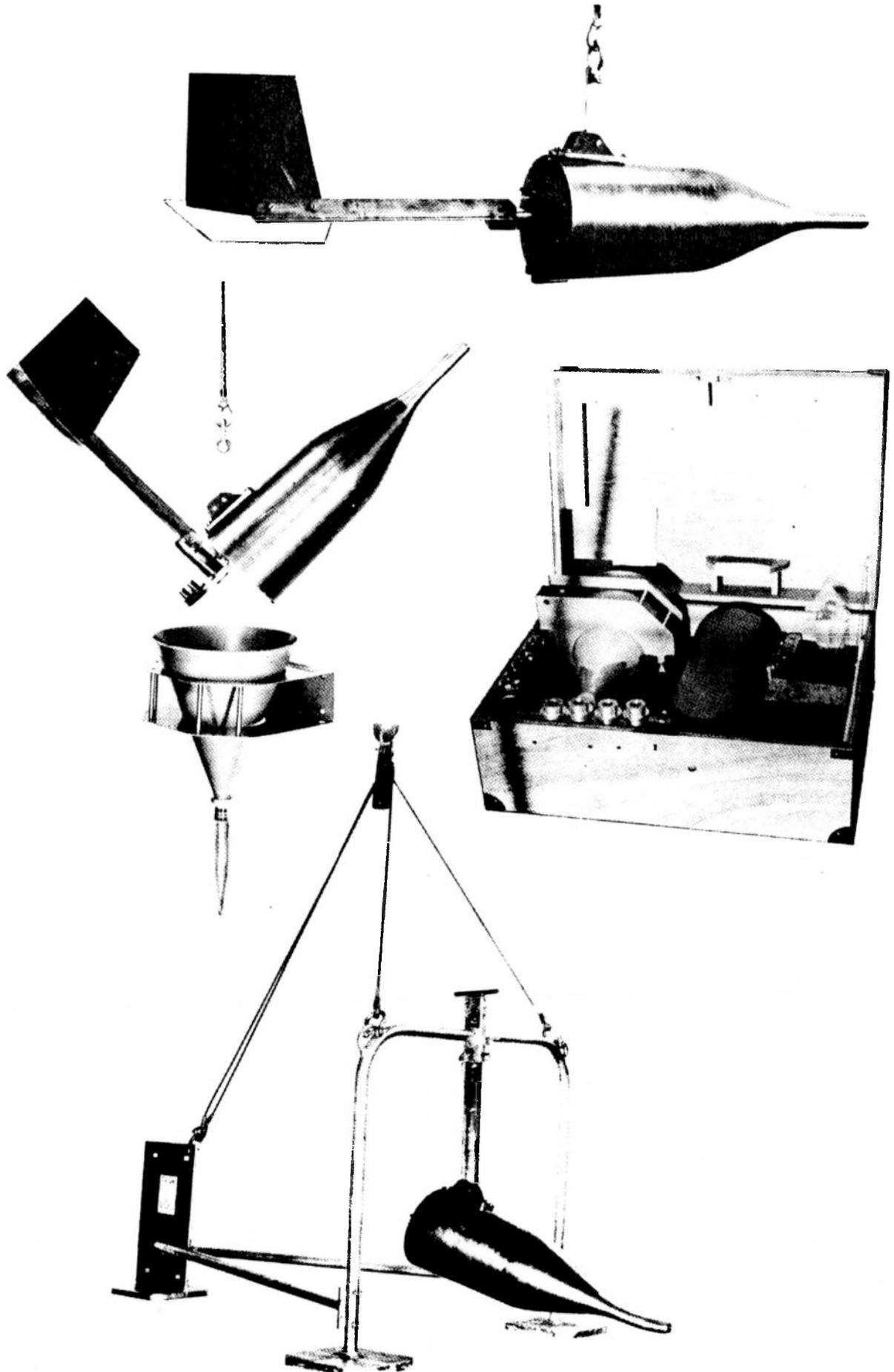
Arrière couvercle fermé



Gouvernail

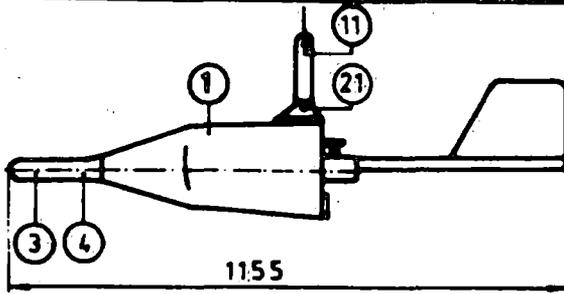


BOUEILLES DE DELFT DF12 SUR CHARRIOT
ET SUSPENDUES A UN CABLE





BOUTEILLE DE DELFT POUR LA MESURE DE MATIERES EN SUSPENSION



DF.1.2 Suspendue à un câble.

Fig. 8.3

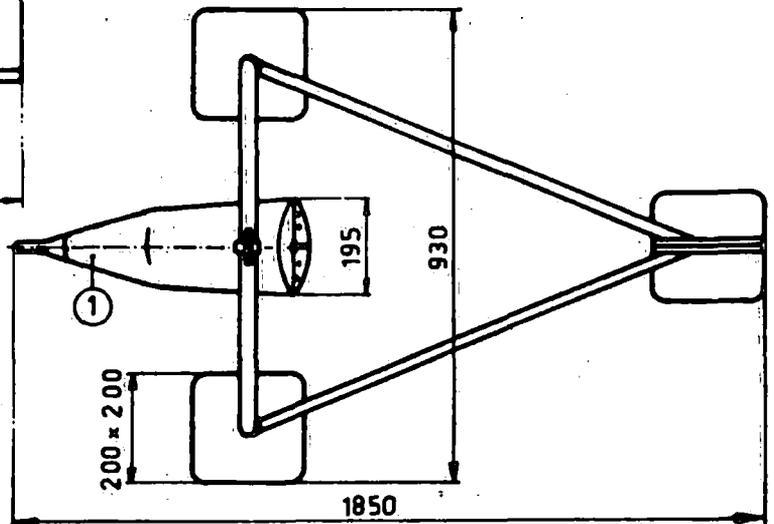
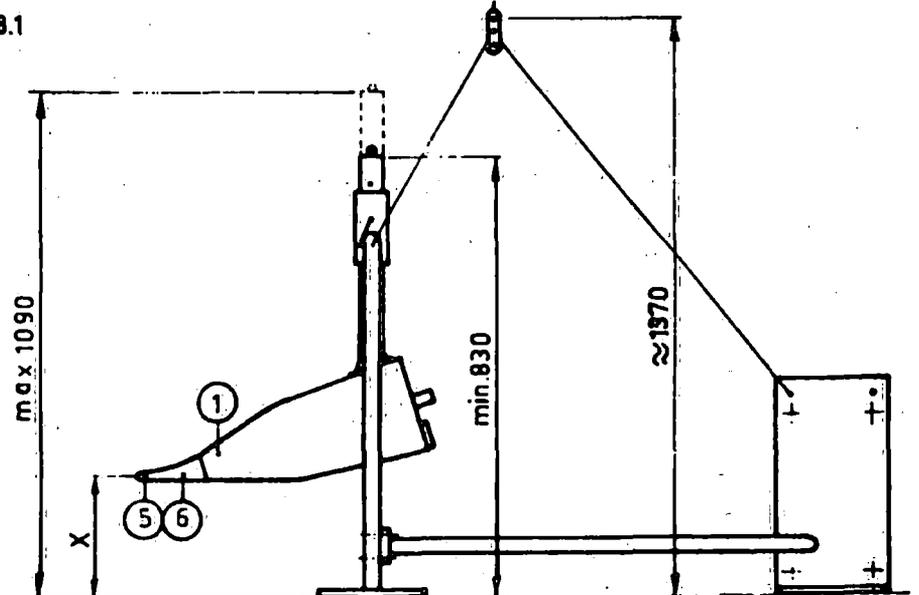


Fig. 8.1



X = 5 - 15 - 25 - 35 cm du fond

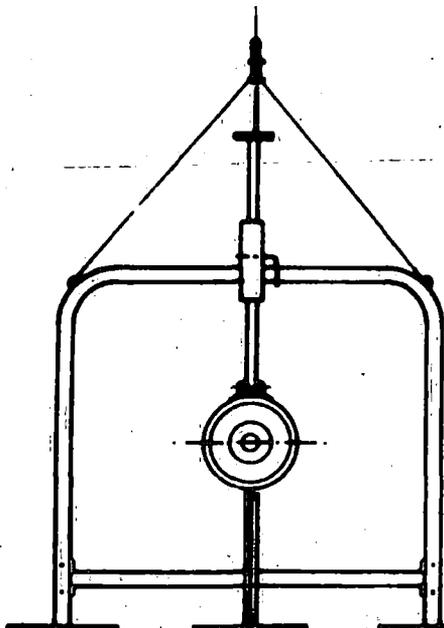
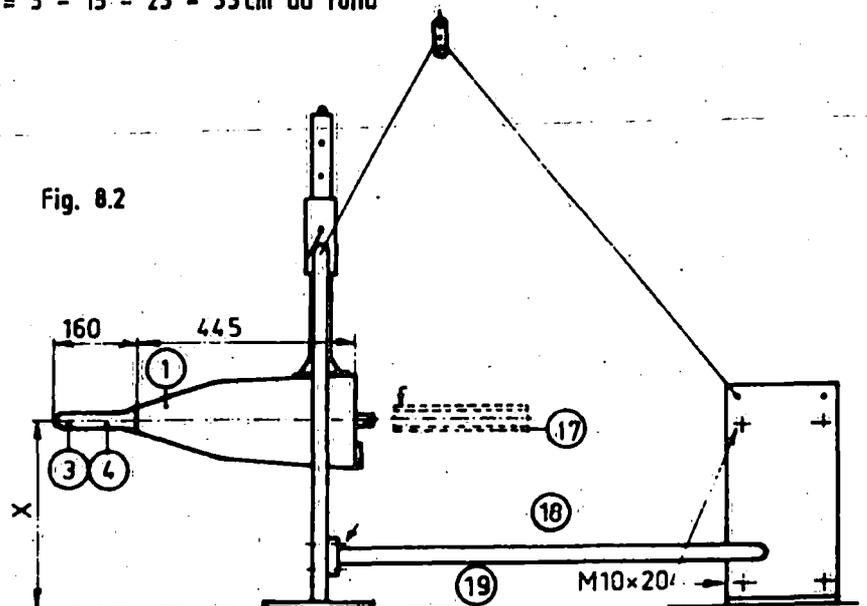


Fig. 8.2



Annexe 14 - Campagne de sondages géotechniques : mise à disposition
d'un ponton de forage par la Régie des Voies Maritimes

R. CLAUSE.

1. GENERALITES
2. CARACTERISTIQUES DU PONTON, DE SON EQUIPEMENT ET SERVICES
 - 2.1. Le ponton
 - 2.2. L'équipement du ponton
 - 2.3. La conduite du ponton
 - 2.4. L'embarquement et le débarquement du matériel lourd
3. POSSIBILITES EXISTANT A LA REGIE DES VOIES MARITIMES
 - 3.1. Le ponton
 - 3.1.1. L'ancien ponton de forage
 - 3.1.2. Le ponton drague "BENGAMISA"
 - 3.1.3. La réalisation d'une plate-forme par accouplement de 2 chalands
 - 3.2. L'éclairage
 - 3.3. Le compresseur
 - 3.4. L'embarquement et le débarquement du matériel lourd
4. MARNAGE
5. VITESSES DU COURANT
6. CONSIDERATIONS

CAMPAGNE DE SONDAGES GEOTECHNIQUES

PONTON DE FORAGE

1. GENERALITES

Du fait des études futures à réaliser dans le cadre de l'amélioration de la navigabilité dans la région divagante du fleuve ZAIRE, une prospection géotechnique est nécessaire dans l'entièreté des passes divagantes.

Il est donc utile d'examiner les possibilités de la Régie des Voies Maritimes de mettre à disposition de l'entreprise de prospection un ponton de forage, son équipement et les services qui en découlent.

2. CARACTERISTIQUES DU PONTON, DE SON EQUIPEMENT ET SERVICES

2.1. Le ponton

Il doit recevoir :

- la machine de forage : dimensions utiles : 9 m x 2,50 m;
- un container : dimensions utiles : 5,50 m x 2,50 m;
- un compresseur;
- un abri pour le personnel.

Ce matériel devra pouvoir être installé dans une disposition telle qu'elle laisse la place nécessaire pour l'exécution des activités de forage.

2.2. Equipement du ponton

Le ponton doit être pourvu :

- d'un orifice de \varnothing 500 mm au moins pour le forage;
- de dispositifs d'ancrage pour la machine de forage;
- d'au moins deux béquilles (pieds) actionnées hydrauliquement ou électriquement, de 15 et si possible 20 m de longueur, pour le rendre indépendant du courant et des fluctuations de niveau;
- d'un éclairage suffisant pour la réalisation des activités de forage la nuit si nécessaire;

- d'un compresseur ayant les caractéristiques suivantes :

- alimentation : moteur diesel;
- pression effective normale de travail : 7 bars;
- débit de 7 à 9 m³/min. à 7 bars;
- branchement de sortie d'air prévue pour 2 conduites d'air au moins.

2.3. Conduite du ponton

Le ponton doit être autonome ou mu par un bateau pousseur. Le déplacement du ponton doit être possible avec une profondeur d'eau minimale de 1,50 m.

2.4. Embarquement et débarquement de la machine de forage et du matériel lourd, notamment sur les îles.

3. POSSIBILITES EXISTANT A LA REGIE DES VOIES MARITIMES

3.1. Le ponton

3.1.1. L'ancien ponton de forage

Construit ou aménagé en 1959, le ponton de forage actuellement échoué le long de la rive gauche du fleuve, en aval du chantier naval (photo 1.), n'a jamais été utilisé en raison, semble-t-il, de difficultés rencontrées dans le fonctionnement du système hydraulique.

Ses caractéristiques relevées sur place sont :

- longueur : 13 m, largeur : 9 m;
- pourvu d'un puits de ϕ 450 mm pour tube de forage (photos 2 et 5);
- équipé de 4 pieds (béquilles) de stabilisation de 20 m de longueur, les vérins de commande ont été enlevés et utilisés ailleurs par la Régie des Voies Maritimes (photos 3 et 4);
- comporte un portique de levage de 15 T de capacité, de 3,98 m entre rails de roulement et de \pm 3,20 m de largeur libre (photos 5 et 6).

Aucun autre renseignement n'a pu être obtenu à la R.V.M. au sujet de ce ponton qui n'est pas repris à son inventaire des unités flottantes car, bien que mis à sa disposition depuis sa construction, il appartient au Laboratoire des Travaux Publics du Zaïre.

Les renseignements complémentaires obtenus auprès du Commissariat Maritime à Boma, situent sa mise en service en 1934, signalent qu'il est constitué de 2 pontons de 13 m x 4,50 m assemblés entre eux.

Cette structure apparaît effectivement (photo 7) ce qui, compte tenu des dimensions relevées, semble confirmer qu'il s'agit du même ponton.

Les renseignements précisent encore :

- le tonnage brut : 87,210 T
- le tonnage net : 30,150 T
- le tonnage à vide : 50,060 T
- le creux : 1 m

Le platelage (photo 2) et le fond de cale (photo 8) paraissent en bon état ou, en tous cas, restaurables.

La superficie du ponton est assez réduite et encombrée. Elle peut être dégagée des appareillages superflus et agrandie en accolant un ou deux des chalands disponibles dont la liste est reprise à l'annexe 1. Ces chalands seraient solidarisés ou non avec le ponton. Le cas échéant, ils peuvent être pontés, par exemple, à l'aide de grands plateaux de répartition en bois.

La remise en état nécessitera en plus du carénage, la récupération et la remise en place des vérins hydrauliques, le remplacement de deux moteurs DEUTZ et de la commande du système hydraulique.

La stabilité paraît assurée compte tenu du poids du ponton et de ses dimensions.

Le point faible de l'ensemble pourrait être le joint de construction résultant de l'assemblage des deux pontons de 4,50 m et ce, lors de la mise en appui de l'engin sur les béquilles.

La propulsion doit être assurée par remorqueur.

3.1.2. Le ponton drague "BENGAMISA"

Le "BENGAMISA" est une drague à grappin, désaffectée depuis 1975, il est actuellement à quai au chantier naval de la Régie des Voies Maritimes à Boma (photos 9 et 10).

Sa construction remonte à 1953 et sa mise en service à 1955.

Ses caractéristiques sont :

- longueur : 24 m; largeur : 10 m; creux : 2,30 m;
- tirant d'eau à vide : 0,98 m
- propulsion : néant - à assurer par remorqueur;
- tonnage brut : 480 T.

Le platelage paraît en bon état ou, en tous cas, restaurable (photo 11).

Un projet de transformation de cette unité en ponton de forage aurait reçu l'accord du Conseil d'Administration de la Régie des Voies Maritimes.

Toutefois, la société belge qui doit équiper le ponton de la sonnette de battage est réticente en raison de l'état actuel de celui-ci. Elle n'a pas encore donné de réponse définitive.

La Régie des Voies Maritimes, pour sa part, est disposée et elle en a les moyens, à procéder au carénage et à l'aménagement du "BENGAMISA" dont la stabilité, au besoin, peut-être renforcée par l'adjonction de flotteurs latéraux pouvant même être des chalands pontés ou des barges-citernes dont dispose la Régie des Voies Maritimes (voir annexe 1).

Il appartient à la firme belge de définir les aménagements qu'elle souhaite.

L'aménagement du "BENGAMISA" en ponton de forage pourrait se réaliser par la même occasion. Deux ou trois pieds de stabilisation devraient y être adaptés avec commande hydraulique ou électrique, mais cette solution n'est peut-être pas envisageable compte tenu du poids de l'ensemble.

A défaut, la stabilité au courant et aux petites fluctuations de niveau devrait être assurée par 4 ancres avec treuils placées à babord et tribord avant et arrière.

Dans le premier cas, la stabilité absolue de la plate-forme est obtenue par une réaction supérieure à la puissance de poussée de la machine de forage. Des caissons de lestage, judicieusement répartis, doivent être aménagés dans la coque et remplis lors des opérations de forage.

Dans le deuxième cas, l'utilisation de la plate-forme est limitée à des variations de niveau de l'ordre de 0,30 m (pas de réaction possible).

3.1.3. Réalisation d'une plate-forme par accouplement de deux chalands (ponton double)

Une telle plate-forme est constituée de 2 chalands ou pontons (barges-citernes) assemblés par une armature rigide (catamaran). L'ensemble est recouvert partiellement ou totalement d'un platelage suffisamment résistant pour supporter le poids des engins. Un emplacement entre les deux chalands est réservé au forage (voir figure 6).

Ce type de plate-forme est généralement pourvu de 4 ancres avec treuils (babord et tribord avant et arrière) pour assurer sa stabilité.

Son utilisation est limitée comme ci-avant.

On peut envisager de le munir de deux ou trois pieds pour améliorer ses performances mais il faut alors renforcer la solidarisation des barges par exemple par une armature inférieure.

Des caissons de lestage judicieusement répartis pour éviter tout basculement sont à prévoir dans les cales.

La Régie des Voies Maritimes dispose d'un certain nombre de chalands (photos 12, 13 et 14) et de pontons disponibles pour constituer une plate-forme semblable et, de plus, son chantier naval a déjà réalisé ce type d'ouvrage. Il estime à deux mois l'aménagement d'une plate-forme du 1er type, y compris le carénage des chalands.

Ci-joint, en annexe, la liste et les caractéristiques des unités disponibles.

CARACTERISTIQUES DES PETITES UNITES FLOTTANTES DE LA R.V.M. A BOMA

UNITE	TYPE	LONGUEUR	LARGEUR	CREUX	TONNAGE BRUT	OBSERVATIONS
MAMBASA	Chaland habitation	30,00 m	7,00 m	1,30 m	144,00 T	Construit en 1928, mis en service en 1925 - Il subit un reconditionnement.
BUTEMBO	" "	38,00 m	9,00 m	1,80 m	317,00 T	Construit en 1955, mis en service en 1958 - Il est en bon état.
KOLWEZI	Chaland	21,50 m	4,00 m	1,20 m	53,00 T	Construit en 1934, mis en service en 1934 - Il est en bon état.
NYUNGU	"	21,50 m	4,00 m	1,20 m	53,00 T	Construit en 1934, mis en service en 1934 - Il doit subir un carénage.
NZAMBI/1	"	19,25	6,00 m	1,50 m	101,80 T	Construit en 1934, mis en service en 1934
NZAMBI/2	"	20,05 m	6,00 m	1,75 m	122,00 T	" " " "
BUKAMA	"	21,50 m	4,00 m	1,20 m	50,00 T	" " " "
KANANGA	"	40,25 m	6,60 m	2,40 m	363,00 T	" " " "
KATALA	Barge citerne	36,57 m	10,06 m	3,08 m	849,00 T	Construit en 1941 (en bon état)
MALELA	" "	36,57 m	10,06 m	3,08 m	849,00 T	" " "
BOMA	" "	15,25 m	3,25 m	1,00 m	2,00 T	Construit en 1934, mis en service en 1934 - Il est en service.

3.2. Eclairage

Dans toutes les situations, l'éclairage en cas de travail nocturne peut être assuré par un groupe électrogène.

3.3. Le compresseur

La R.V.M. dispose d'un compresseur mobile pouvant être mis à la disposition de l'entreprise pendant la campagne. Il s'agit d'un engin de marque DEUTZ, type F4L919.

Elle possède aussi un compresseur fixe de marque DEUTZ, type B.T.6.

3.4. Embarquement et débarquement du matériel

L'embarquement et le débarquement du matériel lourd sur les îles peut être assuré par la baliseuse "ZAIRE" (photo 15) qui est équipée d'un mât de charge de 7,5 T.

Les caractéristiques du "ZAIRE" sont :

- longueur : 35 m; largeur : 7,5 m; enfoncement : 2,48 m.

Cet enfoncement risque d'être trop important pour aborder certaines îles d'où la recherche d'un autre dispositif qui pourrait être un mât de charge monté sur le ponton même, certains chalands en disposent déjà (photo 14).

4. MARNAGE

Le marnage considéré est la différence de niveau entre le niveau de la marée basse et le niveau de la marée haute qui lui succède.

Cette valeur diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer et aussi avec l'augmentation du débit amont (la marée est refoulée).

Les valeurs moyennes du marnage sont :

- à Ziamanganga (extrémité d'aval de la zone des sondages) : 0,51 m;
- à Mateba village : 0,40 m;
- à Mateba barrage (extrémité d'amont de la zone des sondages) : 0,14 m.

La figure 31 extraite du rapport MATEBA 17 du Laboratoire de Recherches Hydrauliques et qui constitue la figure 7 de la présente annexe, donne un plan de situation du fleuve ZAIRE entre BANANA et BOMA, avec en pointillé, le marnage exprimé en mètres.

5. VITESSES DU COURANT

Les vitesses maximales normales du courant sont :

- à 5 m de profondeur : 3 à 4 km/H
- à 10 m de profondeur : 5 à 6 km/H
- à 15 m de profondeur : 6 à 8 km/H.

Ces valeurs sont données à titre indicatif, l'entrepreneur pouvant en tirer des enseignements quant à la vitesse limite du courant pour les forages.

6. CONSIDERATIONS

La Régie des Voies Maritimes a la possibilité de mettre à disposition de la campagne géotechnique un ponton de forage ou adapté au forage après sa remise en état et/ou aménagement d'unités disponibles.

La possibilité existe donc, mais elle n'est pas d'utilisation immédiate.

La solution la plus adéquate est la remise en état de l'ancien ponton de forage assorti éventuellement d'un chaland ponté.

Cette opération serait apparemment très coûteuse et comporterait un délai assez long considérant notamment la récupération des vérins et la mise au point du système hydraulique.

La transformation du "BENGAMISA" en ponton de battage et de forage est plus réaliste. En effet, l'accord pour son aménagement en ponton de battage est, semble-t-il, acquis et celui pour le placement de la sonnette de battage qui conditionne la finalité du projet pourrait être obtenu d'ici peu. L'équipement de cette unité en ponton de forage n'est plus dès lors qu'un complément d'aménagement relativement peu onéreux. Reste à déterminer s'il faut ou si l'on peut l'équiper en plate-forme auto-levante ou simplement en ponton flottant avec 4 ancrs stabilisatrices. Dans ce dernier cas, sa limite d'utilisation sera réduite à la fois en ce qui concerne les vitesses du courant et les fluctuations du niveau des eaux. Le délai d'exécution de l'ensemble des travaux pourrait être assez long.

Enfin, la construction d'une plate-forme flottante par accouplement de deux chalands, avec quatre ancrs de stabilisation est la solution la plus rapide (2 mois) et la moins chère. De plus, elle a déjà été réalisée par le chantier naval de la Régie des Voies Maritimes. Il faut craindre qu'en raison d'un tonnage brut plus faible, sa limite d'utilisation soit encore plus réduite que dans le cas de l'équipement similaire du "BENGAMISA". L'équipement de cette plate-forme avec deux ou trois pieds stabilisateurs compliquerait singulièrement le travail, allongerait le délai d'exécution et augmenterait la dépense.

Il importe donc que la Régie des Voies Maritimes établisse rapidement une estimation du délai d'exécution et du coût de chacune de ces cinq possibilités en scindant chaque fois le montant de la remise en état de l'embarcation et celui de son équipement (béquilles, treuils, système hydraulique de commande). La décision finale doit être prise en fonction de ces évaluations et des conditions d'utilisation.

Il serait intéressant d'établir une comparaison (voir offre SOTRAF) avec les coûts de location et d'aménage d'un ponton approprié qui aurait un rendement maximal et une influence favorable sur la durée des travaux.

Les autres points de l'équipement, et les services à assurer ne soulèvent pas de problèmes importants.



L'ANCIEN PONTON DE FORAGE

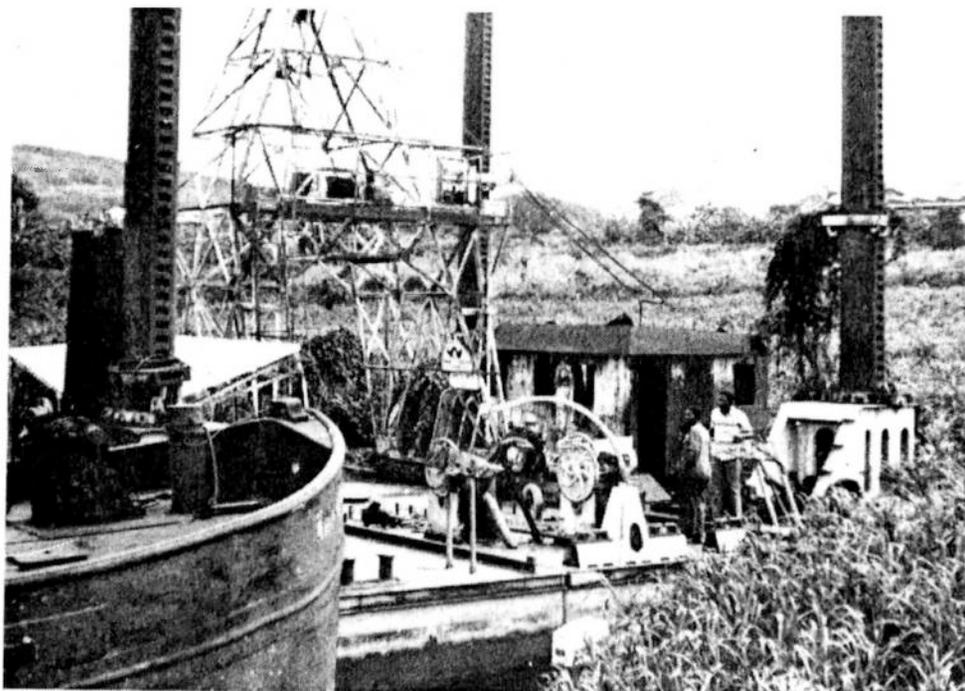


Photo 1



Photo 2



L'ANCIEN PONTON DE FORAGE

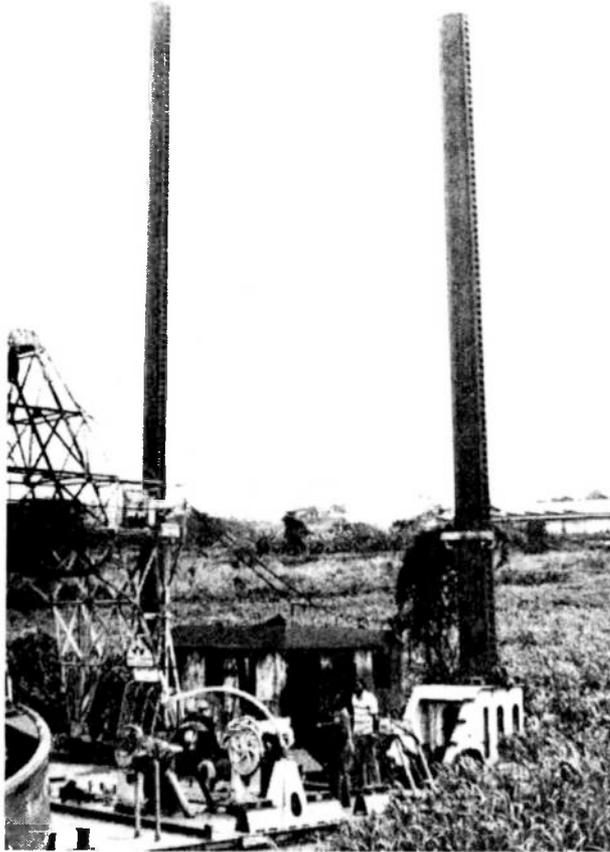


Photo 3

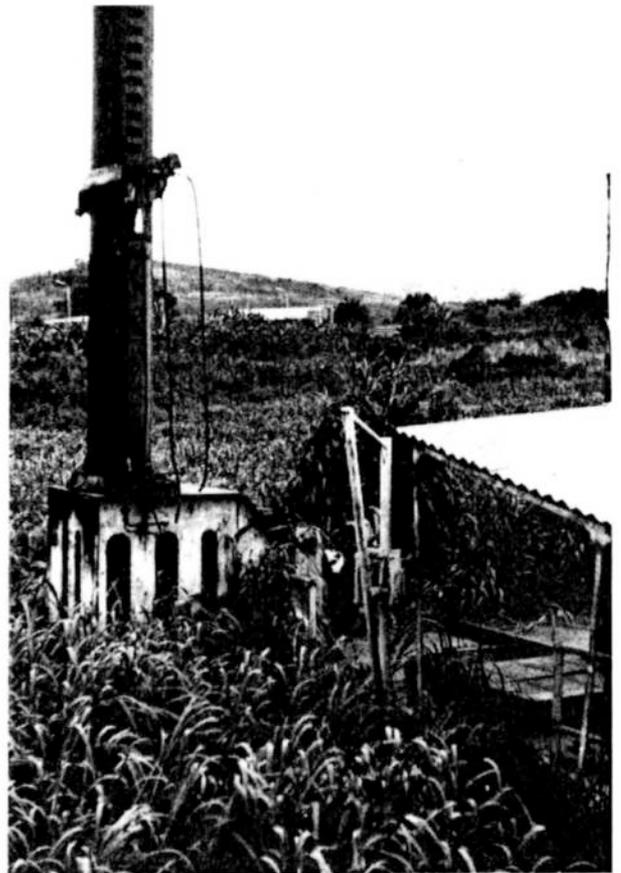


Photo 4

Photo 5

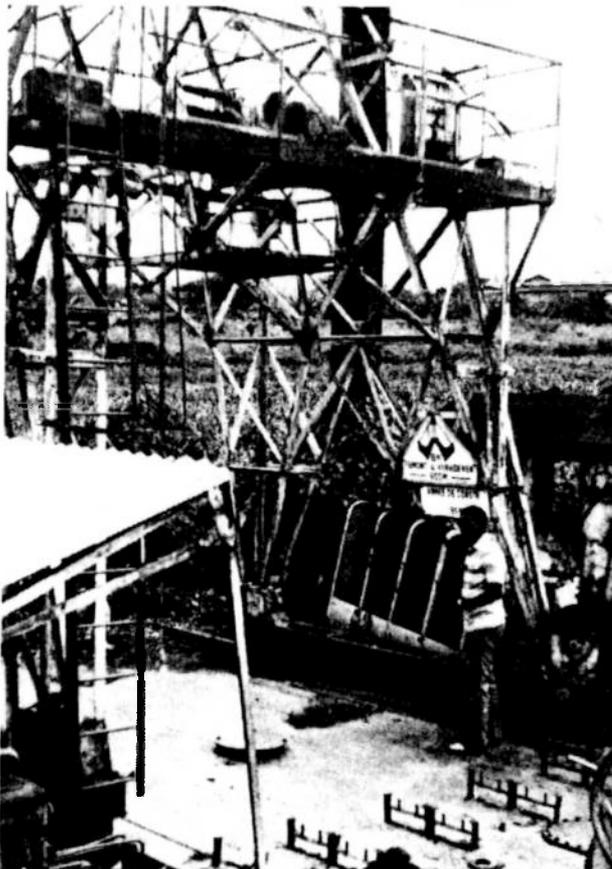
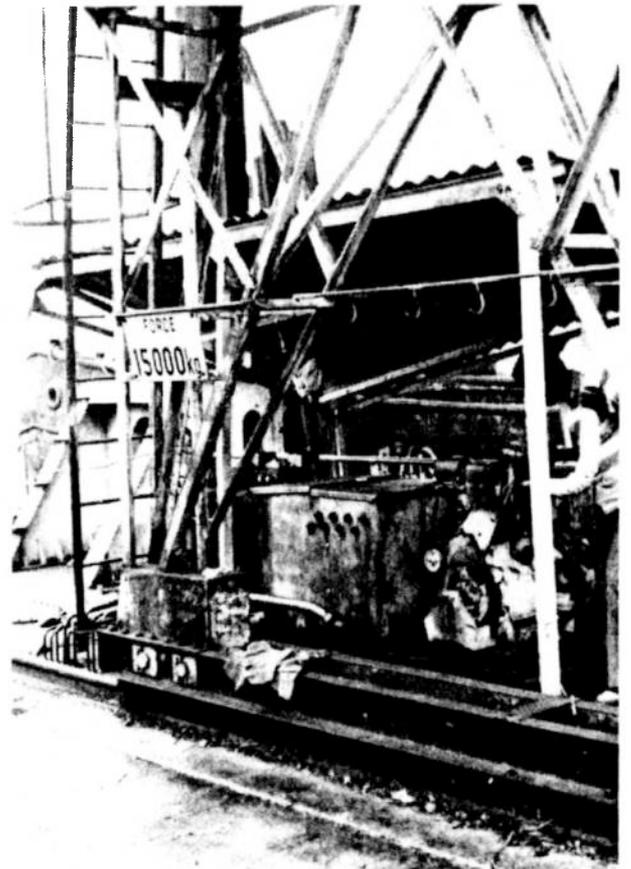


Photo 6





L'ANCIEN PONTON DE FORAGE

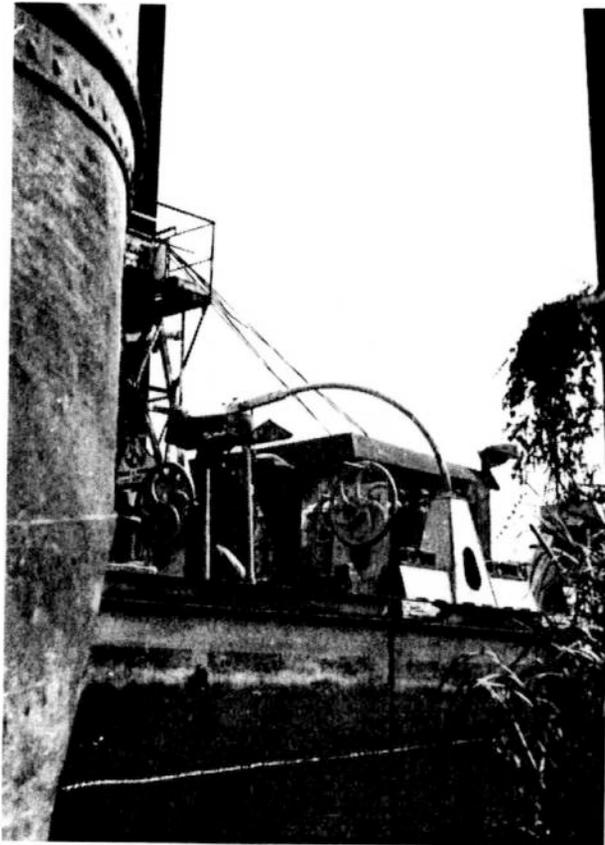


Photo 7

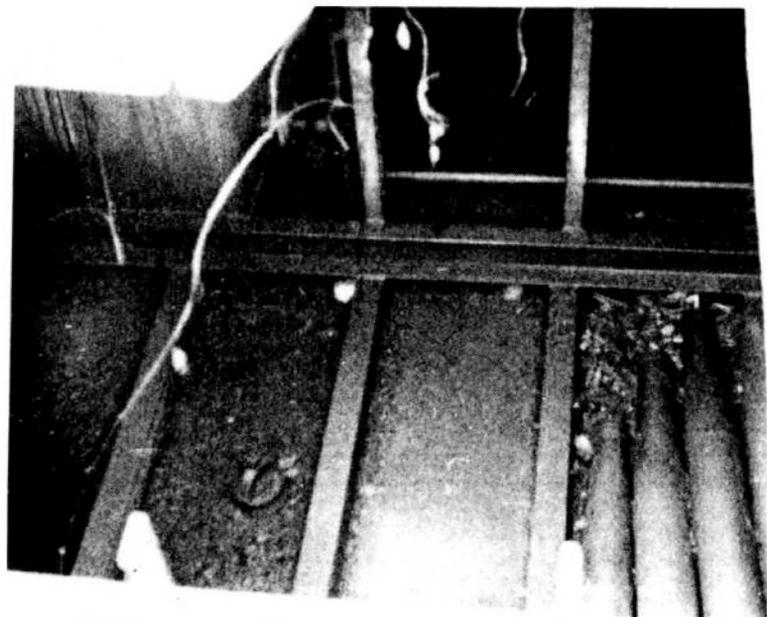


Photo 8



LE PONTON DRAGUE "BENGAMISA"



Photo 9



Photo 10

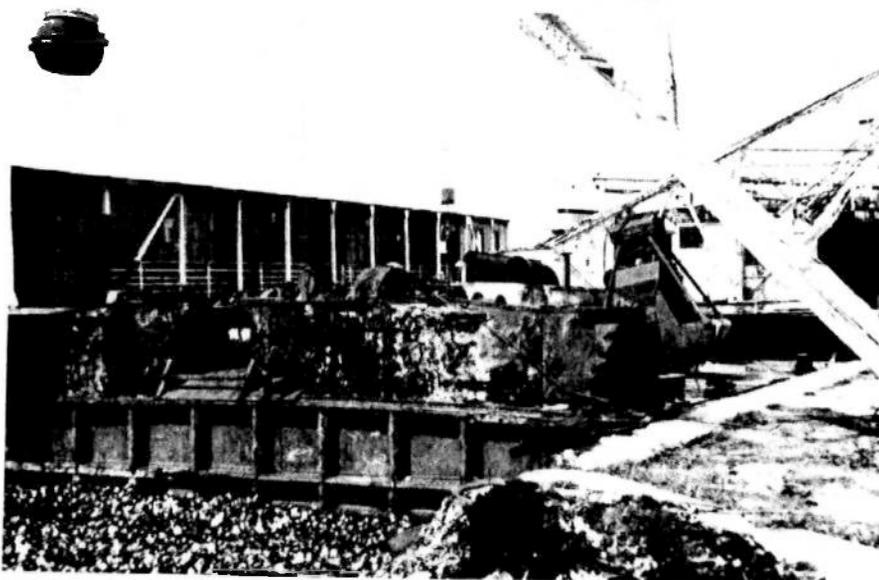


Photo 11



CHALANDS R.V.M.



Photo 12



Photo 13



CHALAND R.V.M. ET BALISEUR "ZAIRE"

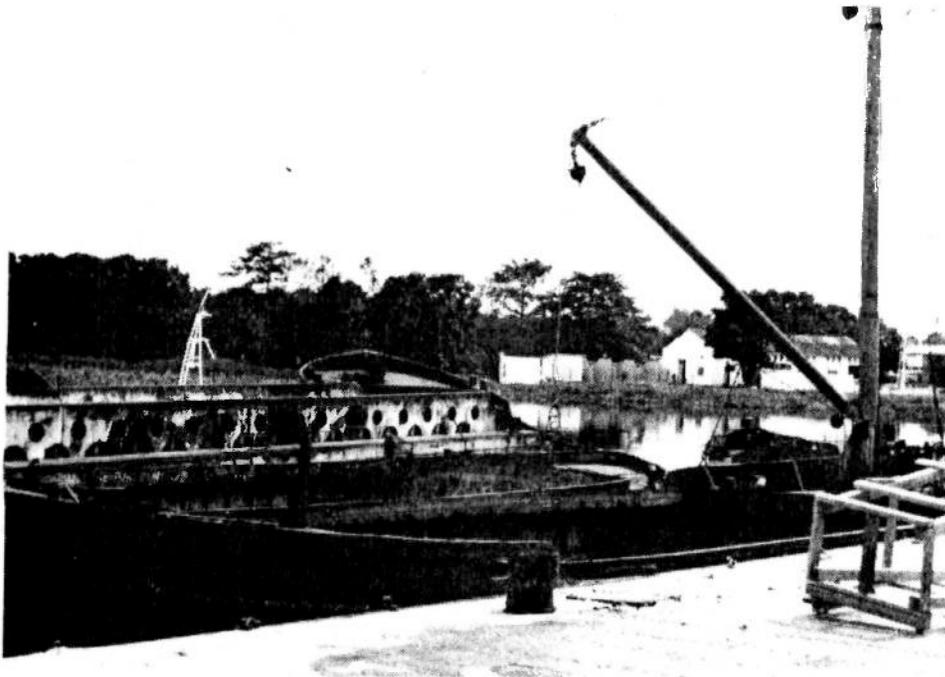
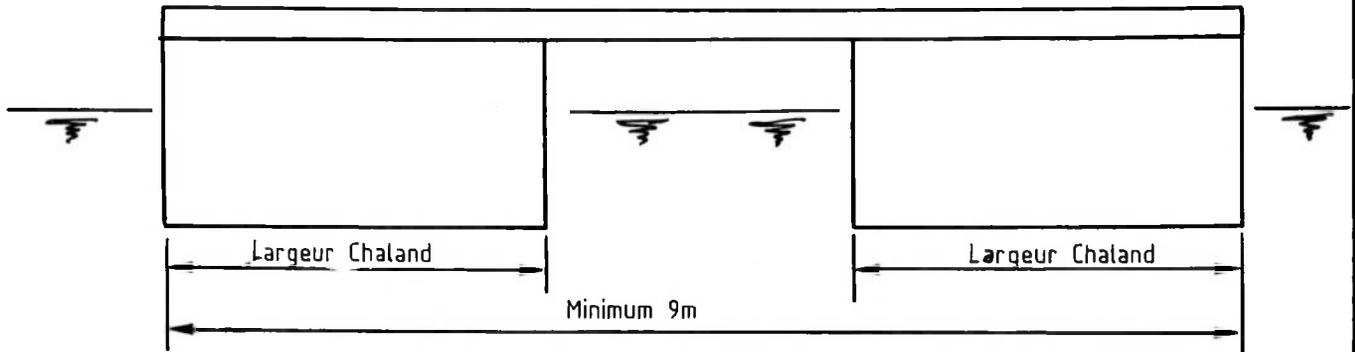


Photo 14



Photo 15

W.L. 91.088

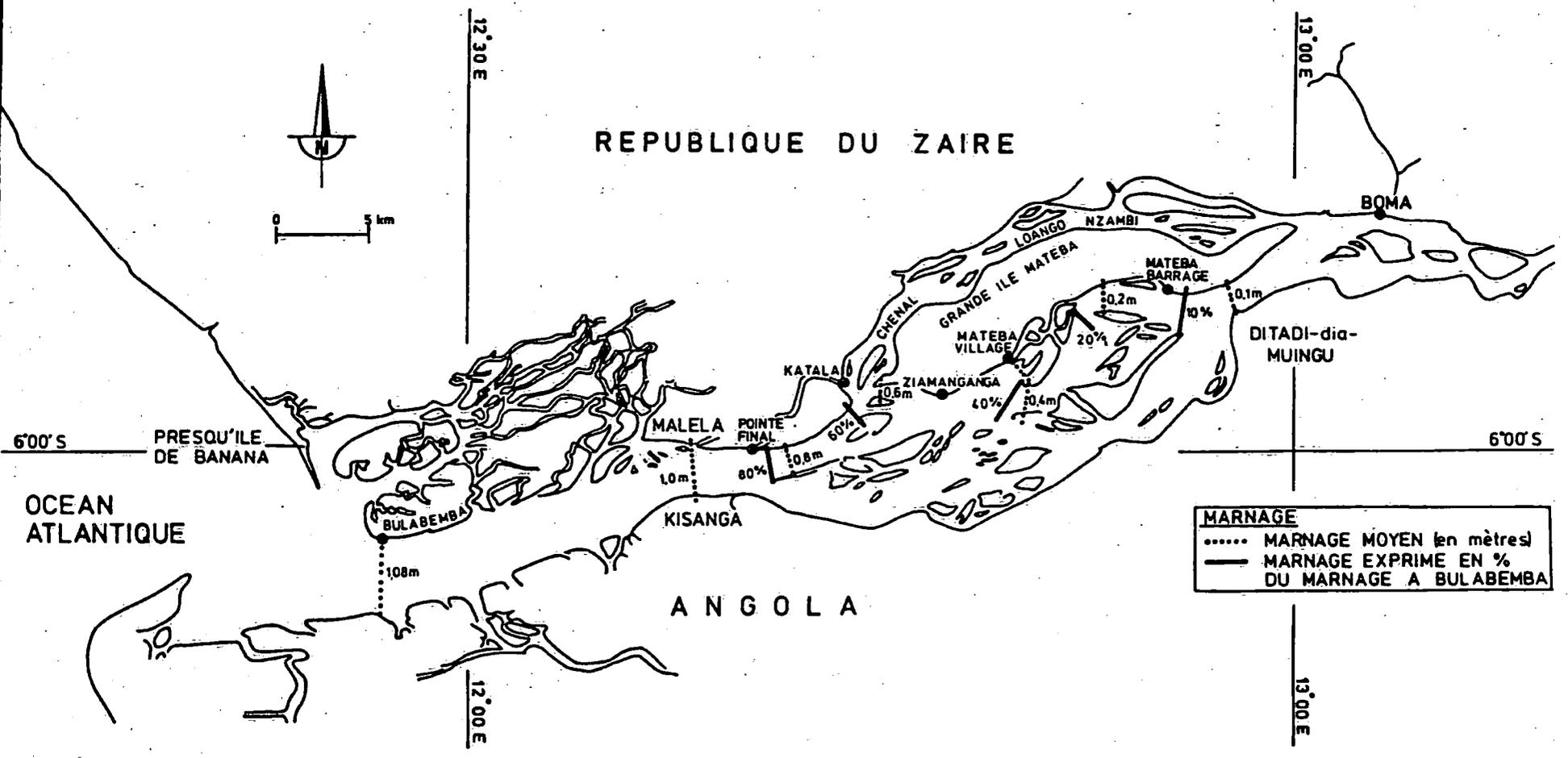
PERIODE 1976-1977

MOD. 255

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU MARNAGE DANS LE BIEF BULABEMBA-BOMA

BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

Figure 7



PARTIE 1

1. LES TRAVAUX DE DRAGAGE

- 1.1. Définition
- 1.2. Différentes sortes de travaux de dragage
- 1.3. Court aperçu historique
- 1.4. Le cycle de dragage

2. ENGIN DE DRAGAGE

- 2.1. Engins de dragage mécanique
 - 2.1.1. Drague à godets
 - 2.1.2. Drague à pelle mécanique
 - 2.1.3. Drague à benne preneuse
 - 2.1.4. Ponton brise-roches
 - 2.1.5. Plate-forme auto-élevatrice
 - 2.1.6. Engin de dragage amphibie
- 2.2. Engins de dragage hydraulique
 - 2.2.1. Suceuse stationnaire
 - 2.2.2. Suceuse refouleuse en chalands
 - 2.2.3. Drague à désagrégateur
 - 2.2.4. Drague suceuse traînante
- 2.3. Matériel auxiliaire
 - 2.3.1. Poste de refoulement
 - 2.3.2. Omnibarges
 - 2.3.3. Autres matériaux auxiliaires
- 2.4. Quelques projets de dragage

PARTIE 2

LES DRAGUES TRAINANTES

1. Définition et domaines d'application
2. Fonctionnement et propriétés
3. Crépines traînantes
4. Le puits à déblais
5. Instrumentation et automatisation

PARTIE 3

OPTIMALISATION DU CYCLE DE DRAGAGE

PARTIE 4

PRESENTATION DU SERVICE DE DRAGAGE DE LA REGIE DES VOIES MARITIMES

PARTIE 1

1. LES TRAVAUX DE DRAGAGE

1.1. Définition

Le dragage est une opération consistant à curer le lit d'une rivière (ou le fond d'un lac) et à le débarrasser de l'excès de cailloux, graviers et sables que le courant y a laissé déposer.

1.2. Différentes sortes de travaux de dragage

1.2.1. Dragage en déblais

Le sol est déplacé d'un endroit où il est excédentaire vers un autre.
p.e. : le creusement d'un chenal.

1.2.2. Dragage en remblais

On charge le sol et on le met à un endroit où il est nécessaire.
p.e. : le remblais d'un terrain.

1.2.3. La combinaison déblais et remblais

C'est le travail de dragage le plus efficace et le plus économique. On emporte le sol où on doit creuser et on le met où on en a besoin. On fait un travail double en une seule opération.
p.e. : creuser un chenal et utiliser le sol pour construire un terrain.

1.3. Court aperçu historique (figure 1)

Autrefois, les Chinois et les Romains avaient déjà conçu des engins de dragage. Ceux-ci étaient utilisés avec la force de l'homme ou du cheval. En ces temps là, les bateaux de commerce n'avaient qu'un tirant d'eau de 2 m (maintenant plus de 10 m). Ces mêmes engins apparaissent en Europe en 1600.

En 1795, les Anglais ont construit la première drague à godets à vapeur. Et vers 1850, a été créée la première drague suceuse traînante avec un puits à déblais de 170 m³ (actuellement opère, en Belgique, la drague Vlaanderen 18 qui dispose d'un puits de plus de 11.000 m³).

L'évolution des dragues suceuses traînantes a vraiment commencé après 1950 lorsque les grands pétroliers exigeaient des profondeurs de plus en plus grandes.

Après 1970, la crise économique a provoqué une tendance vers le bas quant à la capacité des dragues. Depuis cette période, on porte naturellement plus d'attention à l'automatisation et aux améliorations de productivité, pour réduire la durée des cycles ("le temps, c'est de l'argent").

1.4. Le cycle de dragage

Le cycle de dragage peut se subdiviser en sept étapes différentes, depuis le creusement jusqu'au dépôt.

1.4.1. Briser la cohérence du sol; la technique adoptée dépend de la nature des sols à désagréger :

- moyen mécanique (dents, marteau)
- moyen hydraulique (pompe de dragage)
- moyen chimique (charges explosives)
- provoquer une perturbation de l'équilibre interne (en surchargeant le sol).

1.4.2. Le déblaiement du sol

Après avoir brisé la cohérence du sol, on peut débiter le déblaiement. Par exemple : grâce à des godets, des grappins ou des tuyaux d'aspiration.

1.4.3. Le transport vertical

En faisant des travaux de dragage, il faut vaincre une différence de niveau.

Par exemple : le sol du chenal doit être extrait d'un niveau -10 m et être mis sur un terrain au niveau +10 m. (par exemple : grâce à un godet de drague qui est soulevé).

1.4.4. Le déchargement dans le moyen de transport

Par exemple : dans le puits à déblais de la drague suceuse traînante, par des conduites.

1.4.5. Le transport horizontal

Ce transport peut être long (+ 30 km) ou court (20 m).

Moyen : chalands, camions, drague porteuse, conduite de refoulement.

1.4.6. Le déversement des produits dragués.

Par exemple : par les portes glissantes, grâce à une grue.

1.4.7. Les travaux de finition

Par exemple : à l'aide d'un bulldozer, on peut niveller le terrain.

Avec des camions et grues, on peut classier le sol. Des machines à vibrer peuvent améliorer les fondations. On peut se protéger des influences extérieures comme l'érosion due au vent; on peut mettre des fascines pour éviter les érosions par les vitesses excessives d'eau, etc...

2. ENGINS DE DRAGAGE

Les engins de dragage peuvent être subdivisés en trois catégories :

1. engins de dragage mécanique
2. engins de dragage hydraulique
3. matériel auxiliaire

2.1. Engins de dragage mécanique

2.1.1. Drague à godets (figures 2, 3 et 4)

La drague à godets est un engin flottant formé, la plupart du temps, d'un ponton rectangulaire, ayant à l'avant un puits rectangulaire dans lequel passe la chaîne équipée de godets à bord tranchant.

Les déblais ramenés à la surface par les godets sont déchargés à travers le couloir de déversement dans les barges amarrées le long du ponton.

Dans la version autopropulsée d'une drague à godets, l'un des plus petits côtés du ponton est équipé d'une étrave.

Les dimensions d'un tel engin sont fonction de la capacité des godets variant de 100 à 1000 litres.

2.1.2. Drague à pelle mécanique (figures 5 et 6)

Un tel engin est formé par un ponton rectangulaire équipé d'une pelle mécanique qui ramène les déblais à la surface et les dépose dans des barges. Les dimensions de l'engin sont fonction de la capacité de la pelle mécanique. Cette capacité varie de 0,5 à 7,5 m³.

2.1.3. Drague à benne preneuse (figure 7)

La drague à benne preneuse est formée d'un ponton rectangulaire sur lequel est placée une grue mobile équipée d'une benne preneuse. La benne ramène les déblais à la surface et les dépose dans une barge ou à terre. La dimension est indiquée par la capacité de la grue qui varie de 2 à 35 tf.

Il existe aussi la drague porteuse à benne preneuse. Elle est formée par un navire équipé, lui-même d'un puits de chargement. Les déblais remontés à la surface par les bennes preneuses actionnées par une ou plusieurs grues mobiles sont déposés dans le puits de chargement. Les dimensions d'un tel engin sont fonction de la capacité du puits de chargement qui varie de 200 à 2000 m³.

2.1.4. Ponton brise-roches (figure 6)

Le ponton rectangulaire est équipé d'une installation permettant de briser les formations rocheuses à l'aide soit d'un pilon à burin, soit d'un marteau pneumatique. Le plus souvent le ponton brise-roches n'est pas équipé d'une installation permettant le levage et le transport des roches.

Les dimensions de l'engin sont fonction de la capacité du marteau pneumatique qui varie entre 5 à 15 m³/heure.

2.1.5. Plate-forme auto-élévatrice (figure 8)

La plate-forme auto-élévatrice est formée d'un ponton rectangulaire flottant qui, en fonction du travail, est hissé au-dessus du niveau de l'eau et supporté par plusieurs pieds. Une plate-forme peut être équipée de diverses installations telles que, grues, installation de forage, brise-roches, etc...

Les dimensions de la plate-forme sont fonction de la longueur des pieds et de la capacité du mécanisme de levage. La longueur des pieds varie de 10 à 80 mètres et la capacité du mécanisme de levage de 200 à 3000 tf.

2.1.6. Engin de dragage amphibie (figure 9)

Ce type d'engin, généralement formé d'un ponton rectangulaire flottant, se singularise toutefois par le système de pieds articulés qui permettent à cet engin de se déplacer tant dans l'eau que sur la terre. L'engin peut être équipé d'une benne preneuse, d'une pelle mécanique, etc...

Les dimensions de ces engins sont relativement petites. Le type est, le plus souvent, fonction de la capacité en litres de la benne preneuse ou de la pelle mécanique.

2.2. Engins de dragage hydraulique

La caractéristique principale d'une drague hydraulique est que l'aspiration et le transport des déblais s'effectuent à l'aide d'une pompe de dragage centrifuge, les déblais étant en suspension dans l'eau. La désagrégation du sol a lieu à l'aide d'un désagrégateur, d'une crépine traînante ou même de jets d'eau.

Répetons encore une fois que les engins de dragage mécanique utilisent des moyens mécaniques (comme le nom l'indique) pour la désagrégation et le déplacement des déblais (par exemple : benne preneuse, godets).

2.2.1. Suceuse stationnaire (figure 9)

Une drague suceuse stationnaire est formée d'un ponton rectangulaire flottant. Le tuyau d'aspiration placé dans le puits aménagé dans un des petits côtés du ponton est suspendu à une simple bigue. Les déblais aspirés à l'aide de la pompe de dragage sont refoulés soit dans des barges amarrées le long de la drague soit à travers des conduites de refoulement. Les dimensions d'un tel engin sont fonction du diamètre de la conduite d'aspiration qui varie de 250 à 800 mm.

2.2.2. Suceuse refouleuse en chalands

La plupart du temps, ces suceuses sont des engins flottants mais il existe également des installations terrestres. La suceuse en chalands équipée d'un tuyau d'aspiration à travers lequel est aspiré le mélange de déblais se trouvant dans un chaland amarré le long de l'engin ou le long du quai. Les déblais sont refoulés à travers une conduite de refoulement.

La puissance d'aspiration est fournie par une pompe centrifuge de dragage. Le tuyau d'aspiration est placé au-dessus du niveau de l'eau, sur le côté le plus long du ponton. La puissance d'un tel engin est fonction du diamètre en du tuyau d'aspiration qui varie de 250 à 1.000 mm.

2.2.3. Drague à désagrégateur (figures 10, 11 et 12)

La drague à désagrégateur est formée d'un ponton rectangulaire flottant équipé d'une élinde dans laquelle se trouve le tuyau d'aspiration accouplé à la pompe. A l'extrémité de l'élinde, devant le bec d'aspiration se trouve le désagrégateur qui, par un mouvement rotatif, désagrège le sol. Pour accroître la capacité d'aspiration, une pompe de dragage peut être immergée dans le tuyau d'aspiration. Les déblais sont refoulés à travers les conduites de refoulement vers le lieu de déversement. Le plus souvent, la drague à désagrégateur n'est pas équipée d'une installation de propulsion propre.

La puissance d'une drague à désagrégateur est fonction du diamètre du tuyau d'aspiration et de la puissance totale installée. Le diamètre du tuyau d'aspiration varie de 150 à 1.000 mm, la puissance installée de 150 à 15.000 KW.

2.2.4. Drague suceuse traînante (figures 13, 14 et 15)

La drague suceuse traînante a la forme d'un navire équipé d'un ou de plusieurs tuyaux d'aspiration latéraux, d'une ou de plusieurs installations de pompes et d'un puits de chargement.

Le tuyau d'aspiration est équipé à l'extrémité d'une crépine traînante dont il existe plusieurs types et qui sert à amener les déblais devant le bec d'aspiration. La drague suceuse traînante aspire les déblais en naviguant lentement. Le mélange de déblais est pompé dans le puits qui est vidé par le fond à l'aide de portes coulissantes ou de soupapes. Les déblais peuvent également être refoulés à terre grâce à l'installation d'autovidange. Les nouveaux types de dragues suceuses traînantes déchargent les déblais en s'ouvrant au milieu sur toute la longueur.

Les dimensions des dragues suceuses traînantes sont fonction de la capacité du puits qui varie de 500 à 12.000 m³.

2.3. Matériel auxiliaire

2.3.1. Poste de refoulement

Les postes de refoulement sont exécutés soit comme engins flottants soit comme installations terrestres. Cet équipement est formé par une pompe de dragage et sert à refouler les déblais sur une certaine distance.

La puissance est fonction du diamètre de la conduite (200 à 8.000 mm) et de la capacité de puissance de la pompe (150 à 2.500 KW).

2.3.2. Omnibarges. (figure 15)

L'omnibarge est un navire destiné au transport des déblais. Sa conception spéciale en tant que barge à ouverture longitudinale permet le déchargement rapide de toutes les sortes de déblais.

L'omnibarge peut être construite comme chaland remorqué, comme barge poussée ou comme barge automatique. Les dimensions sont données par la capacité du puits de chargement qui varie de 250 à 2.000 m³.

2.3.3. Autres matériaux auxiliaires

Ils sont indispensables pour les différents travaux de dragage; ce sont :

- les remorques;
- les bateaux de servitude;
- les engins pour égalisation des déblais;
- les grues;
- les voitures;
- les camions ...

2.4. Quelques projets de dragage (voir figure 16)

1. Avec drague traînante (figure 16.1)
2. Avec drague à désagrégateur (figure 16.2)
3. Avec drague à godets (figure 16.3)

PARTIE 2

LES DRAGUES TRAINANTES

1. Définition et domaines d'application

Une drague suceuse traînante peut être définie comme étant un navire auto-propulsé, capable de travailler en haute mer et dans les eaux intérieures, assurant lui-même le chargement et le déchargement des déblais grâce aux tuyaux d'aspiration articulés équipés d'une crépine spéciale.

Le domaine d'application de la drague suceuse traînante est très vaste et englobe notamment :

- l'approfondissement et l'entretien des voies navigables;
- le remblayage et l'égalisation du sol marin;
- la mise en place de matériaux de fondation;
- le remblayage et la reconstruction de plages;
- l'extraction de matériaux (sable, gravier, etc...);
- une combinaison de ces opérations.

2. Fonctionnement et propriétés

Le cycle de dragage d'une suceuse traînante peut être subdivisé en quatre phases, à savoir :

- la récupération des déblais à l'aide de l'installation de dragage. Le navire arrive à vide sur le site de dragage où l'élinde avec la tête d'aspiration est placée sur le sol. La drague avance lentement et le puits se remplit de déblais sous l'action des pompes centrifuges. Lorsqu'on drague des déblais qui sédimentent rapidement, on poursuit le chargement même lorsque le puits est rempli. Une partie des particules fines, présentes dans le mélange sol-eau, est alors évacuée par-dessus bord avec l'eau excédentaire.

Lorsqu'on drague des matériaux qui sédimentent difficilement, le processus de chargement est arrêté dès que le puits est rempli de mixture.

- Le transport des déblais vers le lieu de déchargement. Cette phase du cycle influence négativement la durée effective de production de la drague et doit donc être aussi courte que possible.
- Le déchargement des déblais à l'aide des installations propres de la drague.
- Le retour vers le site de dragage. L'eau encore présente dans le puits est souvent refoulée en cours de route.

Durant toutes ces phases, les déplacements successifs de la drague ont lieu à l'aide de l'installation de propulsion montée à bord.

L'une des principales caractéristiques de la drague suceuse porteuse est qu'elle peut être utilisée dans pratiquement toutes les circonstances. La hauteur des vagues, l'espace disponible pour la manoeuvre et certaines propriétés du sol sont les seuls facteurs qui imposent quelque limitation.

Les dragues de ce type sont principalement employées pour l'approfondissement et l'entretien de chenaux navigables. Les grandes dragues suceuses peuvent, en effet, travailler dans une houle pouvant atteindre plus de 3 mètres de hauteur. La drague suceuse traînante se distingue par sa grande manoeuvrabilité qui lui permet de travailler dans des zones à trafic maritime intense.

2.3. Crépines traînantes (figure 17)

La crépine traînante est l'un des éléments les plus importants de l'installation de dragage puisqu'elle détermine en grande partie la production. Plusieurs types de crépines ont été développées pour le dragage des diverses sortes de déblais. Les types de crépines le plus couramment utilisés permettent, le cas échéant, après quelques modifications et adaptations, de draguer les matériaux non cohérents tels que le sable (tassé ou non) et le gravier ainsi que les matériaux cohérents déformables tels que la vase et l'argile.

Le choix de la crépine est fonction de la nature des déblais à draguer. Les propriétés mécaniques et physiques du sol à draguer qui influent largement sur le choix de la crépine sont :

- la densité et la viscosité, notamment de la vase;
- la perméabilité, en particulier du sable;
- la résistance au cisaillement, notamment de l'argile.

Selon la nature et les propriétés du sol, le dragage s'effectuera soit par érosion, c'est le cas pour le sable et la vase, soit de façon mécanique sous l'effet de couteaux tranchants, c'est le cas pour l'argile.

Crépines pour le dragage de la vase. La vase appartient aux déblais que l'on drague de préférence en tant que masse homogène contenant le moins d'eau possible. Les paramètres qui déterminent en grande partie la production de la crépine sont notamment la densité et la viscosité de la vase.

L'un des premiers types de crépine développés pour ce matériau fut la crépine Frühling, inventée en 1898 par le Dr. Frühling. Cette crépine était en fait formée d'un tuyau relativement large recourbé à angle droit et dont l'ouverture était orientée dans le sens de la navigation.

Pendant le dragage, les déblais étaient pour ainsi dire poussés à l'intérieur de la crépine et transportés sous l'effet de l'eau. Cette crépine, qui pouvait uniquement être utilisée pour le dragage de la vase, était particulièrement sensible aux obstacles présents dans le sol. C'est l'une des raisons principales pour laquelle ce type de crépine est pratiquement abandonné.

La plupart des crépines pour le dragage de la vase présentent comme inconvénient d'être très sensibles aux obstacles présents dans le sol. De plus, l'énergie nécessaire pour vaincre la cohésion de la vase influe sur le vide de la pompe.

Crépines pour le sable et le gravier. Le principe de l'érosion est appliqué pour le dragage du sable. Les grains de sable sont entraînés sous l'effet de l'eau. On imprime la plus grande vitesse possible de l'eau à travers le lit de sable, ce qui entraîne une différence de pression et par conséquent un courant à travers le lit de sable. Lorsque cette différence de pression est suffisamment grande, la cohésion des grains est rompue et les grains de sable sont entraînés par le courant d'eau. La couche de sable sera d'autant plus compacte que les particules seront plus fines. La différence de pression nécessaire à la désagrégation de la couche sera plus grande. Il en résulte que le dragage du sable devient de plus en plus difficile à mesure que la dimension des grains diminue.

Crépines pour l'argile et le sable très compact. Il est pratiquement impossible de draguer des matériaux cohérents, déformables tels que l'argile ou un mélange d'argile et de sable à l'aide d'une crépine conventionnelle, même si celle-ci est équipée d'un système de jets d'eau. En effet, la perméabilité de ce matériau est trop faible pour permettre la pénétration rapide de l'eau indispensable pour le dragage normal par érosion. La cohésion de l'argile constitue un obstacle de plus à son dragage par la méthode hydraulique.

Aussi, l'enlèvement de ces matériaux doit se faire par des méthodes mécaniques. A cet effet, une crépine peut être équipée de couteaux spéciaux en acier qui coupent le sol jusqu'à une épaisseur pouvant atteindre 15 cm.

4. Le puits à déblais

Les quatre éléments principaux du puits à déblais sont : le système de chargement, le puits, le système de débordement et le système de déchargement. Les trois premiers déterminent largement l'efficacité du processus de chargement.

Systèmes de chargement

Le puits est chargé à l'aide d'un système de chargement et de répartition placé soit au-dessus ou à l'intérieur du puits. Cette installation est le plus généralement formée par un ou plusieurs couloirs équipés de vannes ou de

clapets permettant de régler le chargement. Un système prévu à l'extrémité du couloir de chargement réduit la vitesse du mélange et assure la répartition de l'écoulement.

Pour être efficace, tout système de chargement doit réduire suffisamment l'énergie de la mixture avant son admission dans le puits.

Une vitesse réduite du mélange dans la mixture favorise la sédimentation des déblais dans le puits et limite au maximum les pertes par débordement.

Pour réduire davantage l'énergie de la mixture, on a placé le niveau d'écoulement du couloir en dessous du niveau maximal de débordement et monté derrière le couloir un certain nombre de chaînes pratiquement à angle droit par rapport à la direction d'écoulement.

Forme et dimensions du puits

Il y a lieu de distinguer deux types de puits principaux, à savoir les puits ouverts et les puits fermés. Pendant très longtemps, le puits ouvert a été le plus largement utilisé puisque la couleur et le schéma d'écoulement des déblais dans le puits fournissaient au maître dragueur des indications très utiles pour suivre le processus de chargement du puits. Mais l'introduction d'instruments modernes, tels que les indicateurs de concentration et de vitesse permet à présent de contrôler le processus de chargement sans même voir la mixture. C'est ce qui a permis l'utilisation des puits fermés.

Pour réduire autant que possible les pertes par débordement, la mixture doit être répartie le plus possible sur la section transversale du puits et doit s'écouler vers l'ouverture de débordement à une vitesse aussi constante et faible que possible avec un minimum de turbulences.

C'est dans cette situation que les matériaux solides peuvent le mieux sédimenter.

De nombreux tests ont mis en évidence que, pour une même superficie de puits, un navire long et étroit permet d'obtenir les meilleurs résultats en ce qui concerne les pertes de débordement. Toutefois, les risques d'un chargement irrégulier du puits augmentent. Pour pallier cet inconvénient, il suffit de prévoir des ouvertures complémentaires dans le couloir de déchargement.

Un long navire coûte cependant cher et, dans de nombreux cas, les avantages qu'offre un long puits étroit du point de vue de l'efficacité de la sédimentation ne l'emportent pas sur l'économie des coûts d'investissement que permet de réaliser la construction d'un puits court et large.

Processus de sédimentation

Le processus de sédimentation des déblais dans le puits peut être subdivisé en trois phases (figure 18.1) :

1. remplissage du puits vide jusqu'au niveau de débordement. Dans cette phase, toute la mixture draguée reste dans le puits et il n'y a aucune perte par débordement;
2. les pertes de débordement commencent dans la seconde phase pendant laquelle on constate des courants dans la partie supérieure de l'eau. Pendant cette phase, les pertes restent pratiquement constantes;
3. lorsque la troisième phase est atteinte, le schéma des courants se modifie. Le niveau élevé des déblais sédimentés dans le puits empêche la formation de courants descendants. La vitesse moyenne des courants au-dessus du niveau des déblais est tellement élevée qu'en plus de la sédimentation, il y a également une érosion de particules déjà sédimentées. Les pertes par débordement augmentent alors rapidement. Pour un certain degré de chargement du puits, ces pertes relatives atteignent même 100 %.

5. Instrumentation et automatisation

Au cours de ces dernières décennies, le nombre d'instruments de contrôle et de système d'automatisation du processus de dragage n'a cessé de croître en raison notamment de la hausse constante des coûts qui ont nécessité une exploitation aussi rentable et efficace que possible de tout engin de dragage. Nous en sommes ainsi arrivés à une situation dans laquelle le maître dragueur ne peut pratiquement plus suivre toutes les informations fournies par les divers instruments. Les données qu'il doit contrôler sont si nombreuses qu'il risque d'accorder une attention insuffisante à une donnée essentielle du processus de dragage. Dans cette situation, le maître dragueur a le choix entre deux solutions : essayer de suivre tant bien que mal toutes les informations et se faire remplacer après quelque temps ou opter pour un processus de dragage moins critique, plus sûr, mais moins productif. La solution qui permet d'optimiser les opérations et de rendre la tâche du maître dragueur moins lourde consiste à automatiser le fonctionnement de la drague. Le maître dragueur peut alors concentrer toute son attention sur les données qui sont décisives pour la production de la drague.

On a développé et standardisé une vaste série d'instruments de contrôle et de systèmes d'automatisation du processus de dragage à bord des dragues suceuses traînantes.

Cette série comprend :

- indicateur du vide et de la pression;
- indicateur radioactif de concentration;
- système combiné d'indicateur de concentration et de vitesse;
- installation AMOB (mélange pauvre par-dessus bord);
- système de contrôle automatique du treuil de l'élinde;
- système de contrôle automatique du tuyau d'aspiration.

PARTIE 3

OPTIMALISATION DU CYCLE DE DRAGAGE

Un élément important du puits et du cycle de dragage est le débordement. Au cours du remplissage du puits avec un mélange d'eau et sable, ce dernier formera un sédiment dans le puits et l'eau sera évacuée hors bord par le système de débordement.

Mais ce n'est pas seulement de l'eau propre qui passe par le débordement, car dans la pratique, une partie du sable dragué sera emmené avant d'avoir la possibilité de se déposer dans le puits. Le pourcentage de sable qui déborde est désigné par "perte de débordement". Cette perte conditionne à un degré important le procédé du chargement. A mesure que le puits se remplit avec du sable sédimenté, cette perte de débordement s'avère augmenter de telle sorte qu'en cas d'un certain niveau de sable sédimenté, la totalité du sable dragué passe de nouveau par-dessus bord par le débordement.

Le cours et l'importance de cette perte par le débordement dépendent fortement de la nature du sol dragué et de la forme du puits, de même que le temps nécessaire pour charger le puits jusqu'à ce que le navire se trouve "à sa marque de tirant d'eau".

Lors du remplissage du puits, l'économie joue un rôle important. Selon la sorte de fond dragué, une durée de chargement la plus économique possible (l'optimum) devra être déterminée.

Le fait est que si l'aspiration a lieu dans un sol très fin, la durée de chargement totale du puits sera disproportionnée du fait que trop de matériaux passeront par-dessus bord par le débordement. Une production plus élevée pourra être atteinte, dans ce cas, en déterminant une durée de chargement maximum, soit expérimentalement, soit à l'aide d'un jeu parfait d'instruments de mesure et que le puits soit rempli de façon à ce que des pertes de débordement ne dépassent jamais la moyenne économique.

Le moment le plus favorable pour arrêter le chargement du puits est déduit, en principe, de la courbe de chargement. Cette courbe est déterminée grâce aux instruments qui mesurent d'une manière continue le tirant d'eau moyen du navire. Du fait qu'il existe une relation relativement simple entre le tirant d'eau et le poids du chargement, cette courbe du tirant d'eau est également la courbe de chargement en fonction du temps.

Le temps de chargement le plus économique dépend du cycle de dragage à savoir le temps total nécessaire pour draguer un chargement du puits, le transporter et le décharger, puis finalement ramener le navire à son emplacement de dragage.

A ce moment là, un nouveau cycle commence.

La quantité de chargement traitée par unité de temps peut donc être définie comme suit :

$$\frac{\text{chargement dragué}}{\text{durée d'un cycle}} = \text{rendement}$$

Ce rapport doit être aussi élevé que possible pour que la production soit également maximum.

La durée de navigation vers le lieu de déchargement et vers le lieu de dragage ainsi que le temps de déchargement ou clapage peuvent être prédits avec une certaine exactitude. De sorte que le temps total par cycle de dragage et la somme des temps susmentionnés ne diffèrent que du temps de chargement, qui constitue donc la seule inconnue.

Un cycle normal est repris en figure 18.2.

Si on refait le cycle de dragage et on met ensemble le temps de navigation et de clapage, on obtient la figure 18.3.

Cette figure montre que le temps de chargement optimum doit être finalement déduit de ces données, la condition est que :

$\frac{\text{poids de chargement}}{\text{temps du cycle}}$ soit maximum ou que $\frac{AB}{OA}$ soit maximum

Ce qui correspond au maximum de l'angle entre la ligne OB et l'axe de temps (puisque si l'angle augmente, le poids de chargement augmente et le temps diminue). Ceci peut seulement être le cas si OB est une tangente de la courbe de chargement.

Le point de tangence B montre, dans ce cas, la durée du cycle économiquement admissible OA et le chargement OB qui a été dragué.

Dans le cas où il n'y a pas de courbe de chargement, comme pour certains navires de la Régie des Voies Maritimes, on peut également chercher le point où on doit arrêter de pomper.

En faisant un cycle trop long (temps de chargement trop grand) on calcule quel est le rendement après chaque point.

Exemple

Point	Temps de chargement	m ³	m ³ /h
1	30'	430	860
2	45'	764	1018
3	55'	860	938
4	65'	1038	958
5	75'	1236	989
6	80'	1286	912

Dans cet exemple, on voit qu'après 75 minutes, on avait un rendement plus élevé qu'après 80 minutes.

PARTIE 4

PRESENTATION DU SERVICE DE DRAGAGE DE LA REGIE DES VOIES MARITIMES

La Régie des Voies Maritimes dispose actuellement de cinq dragues pour les travaux de dragage dans la région divagante : MAYUMBE, BANANA, MWENE-DITU, KASAI et TSHUAPA. A ces 5 unités, il faut ajouter les dragues BUTA et BENGAMISA qui pourraient être utilisées pour le curage des ports de Boma et de Matadi en cas d'ensablement.

Les caractéristiques principales de ces dragues sont :

a) Dragues MAYUMBE et BANANA

Année de construction 1971

Dimensions et caractéristiques principales :

- longueur hors tout	81,30 m
- longueur de flottaison	77,90 m
- longueur entre perpendiculaires	75,00 m
- largeur hors membrures	14,00 m
- creux	6,00 m
- tirant d'eau moyen maximum en eau douce	5,00 m
- capacité des puits	1300 m ³
- profondeur de dragage au-dessous du niveau d'eau à lège	18,00 m
- diamètre intérieur des élinde	850 mm
- densité maximum en charge	2 t/m ³
- vitesse maximum en charge	11 noeuds
- vitesse en dragage	3 à 5 noeuds
- puissance des moteurs de propulsion	2 x 1000 CV à 300 tours/min.
- puissance du moteur-pompe	1000 CV/275/T/min.
- hélices	2
- jauge : brute	1929 tonnes
nette	875,6 tonnes

- Cette drague est capable soit de remettre les déblais dans les puits, soit de les jeter directement par-dessus bord.
- Elle est capable de déposer les matières draguées dans un chaland accosté.
- Elle peut vider son puits à déblais en refoulant vers l'extérieur (par exemple, à terre).
- Elle est capable de déposer les matières draguées grâce à des clapets de fond.

c) Dragues TSHUAPA et KASAI

Année de construction 1976

Dimensions et caractéristiques principales

- longueur totale, environ 82,80 m
- largeur entre perpendiculaires 77,00 m
- largeur 14,00 m
- creux 6,00 m
- tirant d'eau moyen chargé 5,50 m
- port en lourd total au tirant d'eau de 5,50 m
- en eau douce d'une densité de $PS = 1$ 2975 T
- capacité des puits 1500 m³
- diamètre intérieur des tuyaux d'aspiration 900 mm
- profondeur de dragage en dessous du niveau d'eau à lège 18 m
- deux moteurs diesel de propulsion développant chacun, à
600 tours, une puissance de 1220 CV
- un moteur diesel pour actionner la pompe à déblais d'une
puissance de 1220 CV
- vitesse des dragues à vide 11 noeuds
- vitesse en dragage 3 à 5 noeuds
- hélices 2
- force motrice 380 volts
courant alternatif

La drague "KASAI" est équipée d'une élinde traînante et d'une élinde fixe. Equipement pour travail à la houle : chaque élinde traînante est munie d'un compensateur de houle.

Fonctions

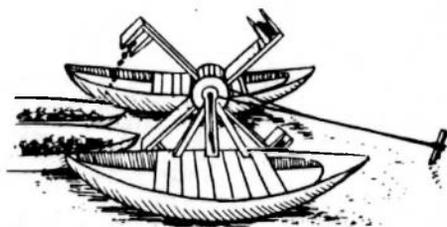
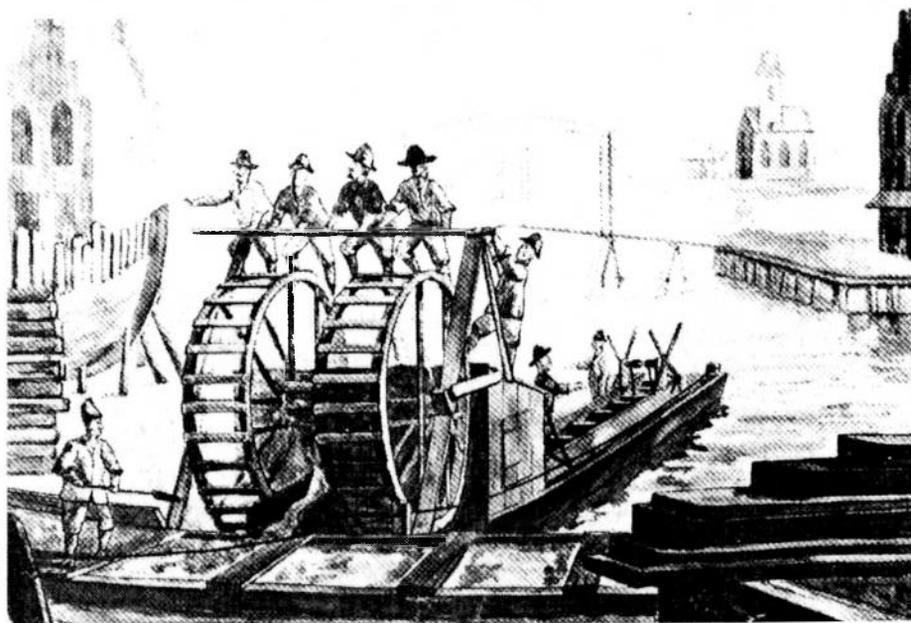
- Ces dragues sont capables soit de remettre les déblais dans les puits, soit de les jeter directement par-dessus bord.
- Elles sont capables de déposer les matières draguées dans un chaland accosté.
- Elles peuvent vider leurs puits à déblais en refoulant vers l'extérieur (par exemple, à terre).
- Elles sont capables de déposer les matières draguées moyennant des clapets de fond, de type coulissant longitudinal.
- Elles sont capables d'aspirer du fond : de l'eau, des graviers, du sable, des vases et de l'argile molle.
- Les élinde se trouvent à BABORD.

REFERENCES

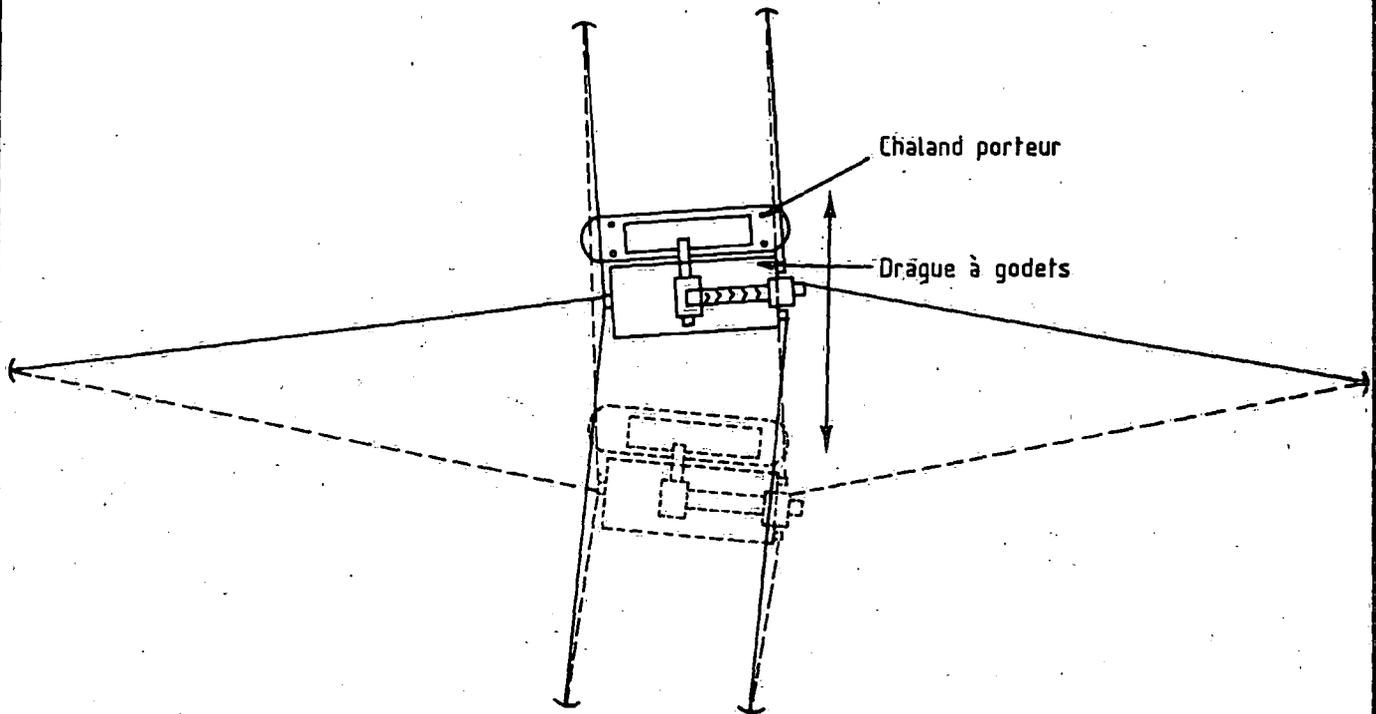
- Ports and Dredging (nrs. 100 en 110)
(IHC Holland - Boîte Postale 208 - 3350 AE Papendrecht - Nederland)
- Terra et Aqua (IADC, Duinweg 21 2585 JU Den Haag - Nederland)
- Floating Dredges (ir. Roorda - ing. Vertregt)
- Overzicht moderne baggermethodes (ir. Simoen)
- Randvoorwaarden voor het inzetten van baggerwerktuigen (prof. ir. de Koning)
- Natte waterbouw (prof. ir. van Lohuizen)
- Zink- en aanverwante werken (ing. Hakkeling)
- Tijdschrift Dredging and Port Construction
- Baggerwerktuigen (Technische Hogeschool Delft)
- Practical Dredging and allied subjects (H. Cooper)
- Baggerwerktuigen en nat grondverzet (ing. F. Warnier)



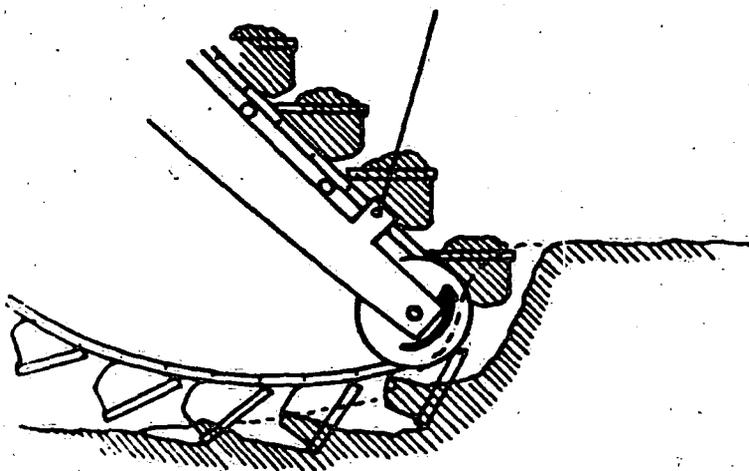
ANCIENNES DRAGUES



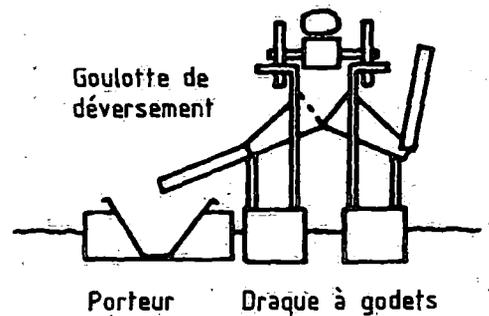
FONCTIONNEMENT DE LA DRAGUE A GODETS



Moyen de déplacement d'une drague à godets :
4 ancres laterales, 1 ancre de proue et 1 ancre de poupe



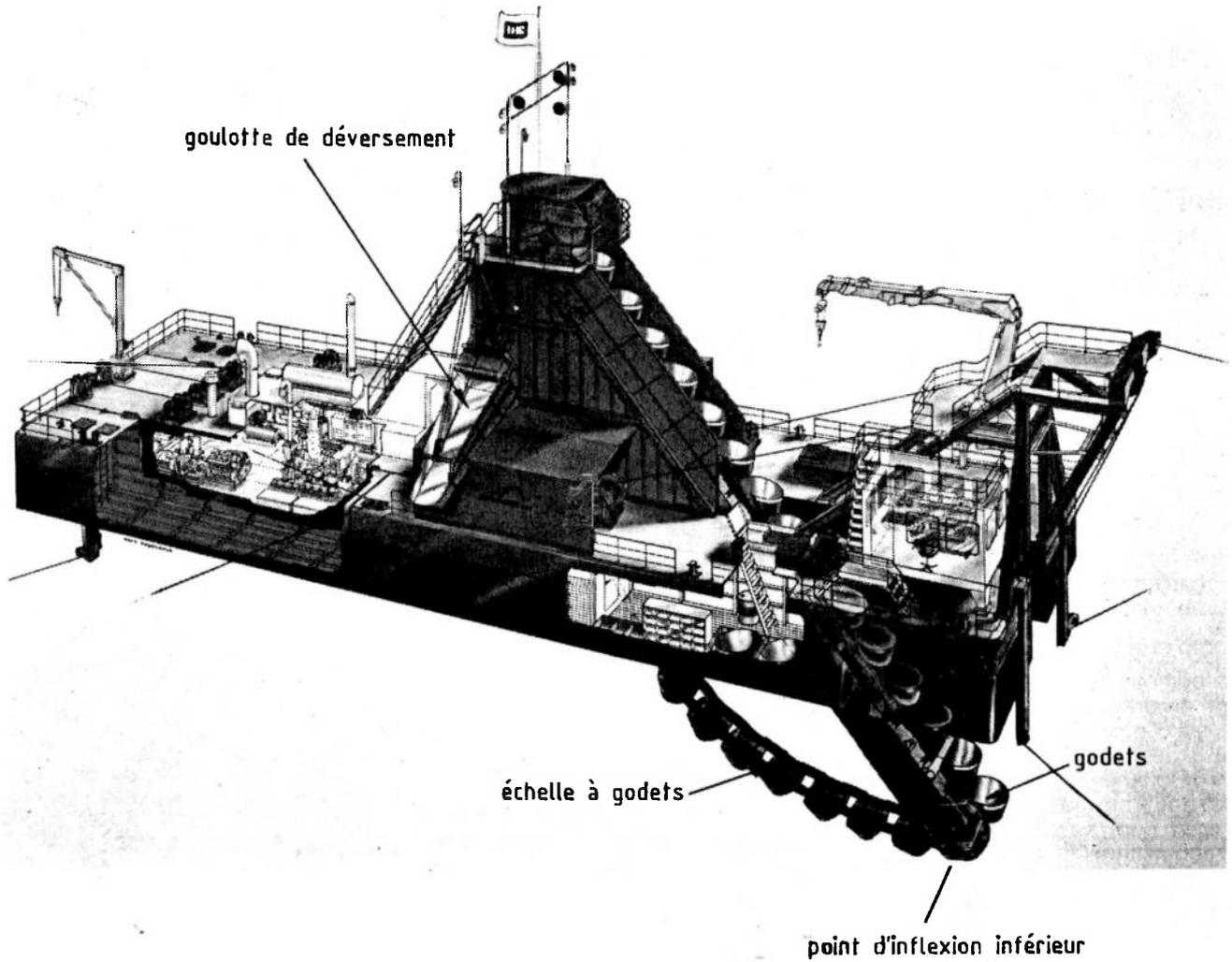
Creusement du sol par des godets



Chargement du sol dragué dans
une navire porteur à déblais par
une goulotte de déversement

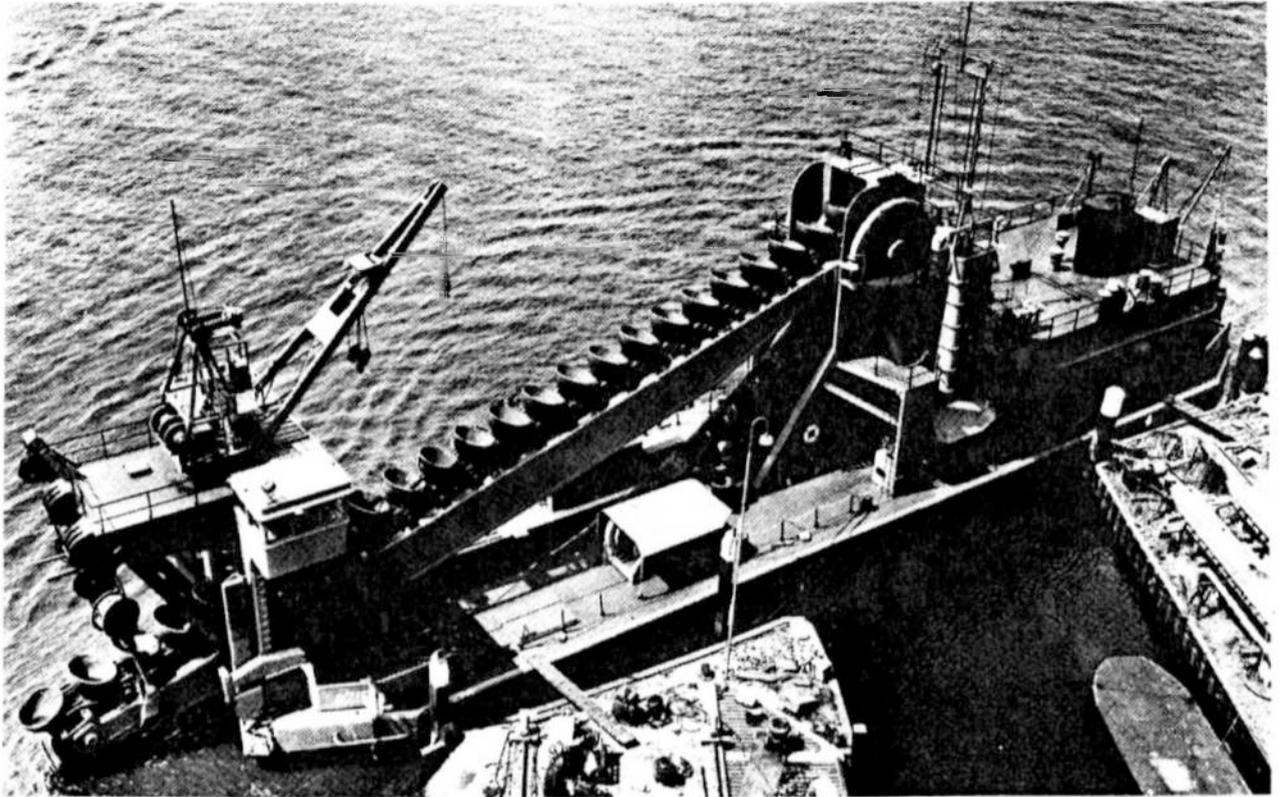


VUE PERSPECTIVE D'UNE DRAGUE A GODETS





DRAGUES A GODETS



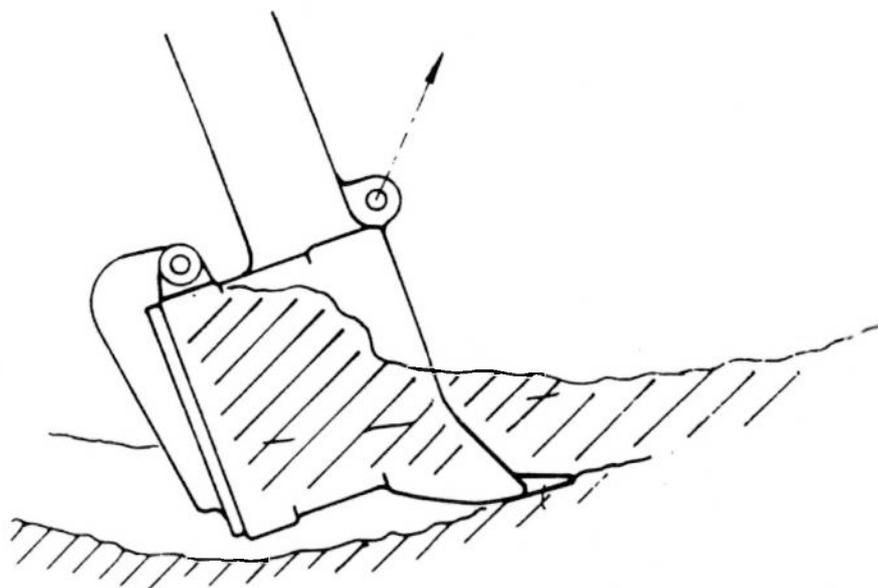
Draque à godets



Godets et
dents de coupe

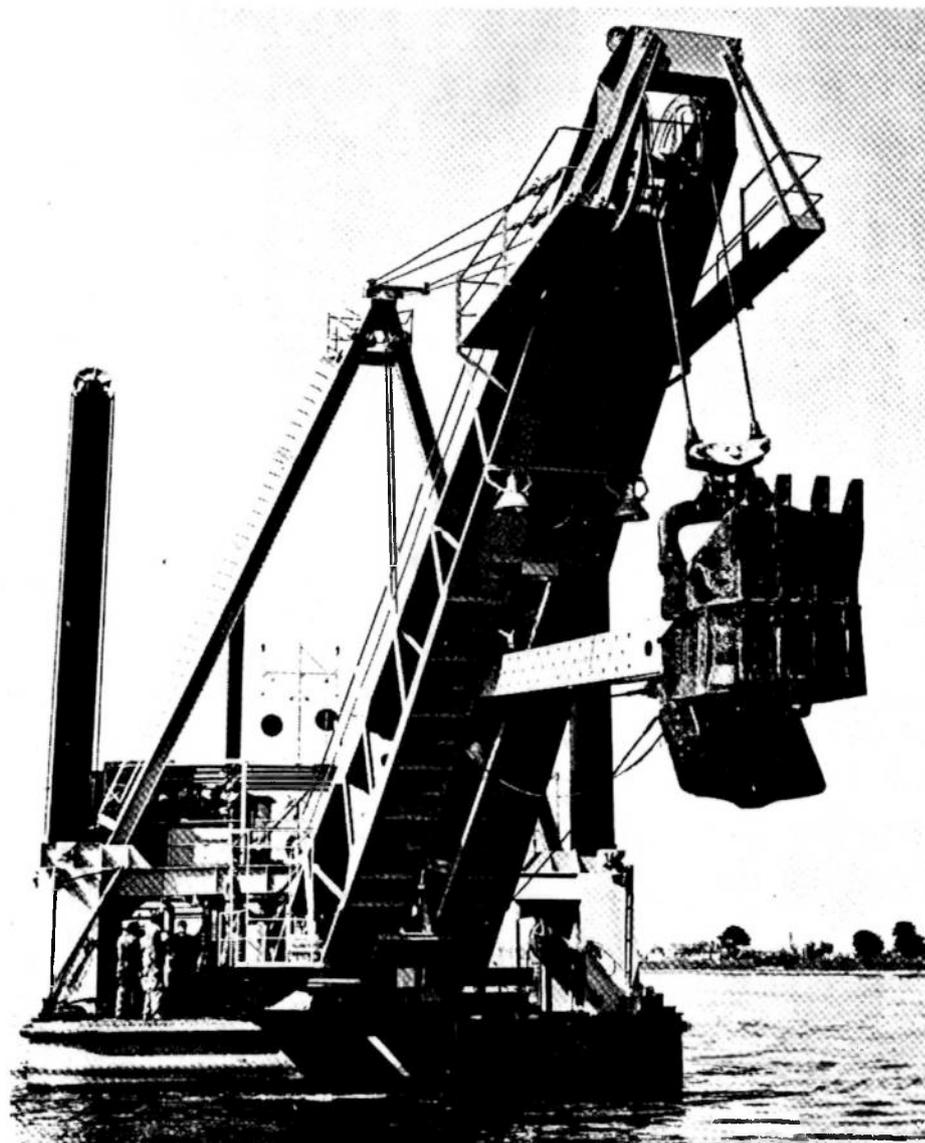


DRAGUE A PELLE MECANIQUE



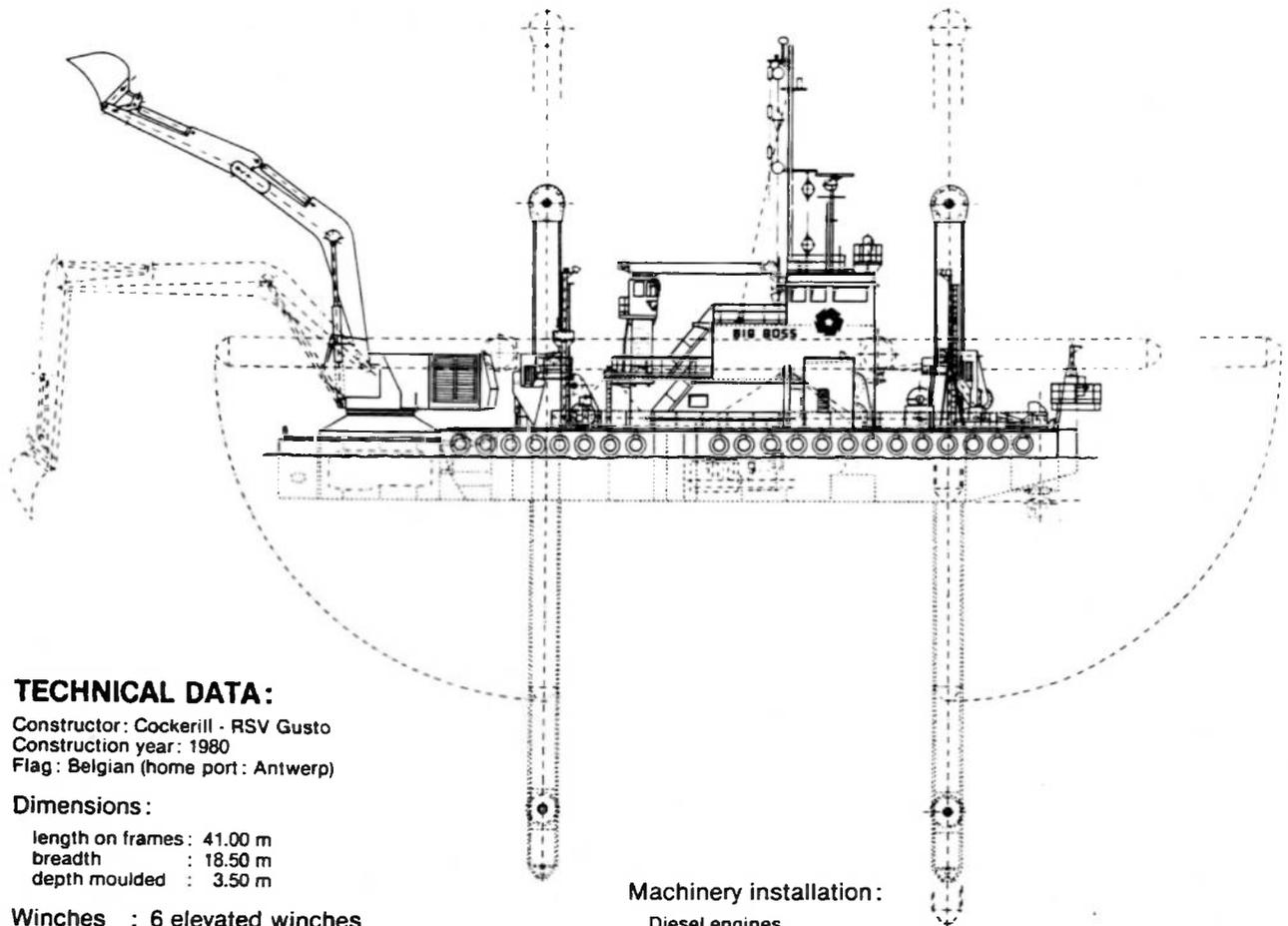
Technique de déblai

Drague à pelle mécanique





"BIG BOSS" : LA PLUS GRANDE DRAGUE A PELLE
AU MONDE



TECHNICAL DATA :

Constructor: Cockerill - RSV Gusto
Construction year: 1980
Flag: Belgian (home port: Antwerp)

Dimensions :

length on frames: 41.00 m
breadth : 18.50 m
depth moulded : 3.50 m

Winches : 6 elevated winches

Spuds : number: 3
length: 35.50 m
min. depth below baseline: 0 m

Propulsion: Aquamaster type ATL 400/4250
electric motor: 2 x 500 HP - 368 kW - 1,770 RPM

Deckcrane: 3 tons x 12 m
min. radius: 12 tons x 3.3 m

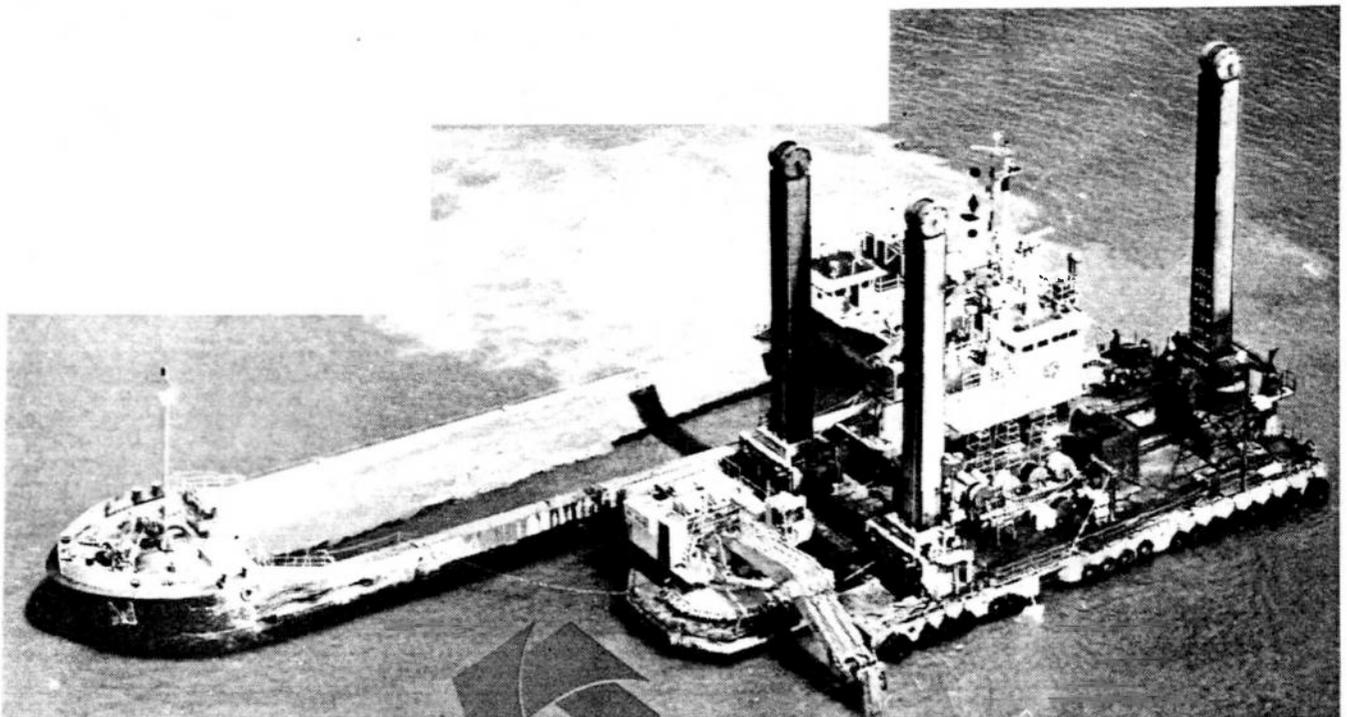
Machinery installation:

Diesel engines

Propulsion	: 1 x 1,200 HP = 1,200 HP	883 kW	900 RPM
A.C. generator	: 2 x 140 HP = 280 HP	206 kW	1,800 RPM
Backhoe	: 1 x 1,298 HP = 1,298 HP	955 kW	1,800 RPM
		<u>2,778 HP</u>	<u>2,044 kW</u>

Generators

Main generators	: 2 x 117 kVA	440 V AC	60 Hz	1,800 RPM
Propulsion	: 1 x 1,000 kVA	440 V AC	60 Hz	900 RPM





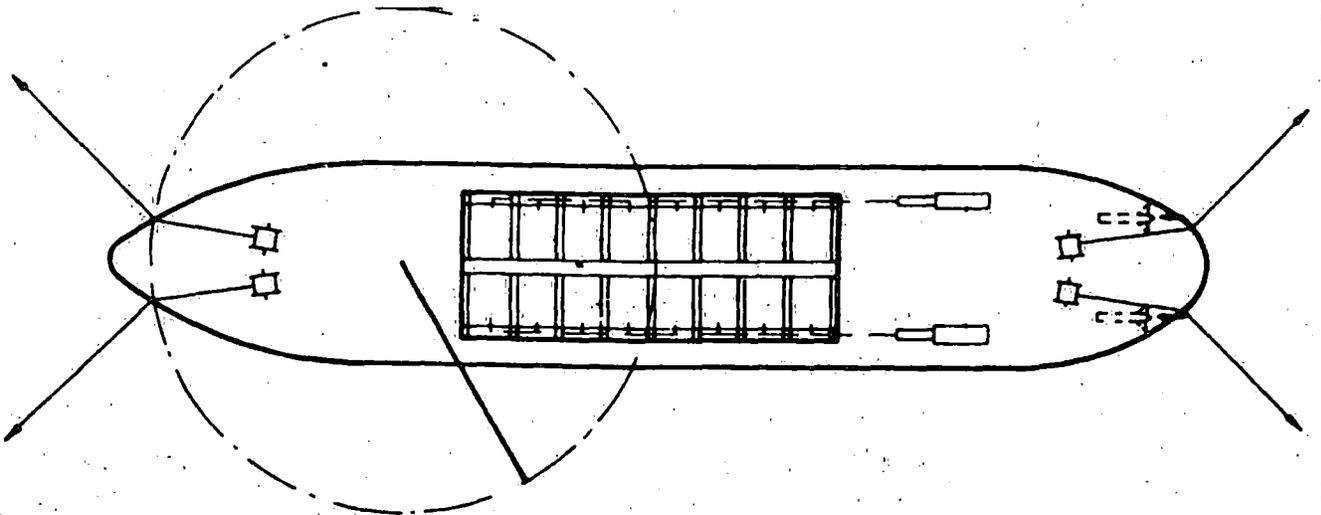
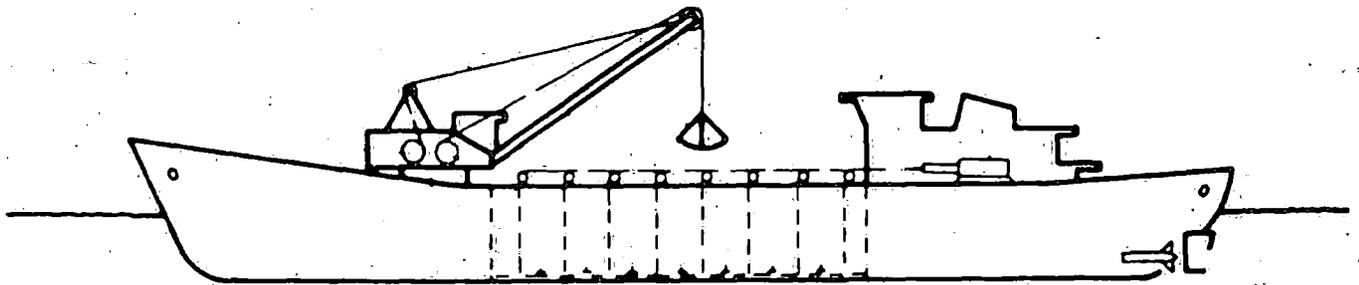
LABORATOIRE DE
RECHERCHES
HYDRAULIQUES

MOD. 255

BIEF MARITIME
DU FLEUVE ZAIRE

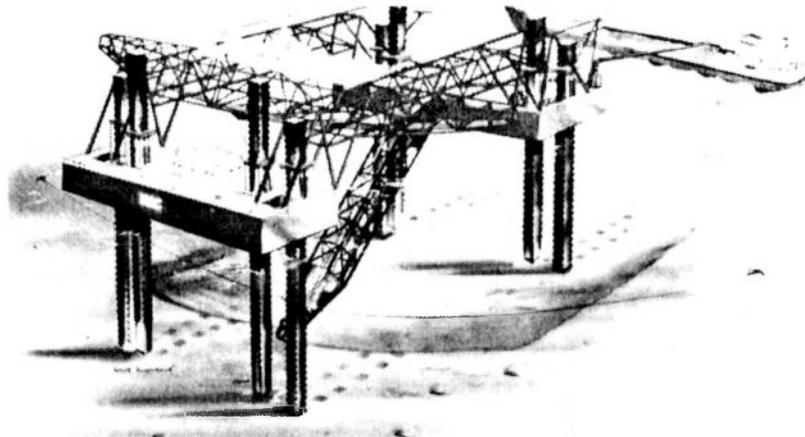
Figure 7

DRAGUE A BENNE PRENEUSE





PLATES - FORMES AUTO-ELEVATRICES



Drague aspiratrice à tête
coupante montée sur
plate-forme élévatrice à
jambes



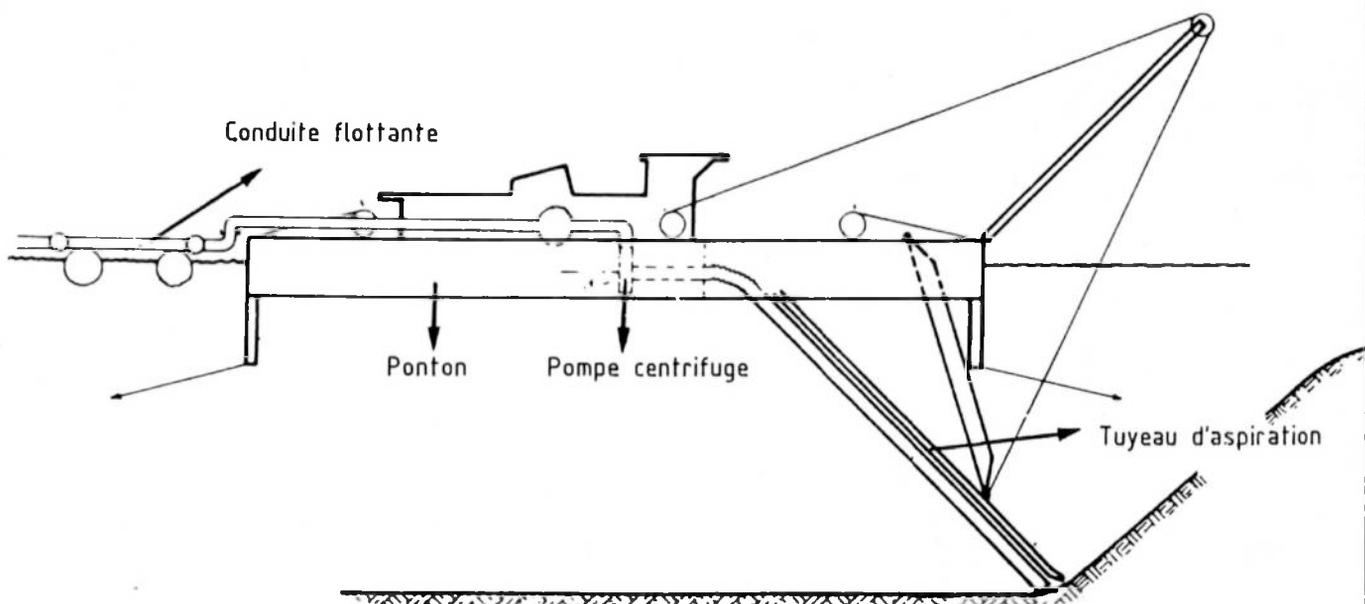
Plate-forme élévatrice
avec grue de montage



ENGIN DE DRAGAGE AMPHIBIE
SUCCEUSE STATIONNAIRE



Engin de dragage amphibie



Succeuse stationnaire

W.L. 17-78

Conduite de refoulement flottante

pieux spud

Conduite de refoulement

Bigue à ancre

Pompe de dragage

Echelle à désagregateur et conduite

Désagregateur



LABORATOIRE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES

MOD. 255

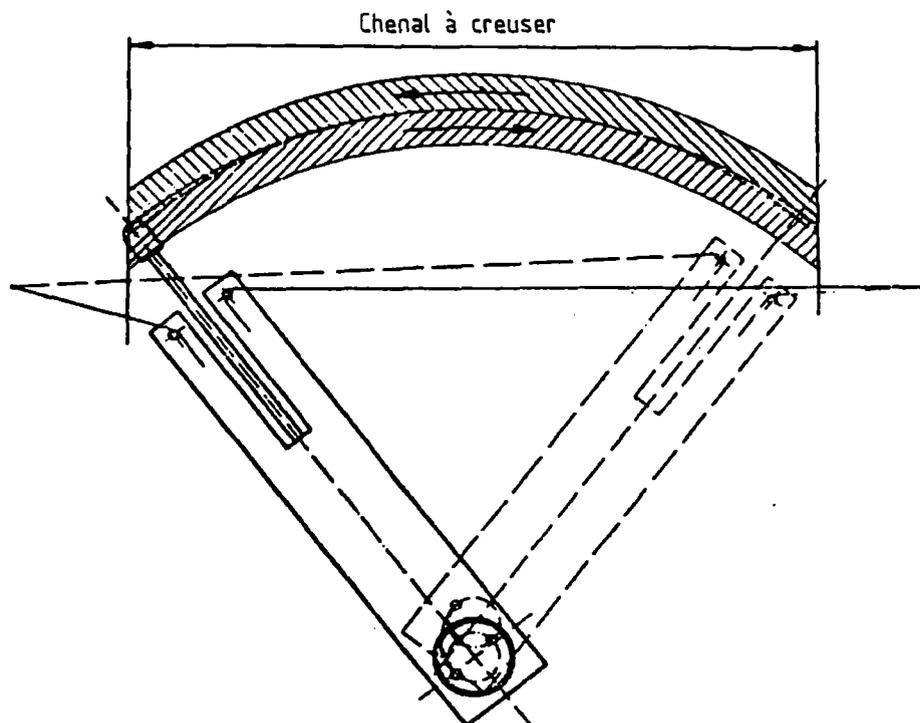
BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

VUE PERSPECTIVE D'UNE DRAGUE A DESAGREGATEUR

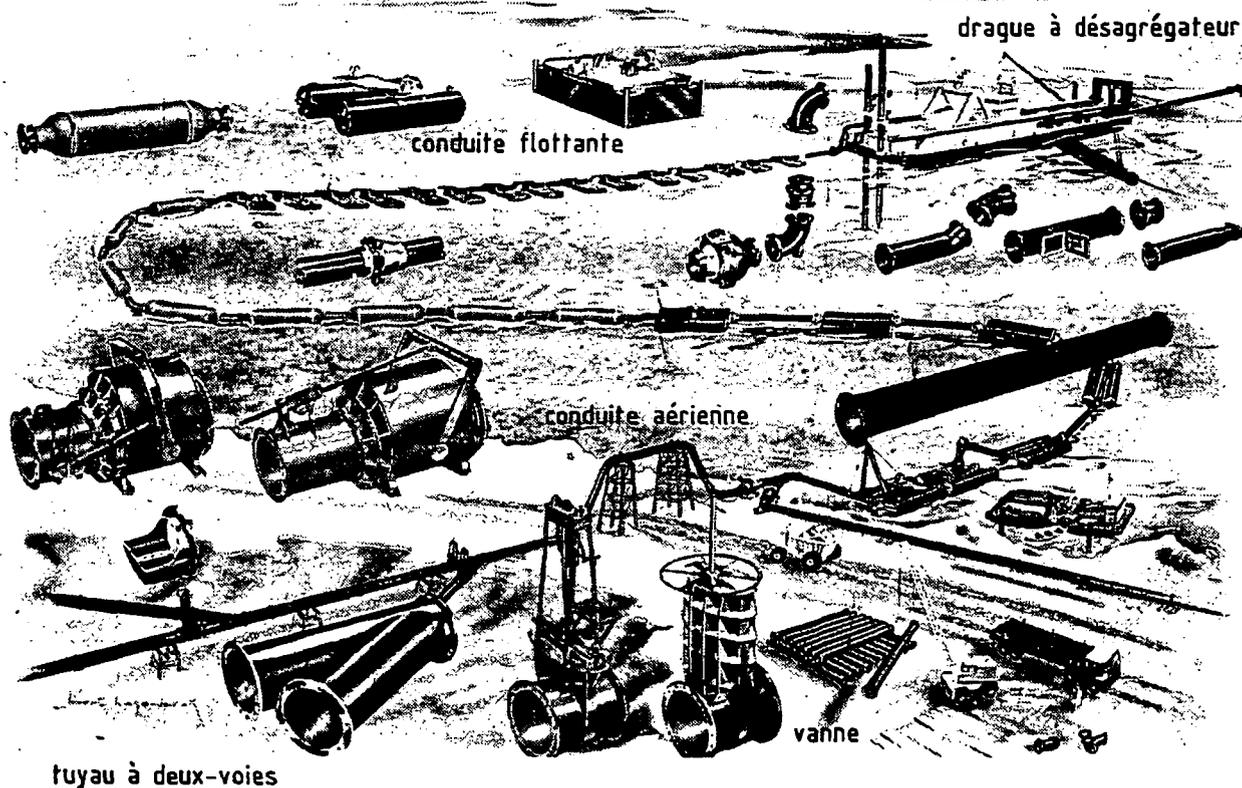
Figure 10



DRAGUES A DESAGREGATEUR



Façon de se déplacer de la drague à désagrégateur
(sur pieux spud et ancrés)

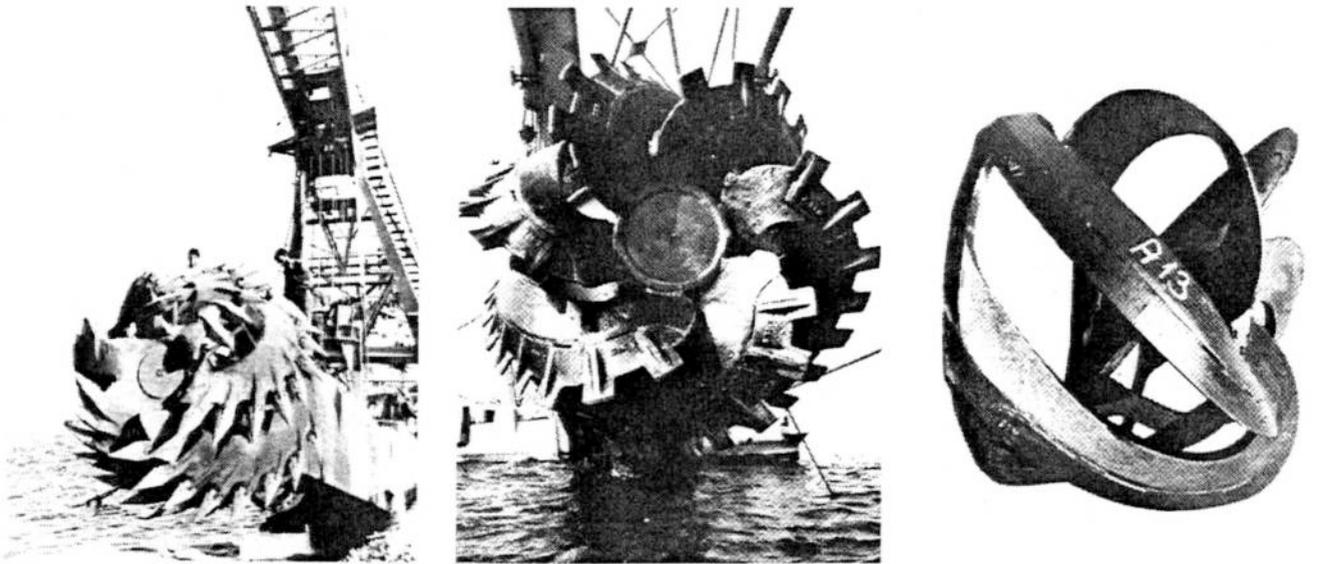


tuyau à deux-voies

Sortes de conduites de refoulement d'une drague à désagrégateur

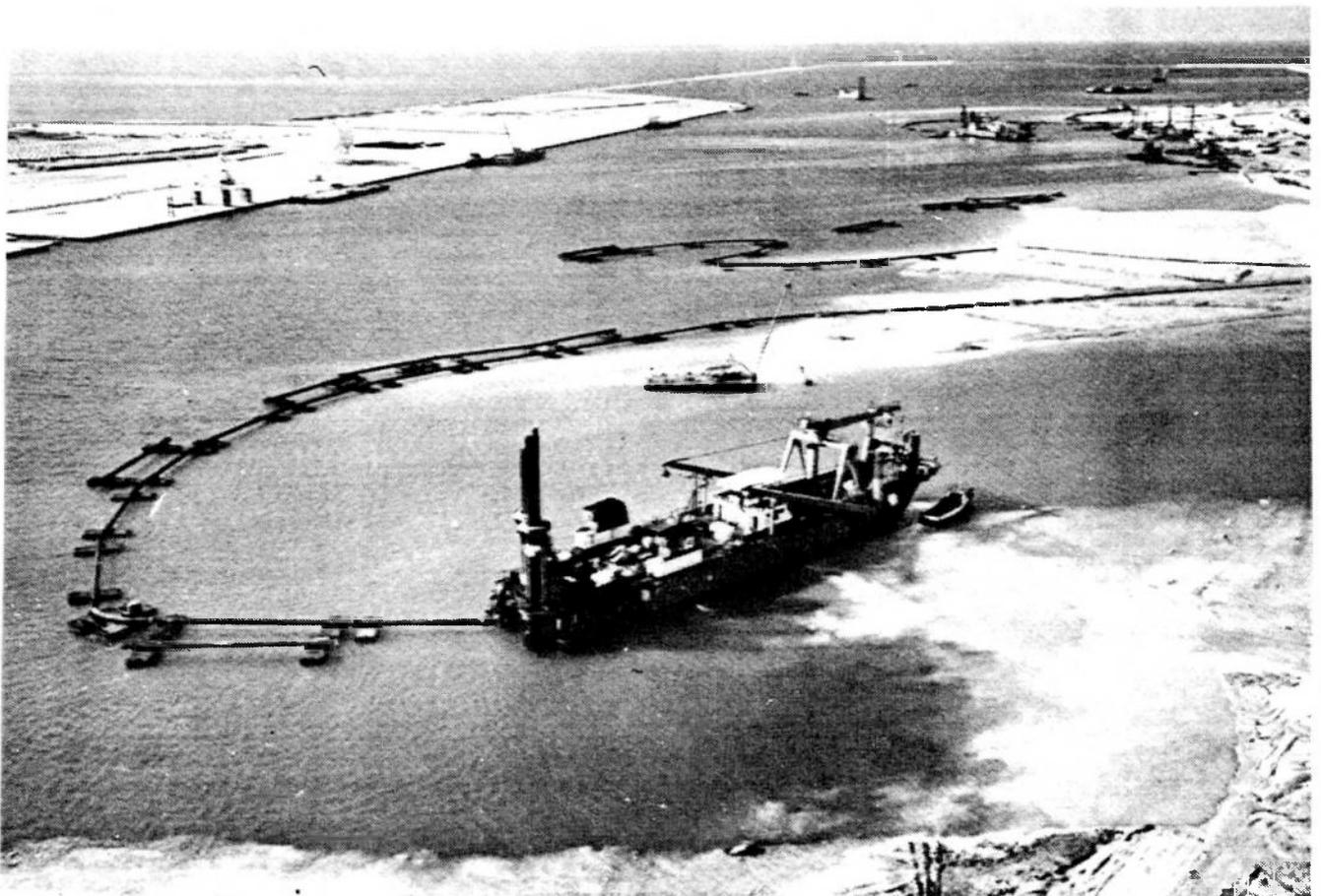


DRAGUES A DESAGREGATEUR



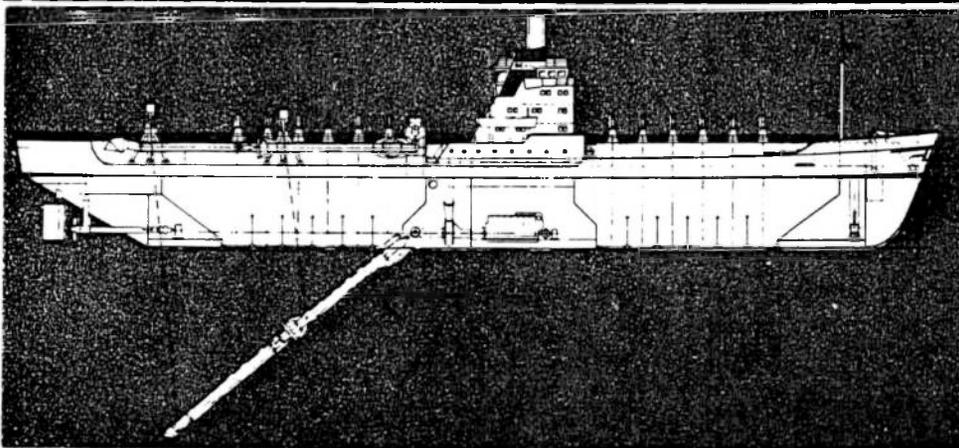
Quelques types de désagrégateur

Réf. : I.H.C. 1978 - Cutter Suction dredgers



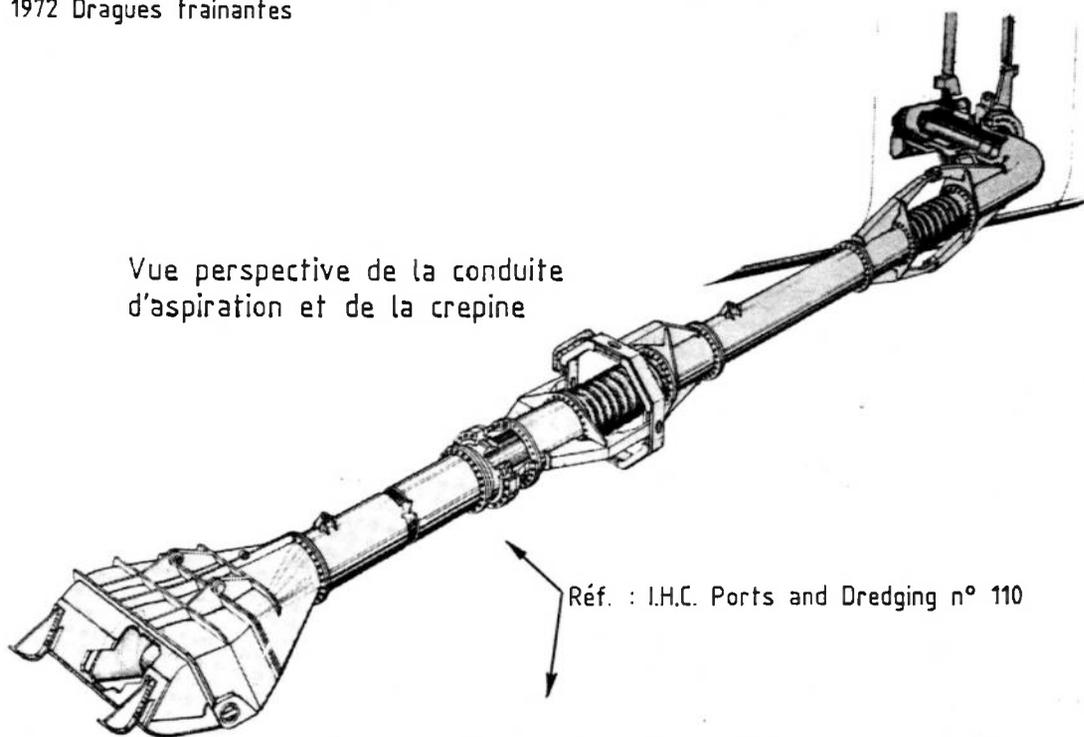


DRAGUES TRAINANTES

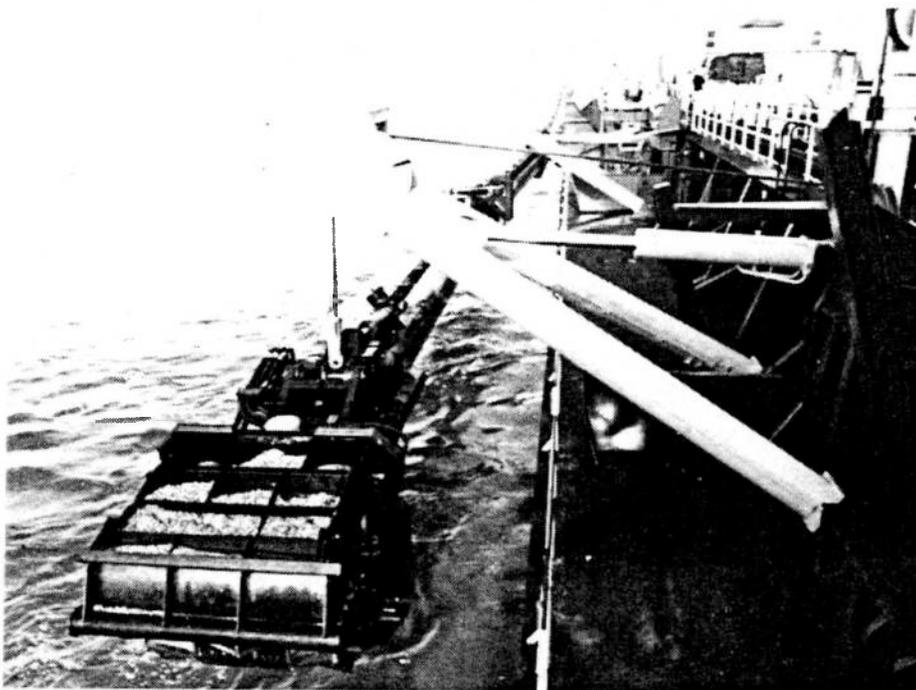


Réf. : I.H.C. 1972 Dragues trainantes

Vue perspective de la conduite
d'aspiration et de la crepine



Placement de la conduite par dessus bord





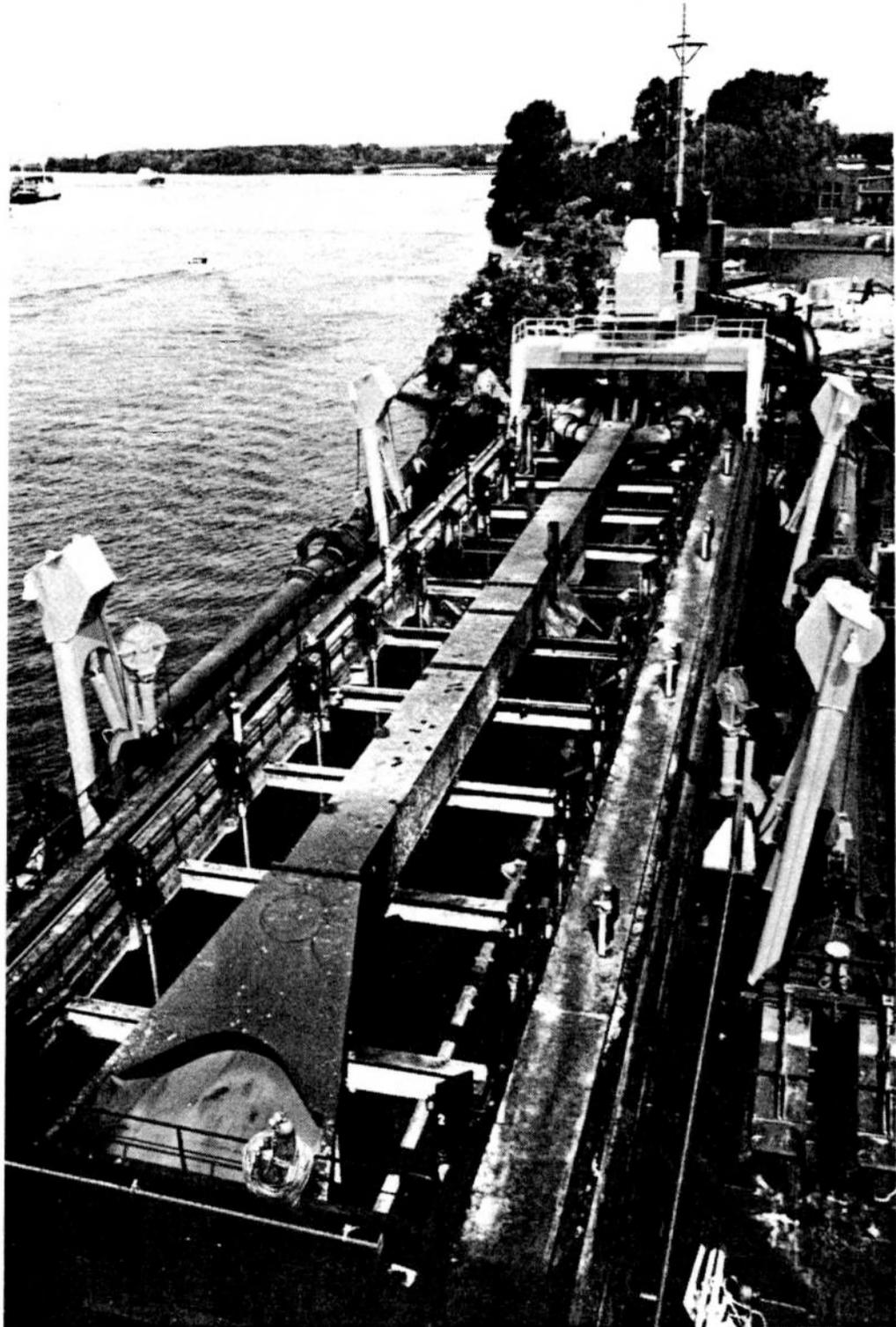
LABORATOIRE DE
RECHERCHES
HYDRAULIQUES

MOD. 255

BIEF MARITIME
DU FLEUVE ZAIRE

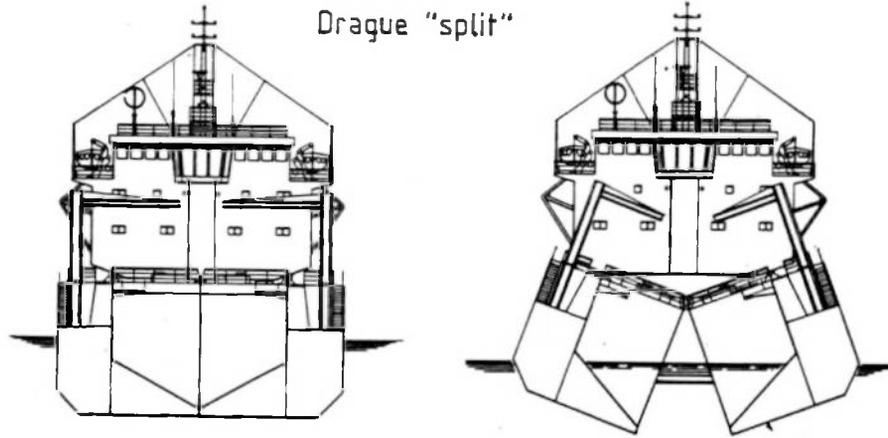
Figure 14

DRAGUE TRAINANTE
PUITS A DEBLAIS



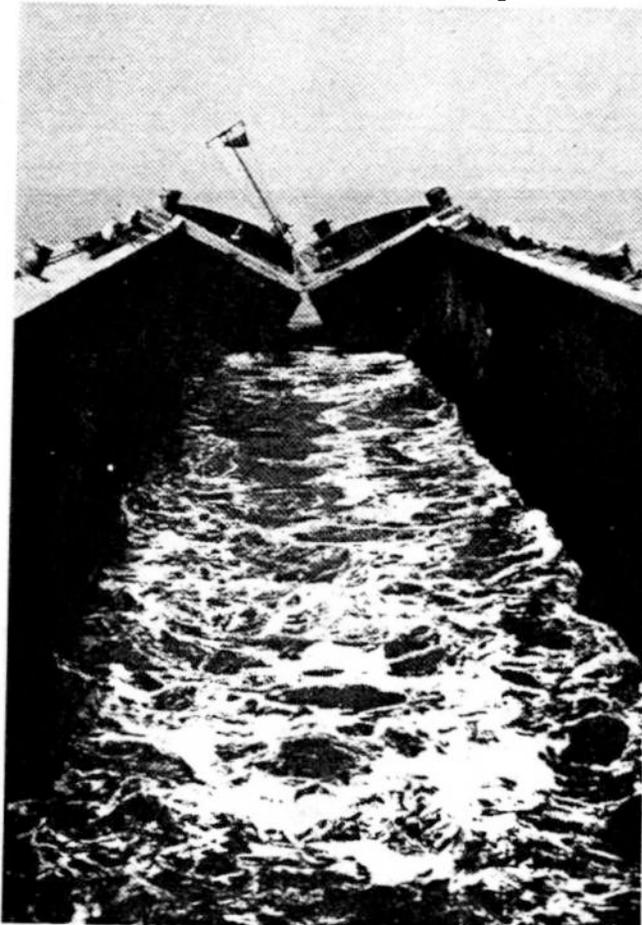


DRAGUE "SPLIT" ET OMNIBARGE



Réf. : I.H.C. - Ports and Dredging n° 110

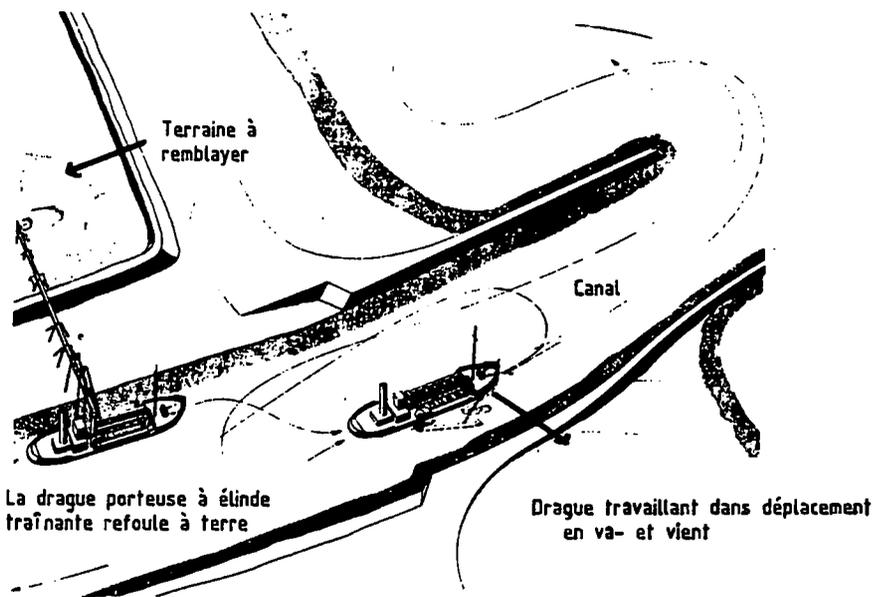
Omnibarge



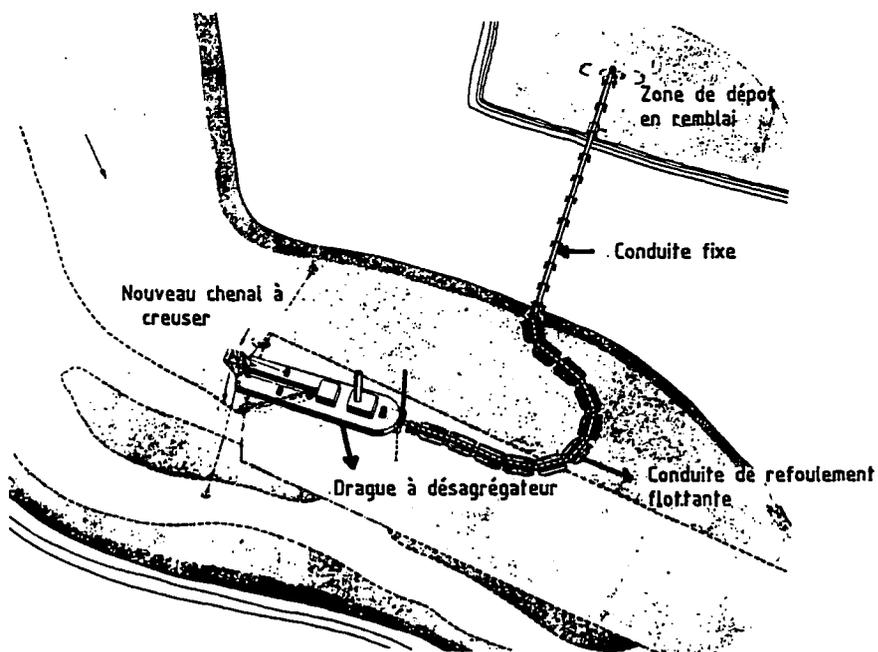
Réf. : I.H.C. 1973 - Omnibarge



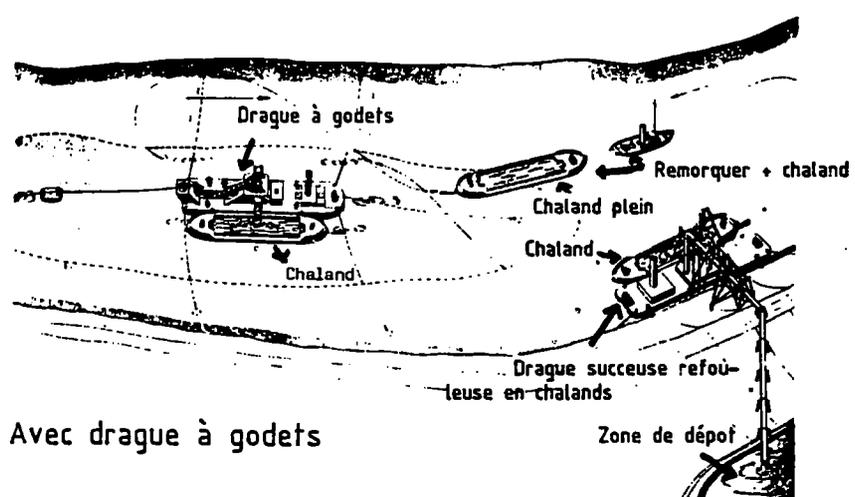
QUELQUES PROJETS DE DRAGAGE



Avec drague traînante



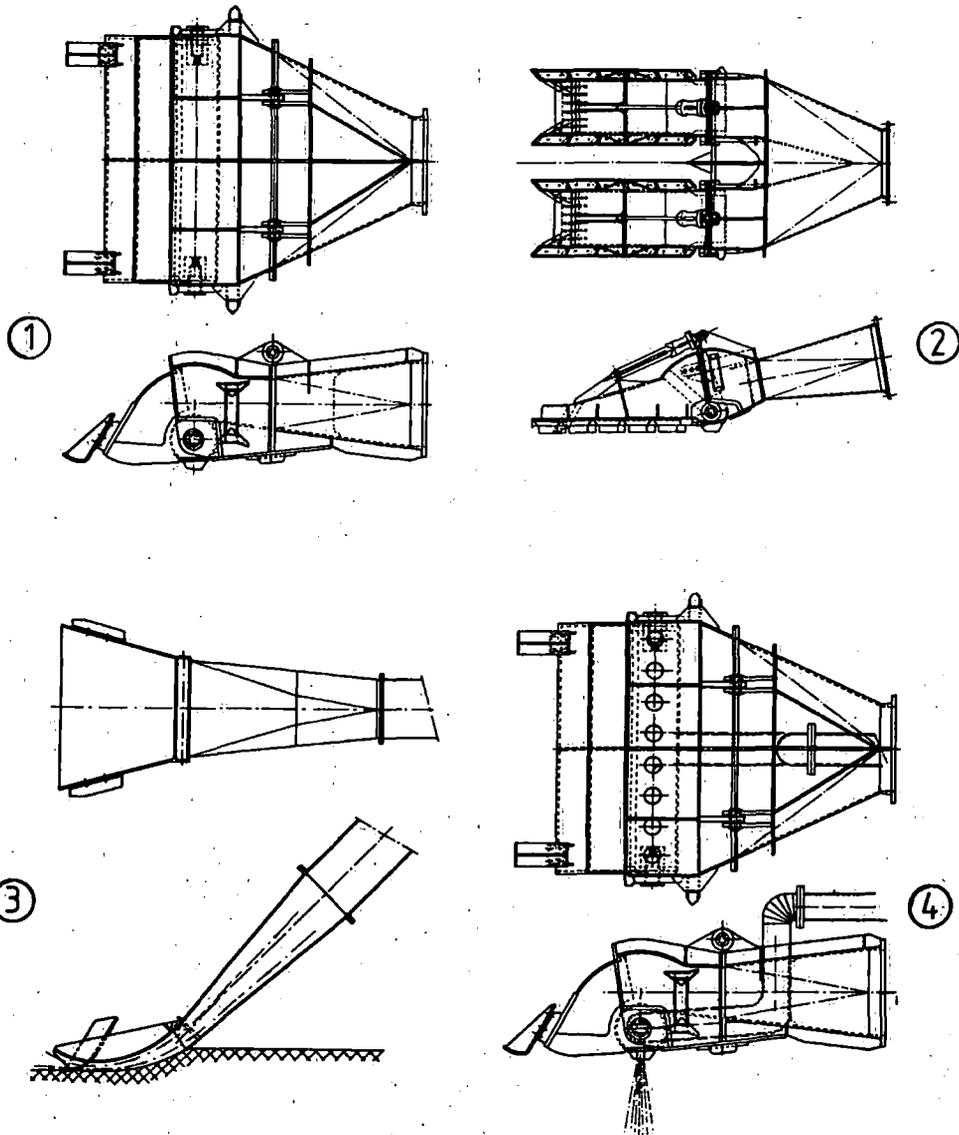
Avec drague à désagrégateur



Avec drague à godets



SORTES DE CREPINÉS



1 Crépine I.H.C. à visière

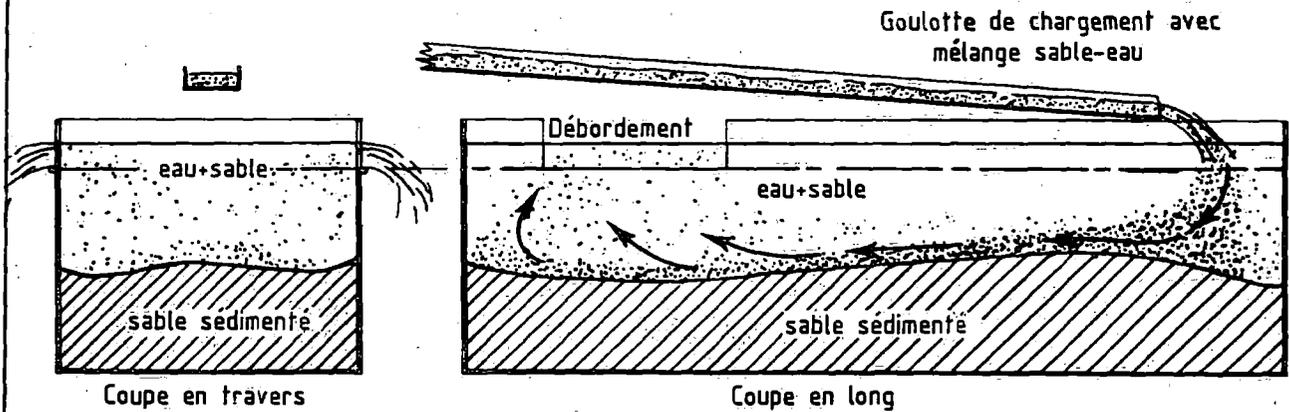
2 Crépine californienne

3 Crépine venturi

4 Crépine à visière avec des jets d'eau



CYCLE DE DRAGAGE



Réf. : I.H.C. 1972 - Dragues traînantes

Fig. 18,1

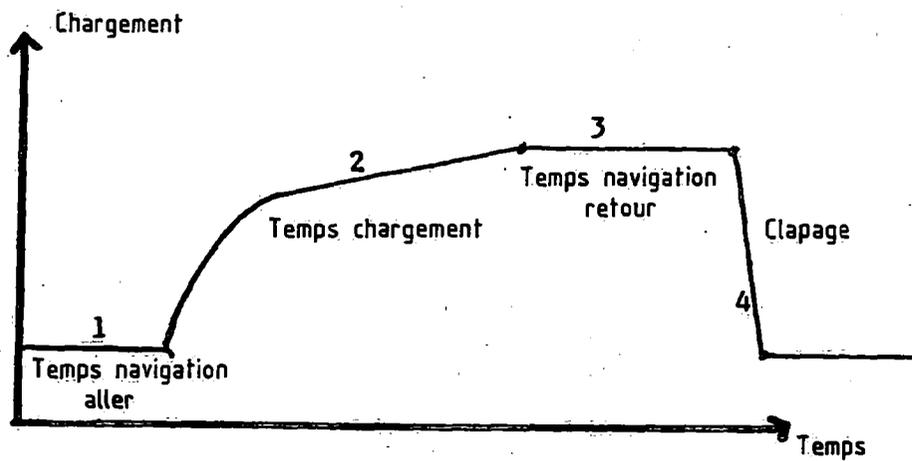


Fig 18.2

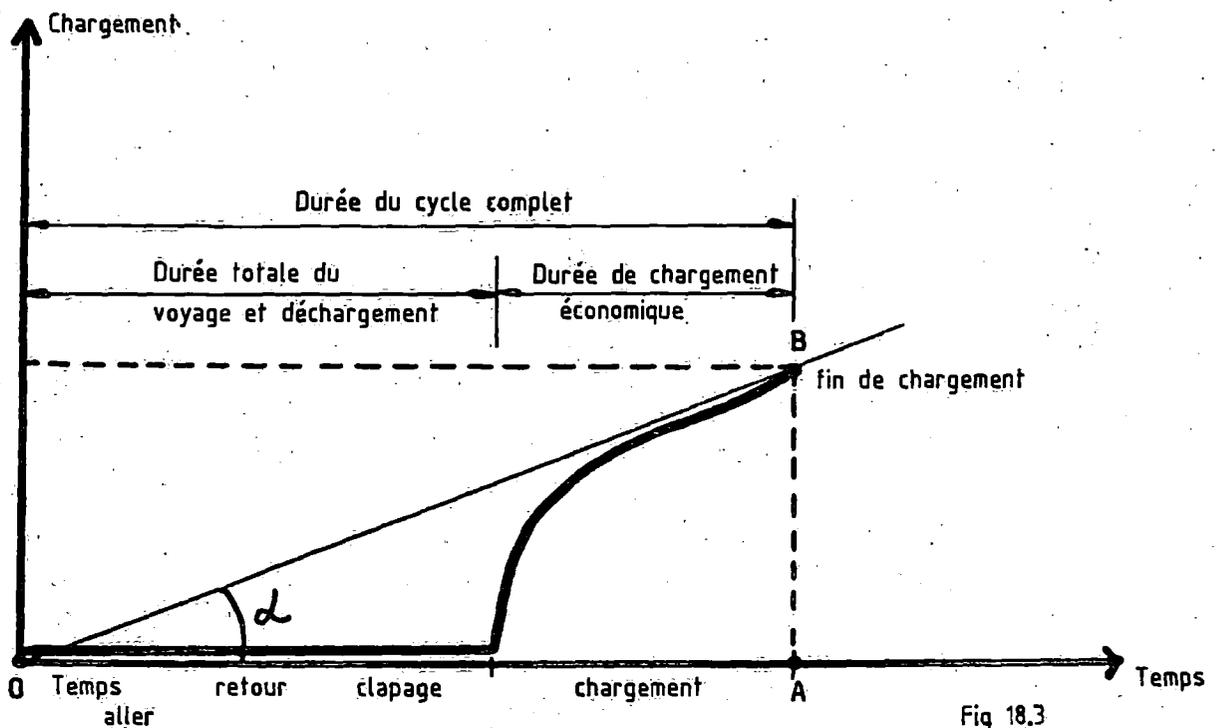


Fig 18.3

1. THEORIE DES ERREURS APPLIQUEE A L'HYDROMETRIE

1.1. Introduction

1.2. Théorie des erreurs - Rappels - Définitions

1.2.1. Valeur vraie - valeur estimée

1.2.2. Définitions

1.2.3. Ajustement par une loi mathématique (curve fitting)

2. SOURCE DES ERREURS

2.1. Enumération des erreurs possibles

2.1.1. Mesure aux flotteurs

2.1.2. Mesure au moulinet hydromérique en station fixe

2.1.3. Mesure par intégration transversale

2.2. Erreurs dans la détermination de la vitesse

2.2.1. Calibration du moulinet

2.2.2. Propriétés du fluide

2.2.3. Effets de paroi

2.2.4. Obliquité des courants

2.2.5. Turbulence

2.2.6. Durée de la mesure

2.2.7. Nombre de verticales et nombre de points par verticale

3. COMPARAISONS DES METHODES DE MESURES

3.1. Méthodes utilisées lors d'une opération de jaugeage

3.1.1. Comparaison des méthodes

3.1.2. Relation M/M30 en fonction de la période de mesure

3.1.3. Comparaison des résultats de débits calculés avec les méthodes SVN et SVN' et ceux calculés avec la méthode LHR

4. PRECISION SUR LA MESURE DES DEBITS - APPLICATION A LA SECTION DE NTUA-NKULU

4.1. Buts

4.2. Dépouillements préliminaires

4.2.1. Profil en travers

4.2.2. Répartition verticale des vitesses

4.2.3. Répartition des vitesses dans la section

4.2.4. Durée de la mesure

4.3. Procédure des dépouillements

5. CONCLUSIONS

TABLEAU

FIGURES

1. THEORIE DES ERREURS APPLIQUEE A L'HYDROMETRIE

1.1. Introduction

Depuis le début du siècle, des mesures hydrographiques sont effectuées sur le fleuve Zaïre, second fleuve au monde par les volumes d'eau écoulée vers les océans. Depuis 1927, des mesures de débit ont été effectuées par période dans les 500 derniers kilomètres du fleuve entre Kinshasa et l'Océan Atlantique.

Différentes méthodes de mesures des débits ont été utilisées :

- mesure des courants de surface par flotteurs;
- mesure par moulinet hydrométrique en stations fixes;
- méthode par intégration transversale.

Les deux premières méthodes ont été utilisées depuis le début, la troisième méthode a été introduite en 1969.

A plusieurs reprises, des mesures simultanées ont été effectuées avec deux ou trois méthodes différentes de façon à estimer les avantages et inconvénients de chacune d'elles.

Actuellement, la méthode par intégration transversale est utilisée pour la mesure des répartitions des débits entre différents chenaux et dans le lit majeur. La méthode au moulinet fixe est utilisée dans les sections de jaugeage de référence, la méthode des flotteurs est utilisée dans des cas d'écoulements complexes du point de vue de la direction des courants et parfois en parallèle avec une des deux méthodes précitées.

La détermination de la précision des mesures de débit fait intervenir plusieurs types d'erreurs aléatoires et systématiques. La connaissance des rapports existant entre chacune des méthodes permet d'établir des corrélations et des recommandations quant au choix et à l'utilisation des techniques de mesure.

1.2. Théorie des erreurs - Rappels - Définitions

1.2.1. Valeur vraie - valeur estimée

L'erreur sur la mesure d'un débit peut être définie comme étant la différence entre la valeur mesurée et la valeur vraie.

La valeur vraie de l'écoulement est inconnue et ne peut être estimée qu'en calculant l'incertitude de la mesure. Cette incertitude peut être définie comme la gamme dans laquelle la valeur vraie est connue à 95 % (cette gamme représente en statistique, l'intervalle de confiance) (fig. 1a).

L'erreur de la mesure est normalement estimée au moyen de n observations et en calculant son écart (= la déviation standard), avec de préférence $n > 30$.

En procédant de la sorte, il serait nécessaire de procéder à n observations de jaugeage pour un niveau constant, ce qui est pratiquement impossible. C'est la raison pour laquelle l'estimation de la valeur vraie est faite en analysant toutes les sources d'erreurs intervenant dans la mesure.

1.2.2. Définitions

Erreur : différence entre valeur mesurée et valeur vraie.

Incertainité : gamme dans laquelle la valeur vraie ou mesurée a 95 % de chance d'exister

Loi normale : loi de distribution symétrique autour d'un maximum correspondant à la valeur moyenne de la population (ou loi de Gauss)

admettant pour fonction de répartition :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du$$

$$\text{avec } u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad \begin{array}{l} \bar{x} = \text{moyenne} \\ \sigma = \text{écart-type} \end{array}$$

Écart-type (standard-déviation) : paramètre mesurant la dispersion de l'échantillon autour de la moyenne arithmétique (fig. 1b)

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecart	Niveau de confiance
$Q \pm 0,675 \cdot \sigma$	0,50
$Q \pm 1 \cdot \sigma$	0,68
$Q \pm 2 \cdot \sigma$	0,95
$Q \pm 3 \cdot \sigma$	0,99

Erreur aléatoire : erreur expérimentale correspondant à l'écart des mesures autour de la valeur moyenne en accord avec la loi normale. Ce sont les erreurs les plus importantes dans le jaugeage des cours d'eau.

Erreur systématique : erreur que l'on ne peut réduire en augmentant le nombre de mesures. Elles sont liées aux instruments et à l'équipement.

Variance : carré de l'écart-type σ^2

$$\sigma_T^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots$$

Coefficient de variation : $CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$, très utilisé en hydrologie, est un paramètre de dispersion donnant la variation relative d'une variable en conjonction avec sa moyenne arithmétique.

1.2.3. Ajustement par une loi mathématique (curve fitting) (fig. 1c)

Tout comme les populations à une variable, on peut définir les populations à deux variables x_i, y_i :

à $\{x_i\}$ existe une moyenne $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

et un écart-type $\sigma_x = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

à $\{y_i\}$ existe une moyenne $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

et un écart-type $\sigma_y = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$

Si les couples de valeurs (x_i, y_i) sont liés par une relation $y_i = f(x_i)$, on peut rechercher une loi qui approche au mieux cette population.

Une des techniques couramment utilisée est celle de la régression par la méthode dite "moindres carrés" : (fig. 1d)

Si nous faisons l'hypothèse d'une régression linéaire : $y = ax + b$

donc $d_i = y_i - (ax_i + b)$

$$\sum_i d_i^2 = \sum_{i=1}^n \{y_i - (ax_i + b)\}^2$$

expression à rendre optimale par les méthodes classiques de l'analyse numérique.

Le coefficient de corrélation, r^2 , représentatif de la dispersion des points autour de la loi choisie, sera tel que $0 \leq r^2 \leq 1$.

De nombreux programmes existent pour déterminer la valeur des coefficients des lois choisies (droite, parabole, exponentielle, fonction logarithmique, ...).

2. SOURCE DES ERREURS

2.1. Énumération des erreurs possibles

2.1.1. Mesure aux flotteurs

1. Erreur sur la position (départ et arrivée); sextant
2. Erreur sur le temps
3. Erreur sur l'angle
4. Erreur sur le rapport \bar{V}/V_S
5. Influence du vent
6. Erreur sur la section transversale
7. Courants hélicoïdaux
8. Influence de la marée
9. Longueur des tourbillons.

2.1.2. Mesure au moulinet hydrométrique en station fixe

1. Erreur sur la position sur le profil en travers choisi
2. Pivotement du bateau autour de l'ancre
3. Influence de l'inclinaison du câble sur la mesure de la profondeur
4. Etalonnage du moulinet
5. Mouvement vertical du bateau
6. Effets de paroi (mesure sur la crête/mesure dans le creux)
7. Obliquité des courants
8. Durée de la mesure
9. Nombre de points par verticale (répartition verticale des vitesses)
10. Nombre de verticales (répartition horizontale des vitesses)
11. Effet de la marée.

2.1.3. Mesure par intégration transversale

Les erreurs peuvent être classées en trois catégories :

1. Erreurs de mesures (vitesse, angle et profondeur)
2. Erreur de position due à la dérive du bateau suivant le profil imposé (erreur de visée)
3. Erreur dans les calculs et de la détermination du rapport \bar{V}/V_S , de la largeur et de la profondeur.

2.2. Erreurs dans la détermination de la vitesse

2.2.1. Calibration du moulinet

Mis à part les erreurs dues à l'établissement de la courbe d'étalonnage dépendant de l'installation utilisée pour calibrer le moulinet, il semble raisonnable de proposer que le plus grand pourcentage d'erreurs aura lieu pour les basses vitesses. Néanmoins, lorsque la vitesse augmente, ce pourcentage d'erreurs décroît rapidement.

D'autre part, une altération de l'étalonnage, due au manque d'entretien du matériel, aux chocs accidentels ayant pu fausser le mécanisme, à la détérioration des pales de l'hélice, peut se produire dans le temps.

Il y aura lieu, dès lors, de vérifier annuellement la validité de la courbe d'étalonnage du moulinet en procédant à une mesure comparative à l'aide d'un moulinet témoin. En général, l'état d'un moulinet ne s'améliore pas et on sous-estime la vitesse lorsque le moulinet perd de ses qualités.

2.2.2. Propriétés du fluide

Les caractéristiques de l'eau, telles que sa densité et sa température, n'ont pas d'effets sensibles sur le moulinet et sur sa courbe d'étalonnage. Schubauer et Mason (*) concluent qu'un changement de densité ne peut causer une erreur appréciable, excepté pour les charges élevées en sédiment.

2.2.3. Effets de paroi

Les frontières géométriques de l'écoulement et leur nature perturbent fortement le gradient de vitesse aux abords de ces parois. La présence de tourbillons et de contre-courbes (présence d'une dune ou d'un point dur) peut donner de fausses indications sur la répartition des vitesses.

En principe, la courbe des vitesses passe par le point représentatif du fond sur la verticale (vitesse nulle). Toutefois, si, lors des mesures, le moulinet ne tourne pas lorsque le saumon touche le fond et que la première mesure

* Schubauer and Mason
Performance characteristics of a watercurrent meter and in air
Jour. Nat. Bur. Stds., Vol. 18 : 351-360, 1937.

de vitesse n'a pu être obtenue que plus haut, une ambiguïté se présente, qui ne peut être résolue qu'en adoptant un tracé "logique" de la courbe pour son raccordement au fond. Ainsi, près de parois très rugueuses, le moulinet peut répondre de manière erronée mais il n'existe pas d'estimations quantitatives de ce pourcentage d'erreur.

2.2.4. Obliquité des courants

Pour un écoulement se présentant obliquement (verticalement ou horizontalement) par rapport à l'axe du moulinet, la valeur mesurée ponctuellement devient $V_0 \cdot \cos \alpha$, α étant l'angle d'inclinaison par rapport à l'axe du moulinet.

La correction à apporter peut s'exprimer comme suit :

$$V_c = C_0 \cdot V_0$$

avec V_c = vitesse mesurée par le moulinet

$C_0 = f(\alpha)$ = coefficient dépendant de l'obliquité des courants

V_0 = vitesse vraie

Ces erreurs ont été déterminées par divers expérimentateurs et reproduites sur le graphique donné à la figure 2.

Certaines hélices sont dites autocomposantes lorsque leur tracé particulier permet d'obtenir la composante de la vitesse suivant l'axe de l'hélice, même lorsque les filets d'eau font, avec l'axe de l'hélice, un angle important.

2.2.5. Turbulence

Le moulinet est calibré en eau calme et utilisé pour mesurer la vitesse dans un écoulement turbulent. La vitesse oscille sans cesse autour d'une certaine vitesse moyenne (oscillation en grandeur et direction) et l'amplitude de ces pulsations n'est, en général, pas petite par rapport à la grandeur de la vitesse elle-même.

Si $u = \bar{v}$ est la vitesse moyenne, la différence $v' = \bar{v} - u$ entre les vitesses vraie et moyenne, qui révèle la variation irrégulière caractéristique de la turbulence, sera la partie "pulsatoire" de la vitesse.

Cette partie peut être décomposée en :

- 1°) pulsations de grandes périodes (rôle majeur de l'écoulement turbulent, d'où nécessité de mesurer pendant un temps suffisamment long);
- 2°) pulsations de petites périodes.

Les fluctuations radiales causent une sous-estimation de la vitesse, cet effet variant en fonction de la forme de l'hélice. Les fluctuations axiales causent une sur-estimation de la vitesse. Les erreurs systématiques dues à la turbulence peuvent être réduites en utilisant des moulinets moins lourds (rotor en plastique), l'erreur aléatoire peut être réduite en augmentant la durée de la mesure.

2.2.6. Durée de la mesure

Comme présenté ci-dessus, en augmentant la durée de la mesure, on diminue l'importance des fluctuations de longues périodes. Le choix d'un temps optimal pour la détermination d'une estimation correcte d'une vitesse locale dépendra essentiellement du degré de turbulence de l'écoulement.

les premières conclusions générales concernant la nature des pulsations de la vitesse locale sont :

- les pulsations sur une même verticale augmentent avec la profondeur et sont plus importantes près du fond;
- dans le profil transversal, les pulsations de la vitesse augmentent de l'axe vers les rives;
- sur une verticale, les pulsations croissent avec un accroissement de la vitesse;
- les pulsations augmentent avec un accroissement de la rugosité.

2.2.7. Nombre de verticales et nombre de points par verticale

Ces influences, très importantes, dépendent de l'allure générale de la répartition des vitesses dans la section, celle-ci dépendant des conditions d'amont, de la bathymétrie, de la grandeur relative de la section, de l'existence de courants hélicoïdaux, etc...

L'annexe 6 relative à la mesure spéciale effectuée à Ntua-Nkulu explique et chiffre en détail ces influences mutuelles.

Le tableau 1 reprend de manière succincte l'ensemble des erreurs existant lors du jaugeage.

3. COMPARAISONS DES METHODES DE MESURES

3.1. Méthodes utilisées lors d'une opération de jaugeage

Le but est de comparer entre elles les différentes méthodes de mesure des débits utilisés dans la région divagante, à savoir la méthode appelée :

- M_{30} : calcul des débits à partir des mesures en station fixe au moulinet situé à 30 cm sous la surface de l'eau;
- M_{100} : calcul des débits à partir des mesures en station fixe au moulinet situé à 100 cm sous la surface de l'eau;
- M : moulinet classique ou moulinet hydrométrique (2/10, 4/10, 6/10, ...);
- F : mesure aux flotteurs d'une largeur $\pm 1,20$ m;
- I : mesure par intégration transversale.

L'analyse des rapports M_{100}/F , M_{30}/F , M_{100}/I , ... en fonction de EE. Boma ou du débit permet d'établir des corrélations entre chacune de ces méthodes.

Le tableau de correspondance ci-après donne les valeurs respectivement de la moyenne et de l'écart-type pour chacun des rapports N/D.

Les figures 5a à d représentent l'évolution de ces rapports en fonction du débit. Nous remarquons que les valeurs de débit déterminées par M30 sont égales à celles données par M100.

Si les valeurs moyennes varient entre 1 % et 15 %, les écart-types peuvent présenter des valeurs non négligeables pour certaines de ces méthodes ($(Q_I/Q_F) = \pm 0,125$).

3.1.1. Comparaison des méthodes (fig. 5 et 6)

$\begin{matrix} N \\ D \end{matrix}$	Q_M	Q_F	Q_I	Q_{M30}	Q_{M100}
Q_M		1,102 $\pm 0,015$	1,164 $\pm 0,026$	1,131 $\pm 0,004$	1,140 $\pm 0,004$
Q_F	0,911 $\pm 0,013$		1,095 $\pm 0,125$	1,033 $\pm 0,015$	1,033 $\pm 0,015$
Q_I	0,836 $\pm 0,019$	0,925 $\pm 0,105$		0,996 $\pm 0,020$	0,998 $\pm 0,022$
Q_{M30}	0,876 $\pm 0,003$	0,972 $\pm 0,0013$	1,011 $\pm 0,022$		1,001 $\pm 0,001$
Q_{M100}	0,878 $\pm 0,003$	0,973 $\pm 0,013$	1,008 $\pm 0,022$	0,999 $\pm 0,001$	

3.1.2. Relation M/M30 en fonction de la période de mesure

Nous remarquons que la dispersion et la valeur moyenne diminuent en fonction des années, résultat témoignant de l'amélioration apportée à la réalisation des campagnes de jaugeage (fig. 3a).

3.1.3. Comparaison des résultats de débits calculés avec les méthodes SVN et SVN' et ceux calculés avec la méthode LRH

Méthode SVN : débit = somme des produits : surface mouillée d'un tronçon et moyenne arithmétique des vitesses aux limites de ce tronçon

surface mouillée : profondeurs mesurées par échosondeur + planimétrie.

Méthode SVN' : débit = idem SVN

surface mouillée : profondeurs mesurées par moulinet + calcul (interp. linéaire).

Méthode LRH : débit = somme des produits : longueur d'un tronçon et moyenne arithmétique des débits unitaires (vitesse x profondeur).

Le tableau ci-dessous fournit les résultats des comparaisons :

	<u>SVN</u> LRH	<u>SVN'</u> LRH	<u>SVN</u> SVN'
n	16	16	16
\bar{x}	0,982	0,980	1,002
σ	0,015	0,008	0,013

$$\text{donc } SVN = 0,982 \cdot LRH$$

$$LRH = 1,021 \cdot SVN'$$

$$SVN = 0,982 \times 1,021 SVN' = 1,003 SVN'$$

Nous pouvons dès lors conclure que :

- 1° les résultats calculés avec la méthode SVN sont environ 2 % plus faibles que ceux calculés avec la méthode LRH
- 2° cette différence est causée par la méthode de calcul. En effet, la comparaison SVN/SVN' est en moyenne pratiquement égale à 1. Donc le fait qu'on ait mesuré les profondeurs par écho-sondeur et planimétré la surface mouillée ou bien qu'on ait mesuré les profondeurs par moulinet et interpolé ces profondeurs est négligeable.

4. PRECISION SUR LA MESURE DES DEBITS - APPLICATION A LA SECTION DE NTUA-NKULU

4.1. Buts

Au moyen d'une mesure complète, on demande de déterminer l'influence sur la précision de la mesure du débit en prenant comme variables :

- le nombre de verticales;
- le nombre de points par verticale;
- la durée de la mesure en un point

On y déterminera également :

- l'influence de la dérive du moulinet;
- l'influence du vent sur les vitesses superficielles;
- l'erreur de positionnement du bateau;
- la mesure du profil en travers.

Cette mesure devra être complétée par une mesure comparative aux flotteurs.

4.2. Dépouillements préliminaires

4.2.1. Profil en travers (fig. 3b)

L'erreur sur la détermination de la section mouillée sera prouvée par les dessins du profil en travers mesuré à l'aide de l'échogramme, celui mesuré avec les profondeurs brutes et celui à partir des mesures corrigées lues au moulinet.

On déterminera et comparera la valeur de la surface, du périmètre mouillé et du rayon hydraulique suivant les trois relevés

- A_E surface mouillée par échogramme
- A_B surface mouillée par profondeur "brute"
- A_C surface mouillée par profondeur "corrigée"

4.2.2. Répartition verticale des vitesses

Pour chacune des verticales, on dessinera la répartition verticale des vitesses (fig. 3c)

On calculera la vitesse moyenne sur base de :

- profil réellement mesuré, $[\bar{V}_R]$
- profil ajusté par la loi du type logarithmique : $v = a + b \cdot \ln h$, $[\bar{V}_T]$
- vitesse moyenne à 6/10, $[\bar{V}_{0.6}]$
- vitesse moyenne par les vitesses à 2/10 et 8/10, $[\bar{V}_{0.2/0.8}]$

4.2.3. Répartition des vitesses dans la section

On dessinera les lignes isotaches dans l'ensemble de la section (fig. 4).

Les valeurs intermédiaires sont obtenues par interpolations linéaires.

Par exemple :

Pour trouver l'isotache de 1 m/s :

$$V7 : \frac{1,00 - 0,95}{1,23 - 0,95} \times 1,50 = \frac{0,05}{0,28} \times 1,50 = 0,27$$

$$V6 : \frac{1,00 - 0,90}{1,15 - 0,90} \times 1,50 = \frac{0,10}{0,25} \times 1,50 = 0,60$$

4.2.4. Durée de la mesure

On calculera la valeur des vitesses ponctuelles en fonction du nombre de contacts enregistrés après 100, 200 et 300 secondes.

Au moyen du suivi des fluctuations de la vitesse à 1 m de profondeur pendant la durée de mesure, on calculera la vitesse moyenne après 30 sec, 60 sec, 120 sec, 240 sec, 360 sec, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min,

4.3. Procédure des dépouillements

1. Calcul du débit au moyen de l'entièreté des verticales (20) et de tous les points par verticale : Q_1 .
2. Influence du nombre de points par verticale
 - ($P_t - 40$), ($S - 30$) et 1 point tous les 3 m : Q_{21}
 - ($P_t - 40$), ($S - 30$) et 1 point tous les 4,5 m : Q_{22}
 - 2/10 et 8.10 : Q_{23}
 - 6/10 : Q_{24}
3. Influence de l'implantation des verticales
 - verticale n° 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 : Q_{31}
 - verticale n° 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 : Q_{32}
 - verticale n° 3, 6, 9, 12, 15, 18 : Q_{33}
4. Influence du nombre de verticales
 - 10 verticales [n° 1,3,5,7,9,11,13,15,17,19] : Q_{41}
 - 7 verticales [n° 1,4,7,10,13,16,19] : Q_{42}
 - 12 verticales [n° 1,2,3,5,7,9,12,14,16,18,19,20] : Q_{43}
 - 5 verticales [n° 1,6,11,16,20] : Q_{44}
 - 3 verticales [n° 1,11,20] : Q_{45}

Chacune des verticales sera calculée avec l'entièreté des points de mesure pour rendre les effets indépendants.

Les résultats de ces calculs sont présentés dans l'annexe 6.

5. CONCLUSIONS

La détermination des erreurs commises lors d'une campagne de jaugeage et leur évaluation relative permettent d'améliorer la précision du débit mesuré.

L'estimation des erreurs partielles peut être obtenue soit grâce à une approche probabiliste au moyen d'un "modèle d'erreur" soit grâce à des mesures systématiques permettant d'isoler l'importance de chacune d'entre-elles.

La mise en valeur de sources d'erreurs préférentielles permet d'établir des recommandations à respecter lors des campagnes de jaugeage et de parvenir à optimiser le temps pris pour les effectuer.

T A B L E A U : RECAPITULATIF DES SOURCES D'ERREURS POSSIBLES LORS D'UN JAUGEAGE

SOURCE DES ERREURS	TYPE	ERREUR FONCTION DE	VALEUR RELATIVE
1. Erreur sur la vitesse			
1.1. Vitesse en un point			
- courbe de calibration	aléatoire	précision de la procédure de l'étal.	> 30 cm/s : + 0,5 % < 30 cm/s : >> 0,5 %
- propriétés du fluide (visco., dens.)	systematique	climat; sédiment	cond. normale 0
- effets de parois	systematique	profondeur, rugosité relative, distribution des vitesses	h > 3,0 m : 0
- obliquité des courants	systematique	courants traversiers, mauvais choix de la section	
- microturbulence	systematique	degré de turbulence et sa variabilité	négative
- temps de mesure	aléatoire	précision voulue; pulsations	t ≥ 120 sec : faible
1.2. Répartition dans l'espace			
- Distribution verticale	systematique	entre le profil vrai et supposé	+ 1,5 à 5 %
- Distribution horizontale	aléatoire	nombre de verticales choisies et leur implantation	+ 5 %
- Localisation sur le profil en travers et à la profondeur voulue	aléatoire	précision des appareils de posit. et l'habileté de l'opérateur inclinaison du câble	direct sur le Q
1.3. Répartition dans le temps			
- Pulsation de l'écoulement	aléatoire	distribution vitesses locales dans le temps	> + 2 % sur Q
- Marée; crues; non permanente	systematique	phénomènes hydrauliques	variable
2. Erreur sur la surface mouillée			
- mesure de la profondeur	systematique	vitesse d'écoulement (dérive)	de 0 à 5 %
- mesure de la largeur	aléatoire	technique de mesure	idem

THEORIE DES ERREURS - DEFINITION AJUSTEMENT PAR UNE LOI MATHEMATIQUE

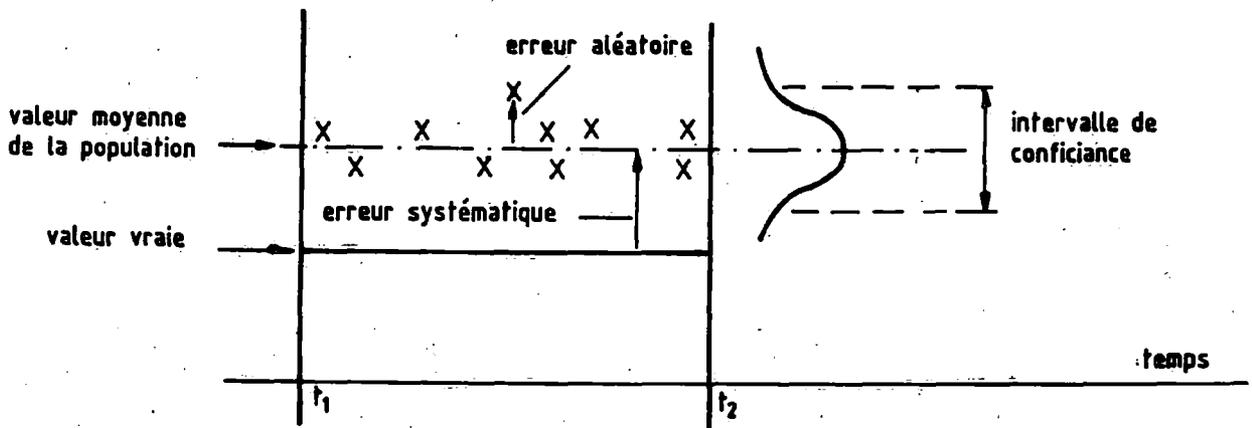


fig. 1a

fig. 1b

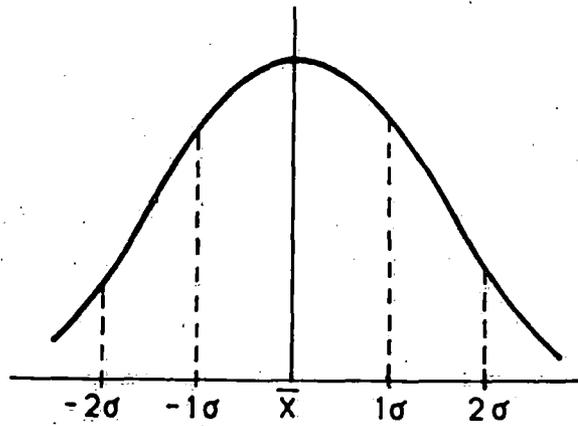


fig. 1c

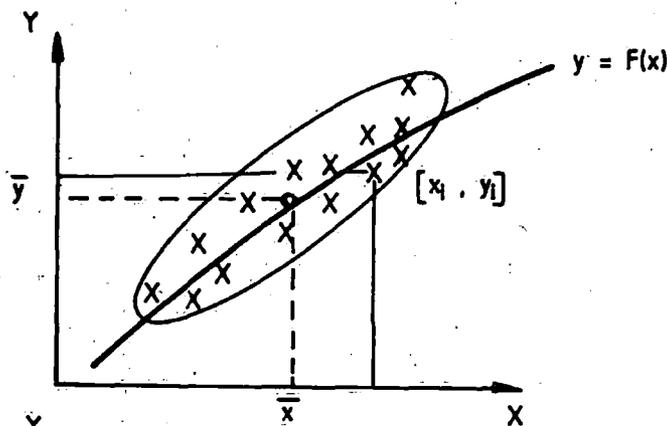
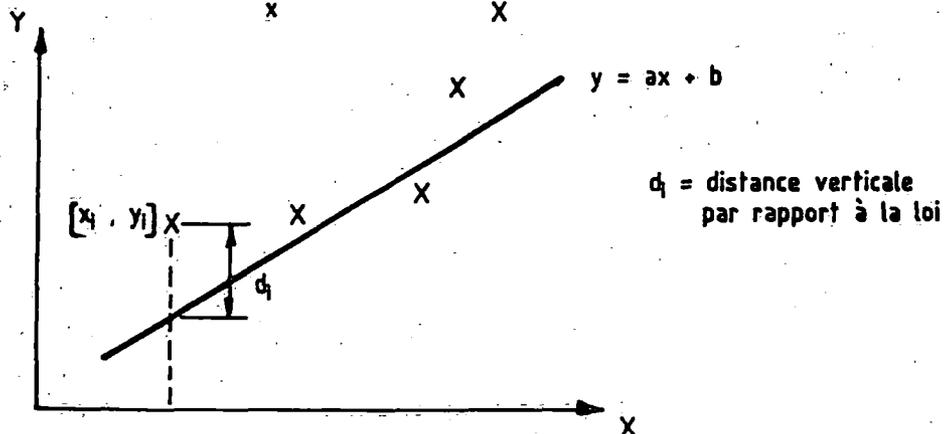
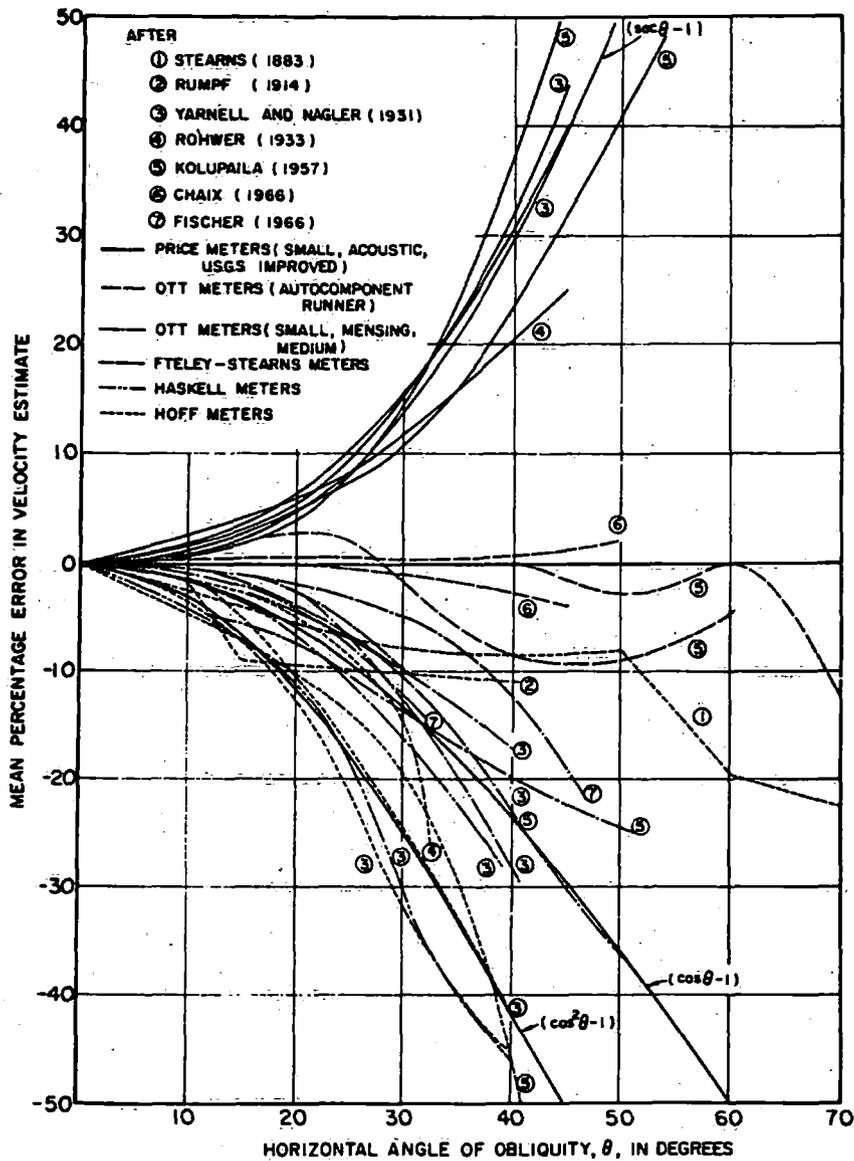


fig. 1d





ERREURS DUES A L'OBLIQUITE DES COURANTS



Réf : W.T. Dickinson - Accuracy Of Discharge Determinations June 1967 - Hydrology Papers
Colorado State University - Fort Collins Colorado.



COMPARAISON DES METHODES REPARTITION VERTICALE DES VITESSES

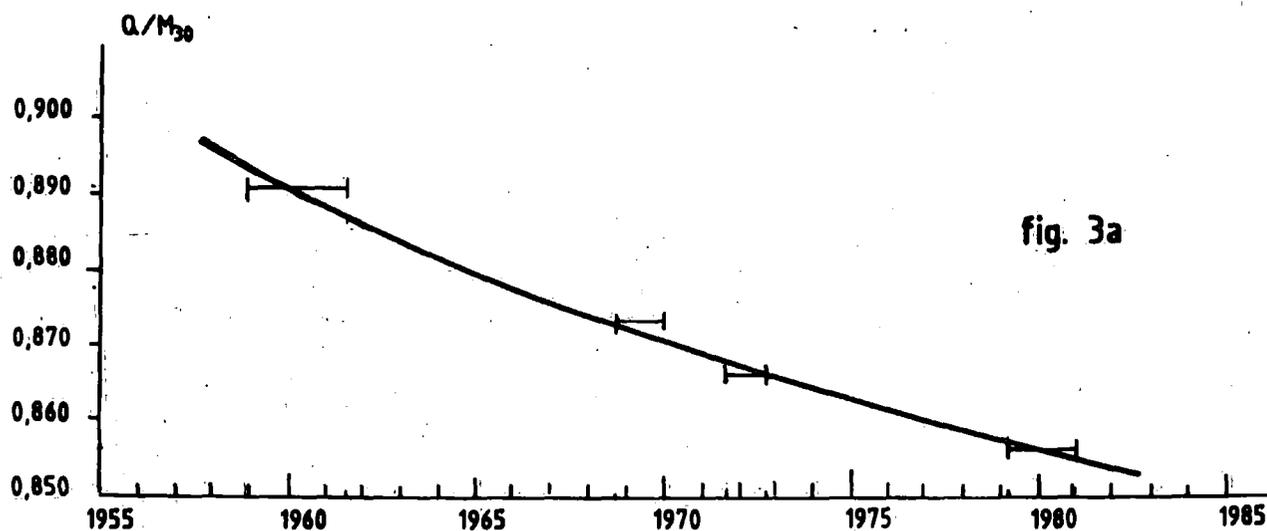


fig. 3a

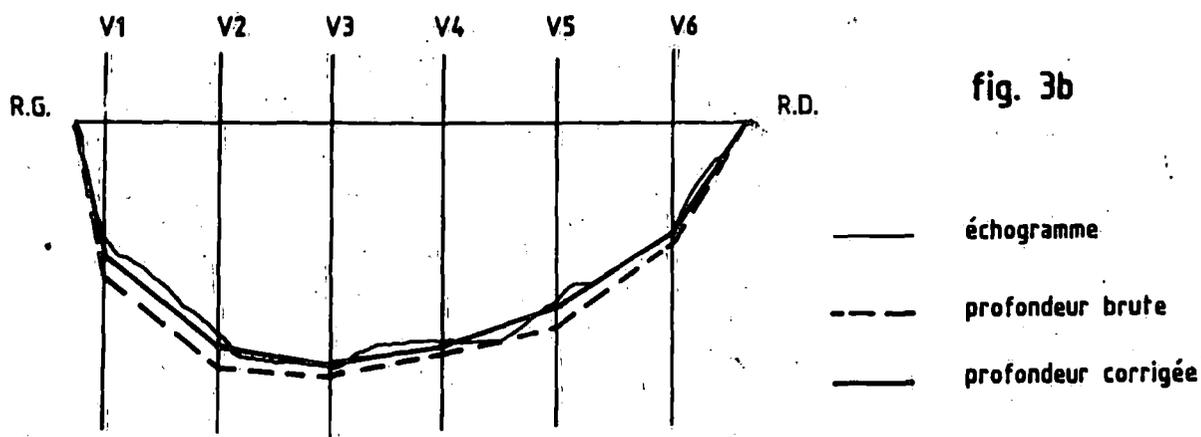


fig. 3b

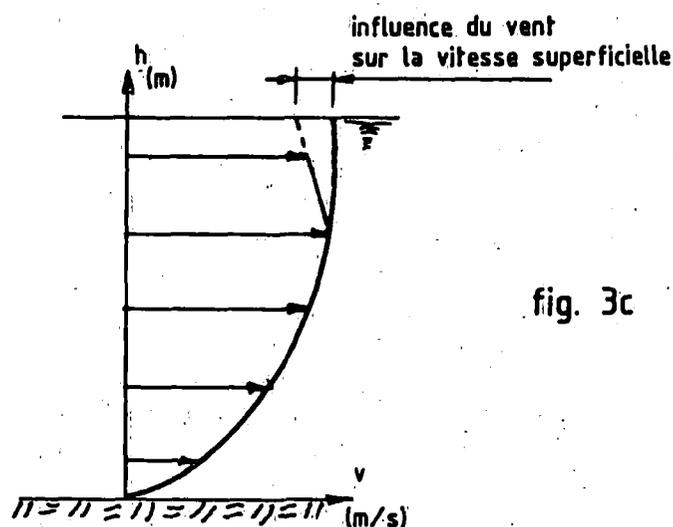


fig. 3c



REPARTITION DES VITESSES DANS LA SECTION DUREE DE LA MESURE

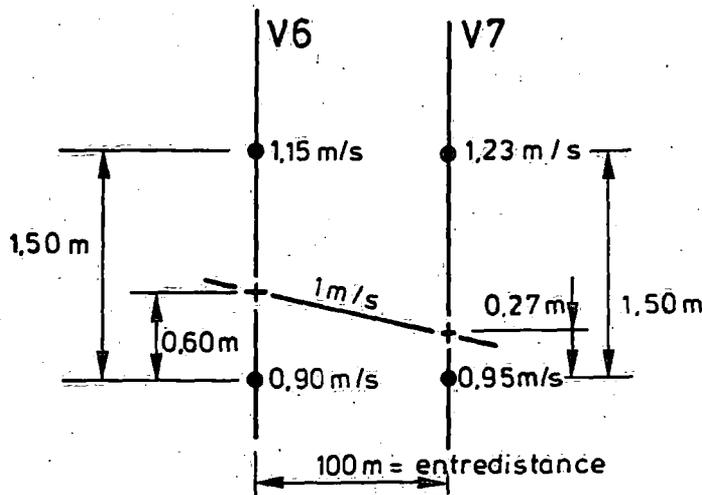
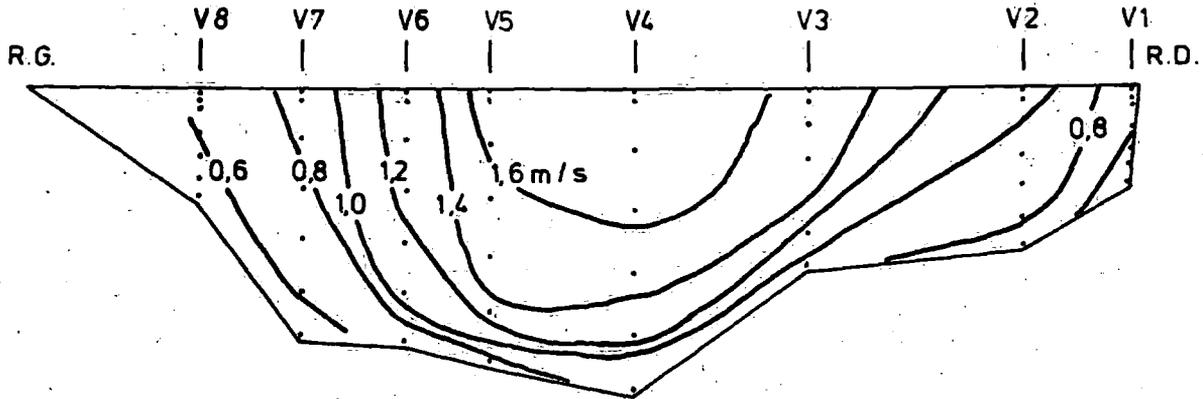
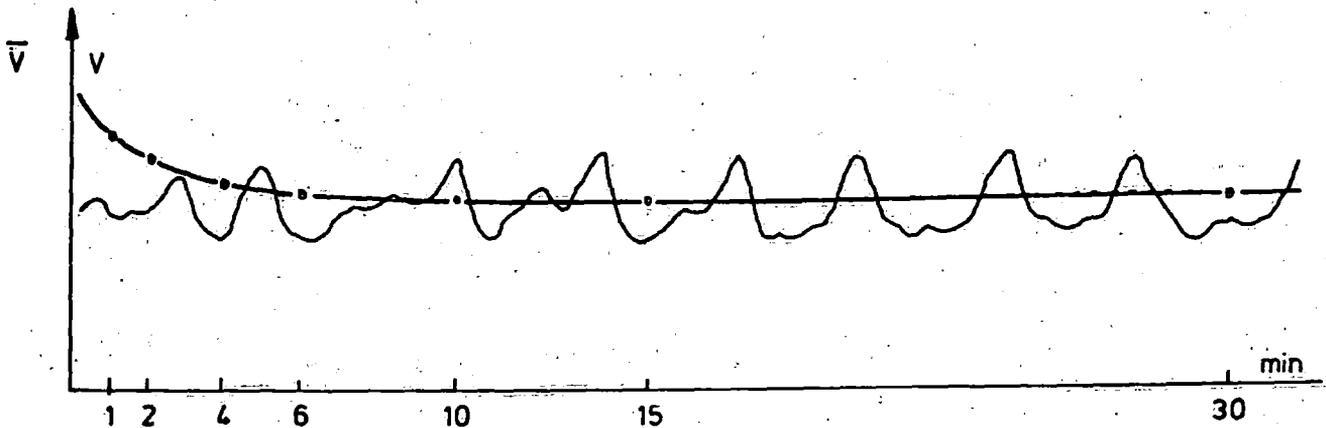


schéma d'interpolation pour le tracé des courbes iso-vitesse

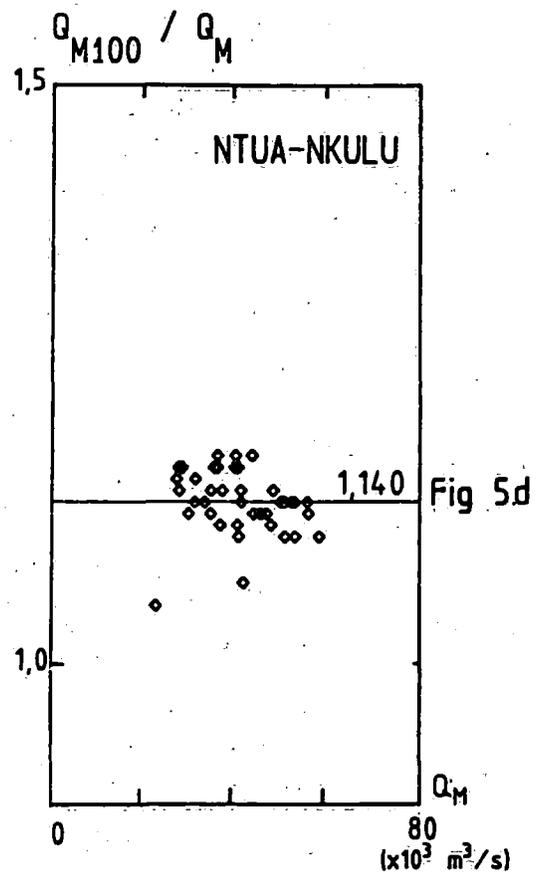
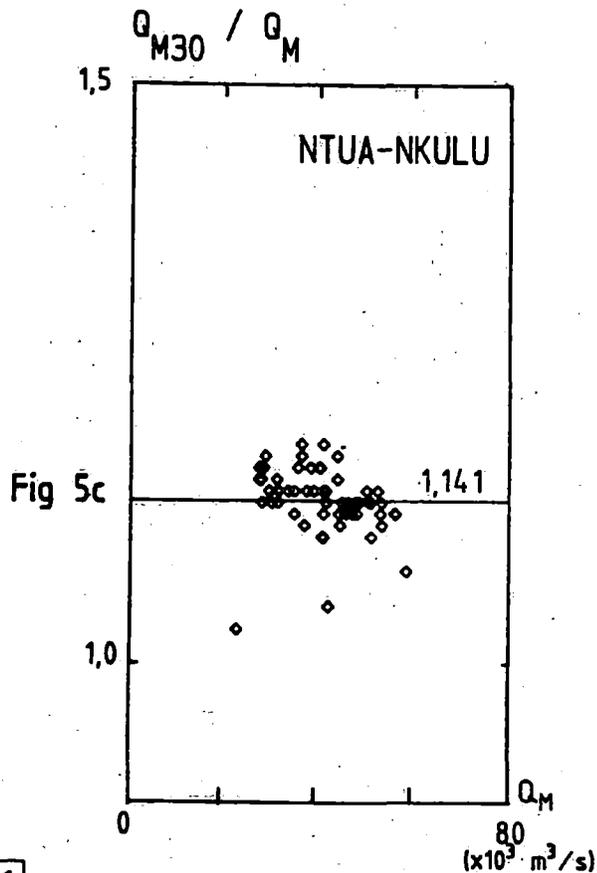
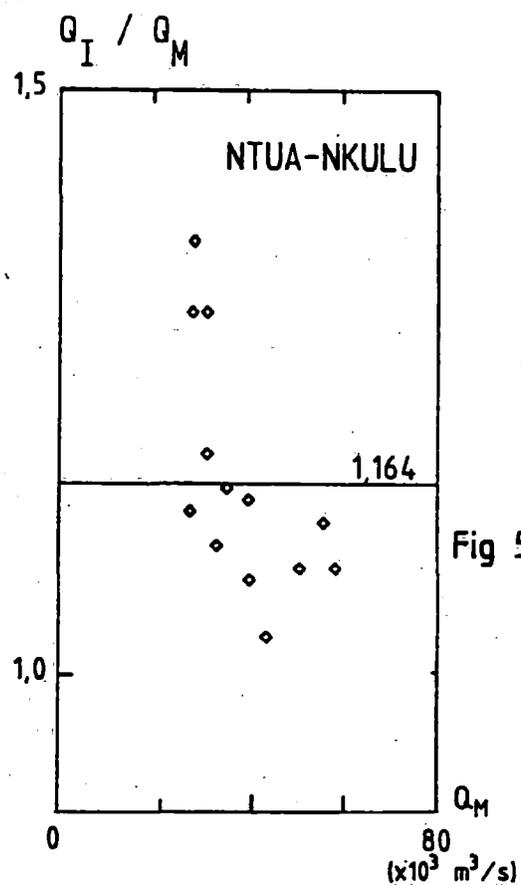
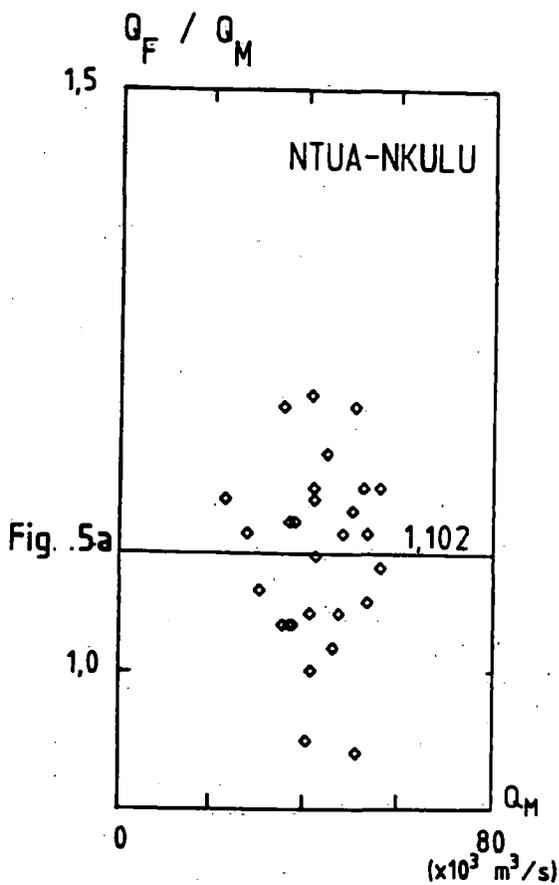




COMPARAISON DES METHODES DE MESURE SECTION NTUA NKULU

Q_F = débit aux flotteurs
 Q_M = débit au moulinet

Q_I = débit par intégration transversale
 Q_{M30} = débit par moulinet à 0,30m sous la surface
 Q_{M100} = débit par moulinet à 1m sous la surface



1. INTRODUCTION
2. BUT DE L'ETUDE SUR MODELE REDUIT
3. CONSTRUCTION ET TECHNIQUE D'UN MODELE REDUIT
 - 3.1. Les échelles (similitudes géométrique, cinématique, dynamique)
 - 3.2. Construction du modèle et étalonnage hydraulique
 - 3.3. Modèle à fond mobile
 - 3.4. Etalonnage sédimentologique du modèle
 - 3.5. Les essais sur modèle
4. HISTORIQUE DES ETUDES SUR MODELE REDUIT CONCERNANT LE BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE
5. PROBLEMES DE MODELISATION
6. POSSIBILITES DE RECHERCHES ULTERIEURES
7. CONCLUSIONS

1. INTRODUCTION

L'étude des prévisions des évolutions dans le bief maritime du fleuve Zaïre a besoin de la récolte de cinq catégories de renseignements, à savoir :

1. la comparaison des levés hydrographiques;
2. la comparaison des débits et courants et leur répartition;
3. application des lois qui régissent les mouvements des bancs de sable;
4. analyse des profils en long, forme des seuils et nature des dunes;
5. application des résultats des essais sur modèle réduit.

C'est la technique de l'étude sur modèle réduit que nous étudierons de plus près dans cette note, pour expliquer comment cette technique permet de reproduire les évolutions anciennes et nouvelles et d'en tirer des conclusions qui peuvent être extrapolées, sous certaines réserves, au prototype.

Il ne faut cependant pas oublier les limites de la méthode qui doit rester complémentaire aux observations in situ.

2. BUT DE L'ETUDE SUR MODELE REDUIT

Il y a quelques problèmes en hydraulique fluviale pour lesquels les équations sont bien connues, mais qui sont géométriquement si compliqués que l'application directe de ces équations est impossible.

Beaucoup de ces problèmes peuvent être résolus en utilisant un modèle physique, c'est-à-dire une reproduction à l'échelle de cette géométrie, sur lequel on peut observer directement tous les phénomènes.

Sur ce modèle, on peut étudier l'allure générale ou le détail des écoulements et transports, l'influence de la construction d'ouvrages d'art, etc., à coût modéré et sans risques. Si toutes les équations appropriées sont connues et la géométrie pas trop compliquée, la même étude peut être menée par modèle mathématique; cette méthode est très difficile à appliquer pour l'ensemble du bief maritime du fleuve Zaïre à cause de sa géométrie compliquée.

3. CONSTRUCTION ET TECHNIQUES D'UN MODELE REDUIT

3.1. Les échelles

Pour obtenir une similitude idéale entre le prototype et le modèle physique, il faut réaliser :

- la similitude géométrique : c'est-à-dire que la forme, la géométrie, la bathymétrie, etc. doivent être en similitude (à l'échelle);
- la similitude cinématique : c'est-à-dire que les mouvements doivent être en similitude (à l'échelle);
- la similitude dynamique : c'est-à-dire que les masses et les forces doivent être en similitude entre le prototype et le modèle.

Pour atteindre ces conditions, les deux paramètres sans dimension, le nombre de Froude ($Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$), qui tient compte du fait que la gravité, force tractrice des écoulements est la même sur modèle qu'en prototype et le nombre de Reynolds ($Re = \frac{vh}{\nu}$), tenant compte de la viscosité (écoulement turbulent, laminaire, ...) doivent être les mêmes sur modèle qu'en prototype. Le grand problème de modélisation, c'est le fait qu'il est rarement possible d'atteindre les trois similitudes en même temps.

Par exemple, dans un modèle à écoulement libre, la force gravitaire sera dominante et de ce fait, les effets du nombre de Froude seront plus importants que ceux du nombre de Reynolds.

Par suite, la loi de Froude est utilisée pour déterminer les échelles géométriques en sachant que la similitude stricte n'est pas atteinte. Partant de cette théorie, le choix des échelles se fait de la façon suivante :

- l'échelle horizontale est choisie d'une façon arbitraire et dépend du problème à étudier et de la place disponible. Pour les études de l'hydraulique fluviale ou maritime, cette échelle peut varier entre $\pm 1/100$ et $\pm 1/1.000$;

- l'échelle verticale est choisie en fonction de la faisabilité des mesures (niveaux d'eau, vitesses, etc) ce qui peut exiger une distorsion du modèle (échelle verticale et horizontale différentes). Les échelles verticales appliquées en hydraulique fluviale varient entre $\pm 1/50$ et $\pm 1/200$;
- les échelles horizontales et verticales conditionnent les autres par la loi de Froude (ou de Reynolds) comme suit :

Echelle	Dimension	Loi de Froude $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$	Loi de Reynolds $Re = \frac{Vh}{\nu}$
horizontale	L	n_h	n_h
verticale	L	n_v	n_v
superficie	L^2	n_h^2	n_h^2
volume	L^3	$n_h^2 n_v$	$n_h^2 n_v$
vitesse	L/T	n_v	$1/n_v$
temps	T	n_h/n_v	n_v^2

3.2. Construction du modèle et étalonnage hydraulique

Pour la construction du modèle, on part d'une cuve étanche. Dans cette cuve, on reproduira la bathymétrie exacte de la région à étudier soit par la méthode des profils (voir figure 1) soit par la méthode des bandes métalliques, qu'on place à la hauteur voulue suivant les lignes d'égale profondeur (voir figure 2). Le débit de l'eau, apporté par une pompe, est réglé en amont du modèle par un débitmètre, le niveau de l'eau est réglé en aval par des vannes à positionnement variable.

En utilisant un ordinateur comme unité de réglage, le débit et le niveau de l'eau peuvent varier dans le temps.

Si le nombre de Reynolds est suffisamment grand, l'écoulement est presque uniquement influencé par la friction, c'est-à-dire par la rugosité du fond.

En écoulement libre, cette rugosité est caractérisée par le coefficient de Manning et par analyse de l'équation de Manning et introduction des échelles, basées sur le critère de Froude, on obtient :

$$n_r = n_v^{1/6}$$

Pour obtenir une rugosité appropriée du fond en modèle distordu, il faut presque toujours ajouter une rugosité artificielle et c'est cela qu'on appelle l'étalonnage hydraulique du modèle (voir photo).

En ajoutant la rugosité artificielle, on essaie d'obtenir une concordance idéale entre les mesures exécutées en prototype (niveaux d'eau, vitesse, répartitions des débits) et celles faites sur modèles.

3.3. Modèle à fond mobile

Le modèle hydraulique à fond fixe peut être équipé d'un fond mobile pour étudier les évolutions des fonds.

Pour cela, une partie du modèle doit être reconstruite, représentant la bathymétrie avec un matériel qui se déplace sous l'influence des courants.

Ce matériel n'est pas un sable à dimensions réduites, mais un matériel à densité réduite comme par exemple les produits plastiques (le polystyrène $S = 1.06$), la nacre ($S = 1.20$), la bakélite broyée ($S = 1.28$), etc.

Le choix des matériaux à utiliser dépend des échelles géométriques du modèle et de la composition des fonds en prototype et se fait par étude préliminaire en canal vitré (étude de la vitesse critique, débit solide, formation des dunes, etc...). Une similitude idéale sur modèle à fond mobile implique que les érosions, les sédimentations, les migrations des sédiments, les rugosités variables soient bien représentées et de ce fait, dans beaucoup de cas, il faut appliquer une distorsion de vitesse par rapport au critère de Froude pour obtenir un bon mouvement des sédiments. Une première approximation de cette distorsion à appliquer peut être obtenue par calcul, mais une vérification sur modèle est nécessaire, c'est-à-dire qu'il faut passer par un étalonnage sédimentologique du modèle.

3.4. Etalonnage sédimentologique du modèle

L'étalonnage sédimentologique du modèle se fait par la reproduction d'évolutions observées en prototype sous conditions d'écoulement bien connues (voir figure 3).

Par exemple, le modèle peut être vérifié par l'étude des changements de bathymétrie mesurés en prototype dans une zone et pendant une période limitée et si le modèle reproduit bien l'évolution, il devrait reproduire aussi bien la réponse future de la rivière dans des conditions similaires.

3.5. Les essais sur modèle

a) Mesures hydrauliques

- mesure des niveaux d'eau et des pentes;
- mesure des vitesses par micro-moulinet, flotteurs de surface et flotteurs de profondeur (voir figure 4);
- répartition des débits.

b) Mesures sédimentologiques

- axes de charriage et meilleurs endroits de dépôts des produits de dragage (matériaux mobiles sur le fond fixe);
- influence de massifs rocheux et argileux (points durs);
- évolutions des méandres, des passes et des bancs;
- méthodes de dragage pour l'ouverture d'un nouveau seuil;
- influence de la construction d'ouvrages d'art sur le cheminement des sédiments;
- chenaux alternatifs, etc...

4. HISTORIQUE DES ETUDES SUR MODELE REDUIT CONCERNANT LE BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

1968 Le premier modèle réduit de la région divagante du Bief Maritime du fleuve Zaïre était opérationnel au second semestre 1968. Le modèle aux échelles horizontale et verticale de 1/500 et 1/100 était un modèle à fond fixe, s'étendant sur 40 x 16 m (20 x 8 km) (voir figure 5).

1969 Etude des trajectoires des particules solides (charriage).
Etude des meilleurs endroits de dépôt des produits de dragage.
Rapport Mateba 2

1970 Transformation du modèle en modèle à fond mobile pour la région du seuil Central qui posait, à cette époque, le plus de problèmes.
Choix des matériaux : bakélite et polystyrène (voir figure 3).
Méthode de dragages pour l'ouverture d'un nouveau seuil.
Rapports Mateba 4 et 9

1971 Début de la construction d'un grand modèle, représentant toute la région des seuils aux échelles horizontale et verticale de 1/500 et 1/100 et s'étendant sur 96 x 26 m (48 x 13 km).
La construction a été arrêtée par manque de données fin 1971.

de 1973 à 1975

Le modèle réduit utilisé précédemment fut transformé à fond fixe pour représenter la roche Mandeifu et étudier les moyens de remédier à son action néfaste sur l'évolution de la passe navigable (digue submergée entre la roche et l'île des Oiseaux)
Rapports Mateba 13 et 16

1978 Arrêt des études sur modèle réduit.

5. PROBLEMES DE MODELISATION

Les difficultés de modélisation sont de différents ordres :

- problèmes d'étalonnage sédimentologique (p.ex. distorsion de l'échelle des vitesses par rapport au critère de Froude);
- problème de la composition hétérogène du fond (granulométrie différente dans le sens vertical, transversal et longitudinal);

- problème de l'évolution des rugosités du fond, liée aux différences de granulométrie et aux crues du fleuve;
- manque d'information sur la géologie et notamment sur la présence des roches et argiles dans la région;
- problème de l'influence de la marée.

Ces difficultés peuvent être surmontées à condition de disposer des informations, notamment de terrain, en suffisance et pendant une période suffisamment longue. La collaboration efficace entre le Laboratoire de Recherches Hydrauliques et la Régie des Voies Maritimes a permis de recueillir déjà une grande partie de ces informations de base.

6. POSSIBILITES DE RECHERCHES ULTERIEURES (voir figure 6)

Deux nouveaux modèles pouvant fournir rapidement des informations utiles aussi bien pour la gestion immédiate de la voie d'eau que pour les études ultérieures sont :

un modèle Mao - Pointe île des Oiseaux, modèle de la partie amont de la région divagante s'étendant sur environ 30 km en amont des passes à draguer. Ce modèle partiellement à fond mobile représenterait les bancs de sable responsables de l'alimentation de la région divagante en permettant ainsi de voir l'effet des cycles de crue et de concevoir certains travaux ou ouvrages pouvant modifier, dans un sens favorable pour les passes, l'alimentation du sable venant d'amont;

un modèle Pool Mateba Amont, modèle représentant la région des passes navigables depuis Ntua-Nkulu jusqu'à Ziamanganga. Ce modèle permettrait de traiter les problèmes de cheminement des sables dans les passes actuelles, les aspects de la gestion des passes et les meilleurs lieux de déversement de produits de dragages, ainsi que l'influence des massifs rocheux et argileux (à condition de disposer rapidement de ces données).

7. CONCLUSIONS

Malgré le fait que l'étude sur modèle réduit pose certains problèmes, le modèle est un outil utile pour l'étude de beaucoup de situations compliquées en hydraulique fluviale. Le modèle permet de reproduire les écoulements et transports solides, les travaux et ouvrages d'art, etc. à moindre frais, sans risques d'en tirer des conclusions pour le prototype en extrapolant les mesures. Il ne faut cependant pas oublier les limites de la méthode qui doit rester complémentaire aux observations in situ !



CONSTRUCTION D'UN MODELE REDUIT

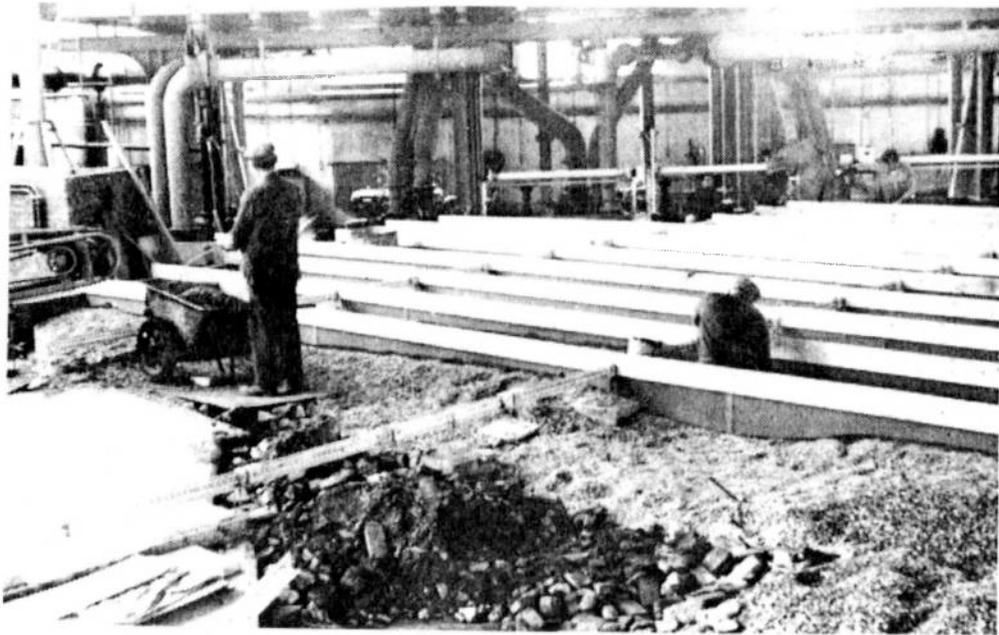


Photo 1 : Emplacement des profil en travers

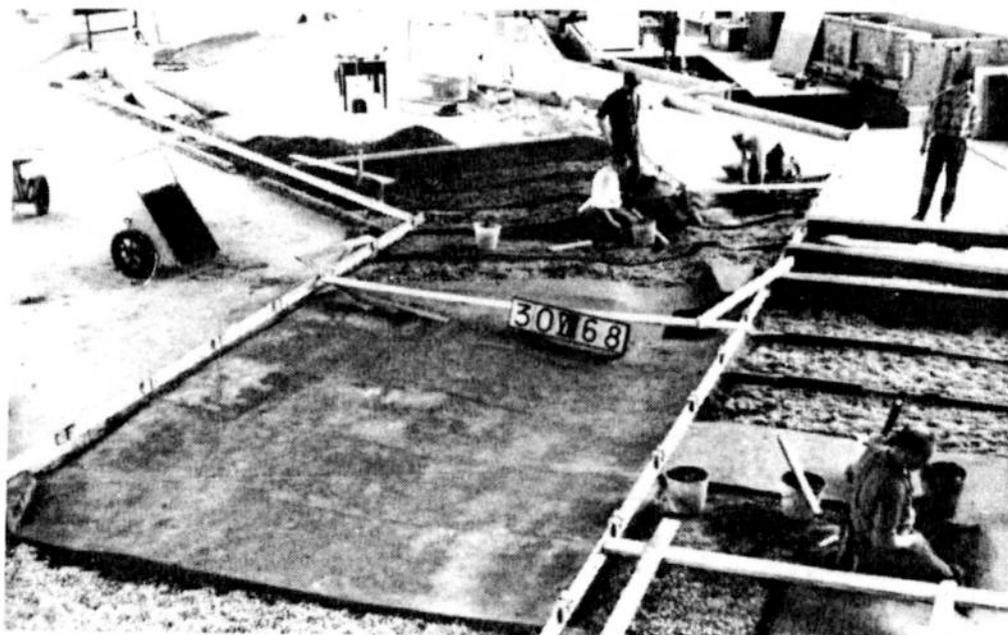


Photo 2 : Achèvement du lit entre profils



CONSTRUCTION D'UN MODELE REDUIT

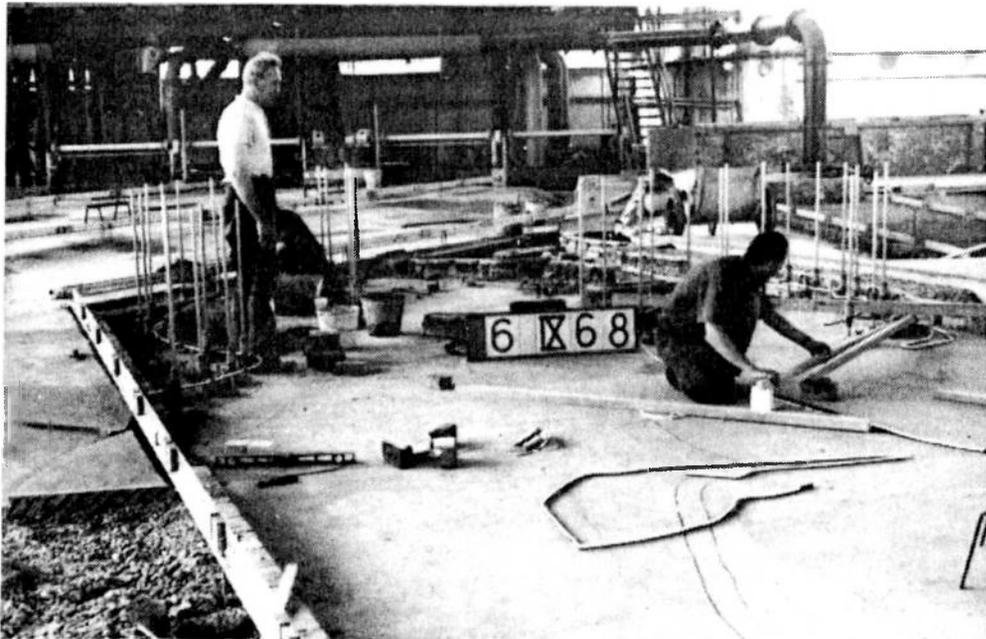


Photo 3 : Méthode des lignes de niveau



CONFIGURATION DU FOND MOBILE



PHOTO

Photo 4 :
Polystyrene
 $Q = 41.123 \text{ m}^3/\text{s}$

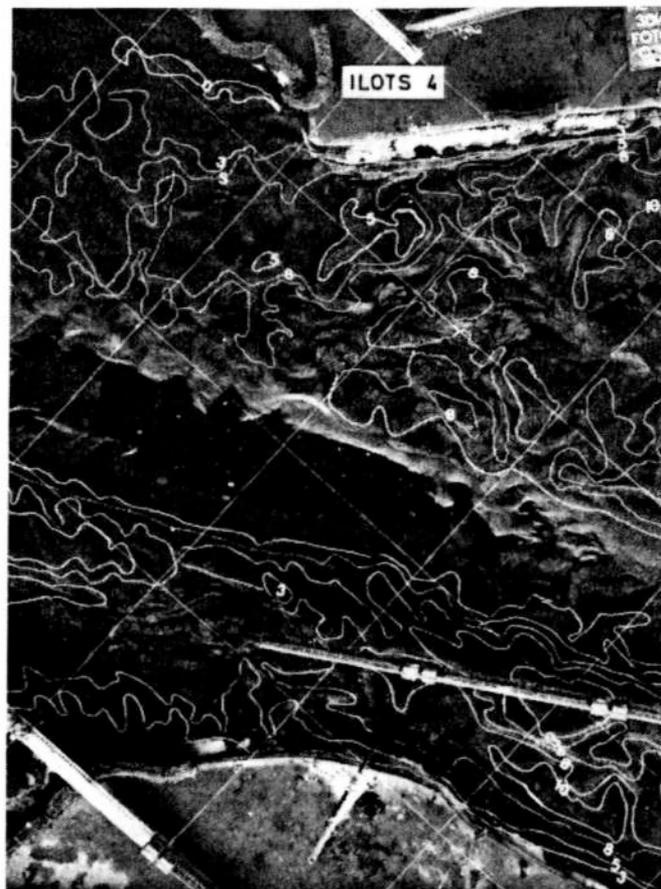


Photo 5 :
Bakelite
 $Q = 51.000 \text{ m}^3/\text{s}$



MESURES DES VITESSES DE SURFACE SUR LE MODELE

ECHELLES

VITESSE 0 2 4 6 8 10 km/h

VUE EN PLAN 0 1 2 M Modèle
0 500 1000 M Nature

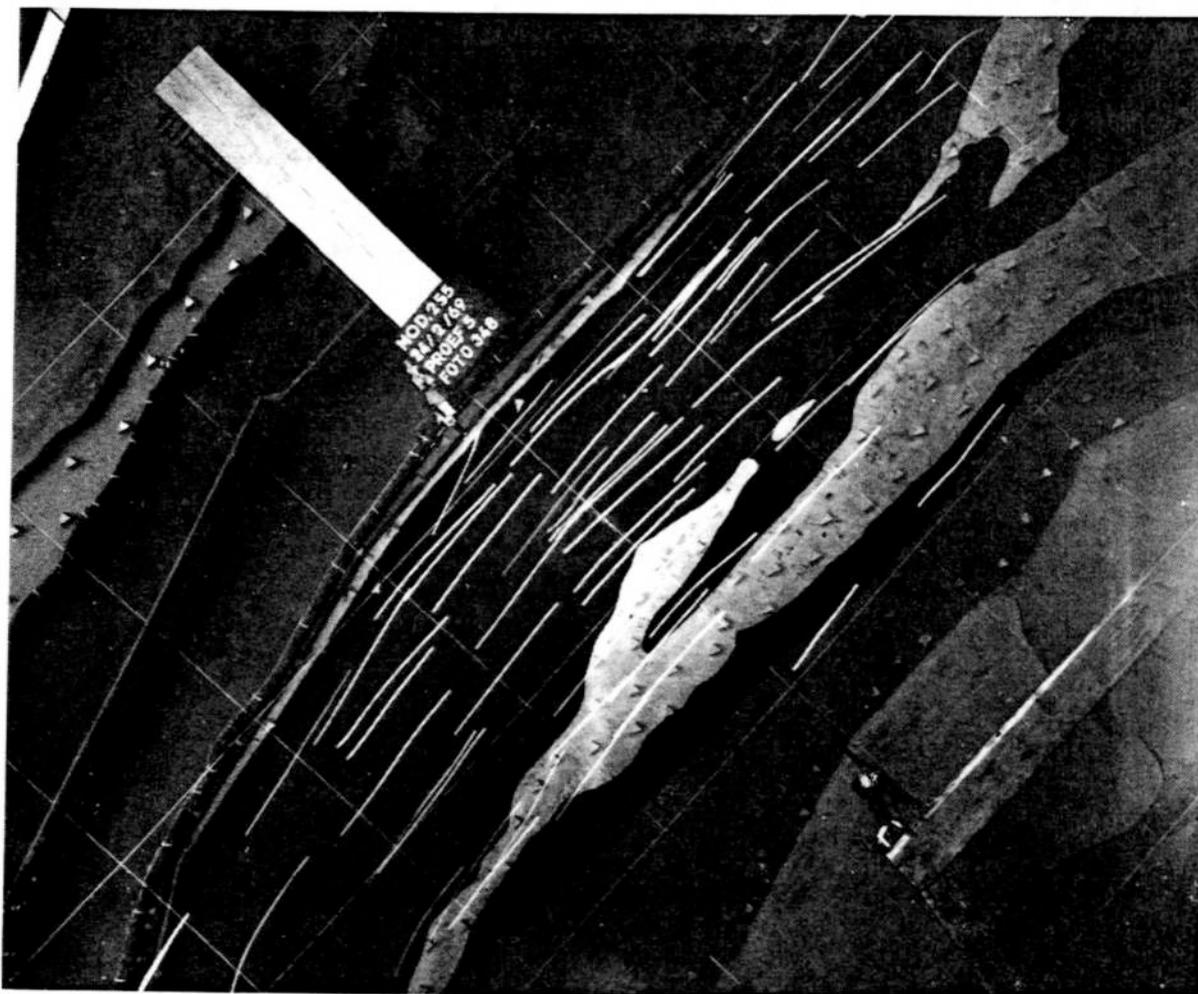


Photo 6 : Mesure des vitesses de surface sur modèle
par chronophotographie



MODELE MATEBA

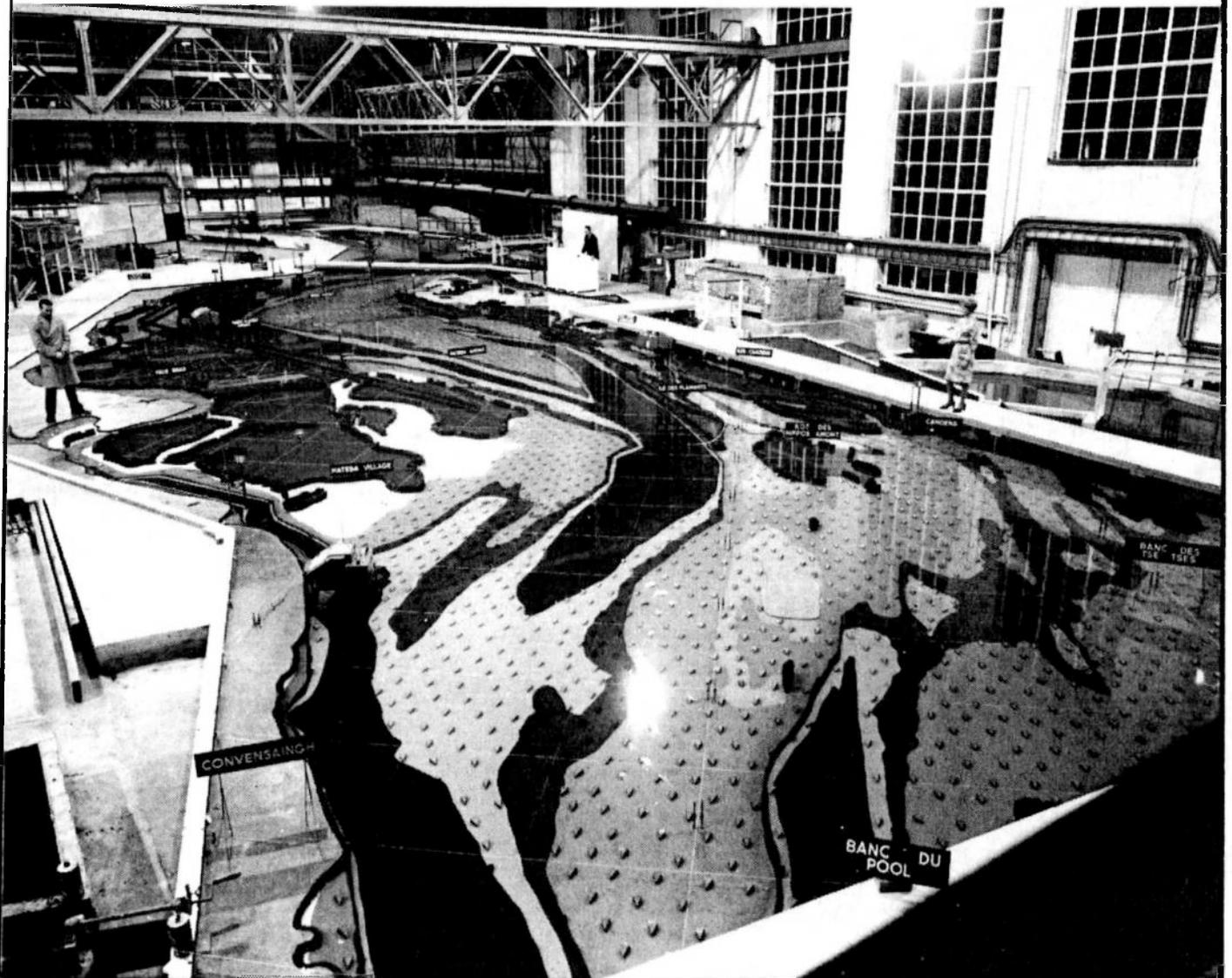
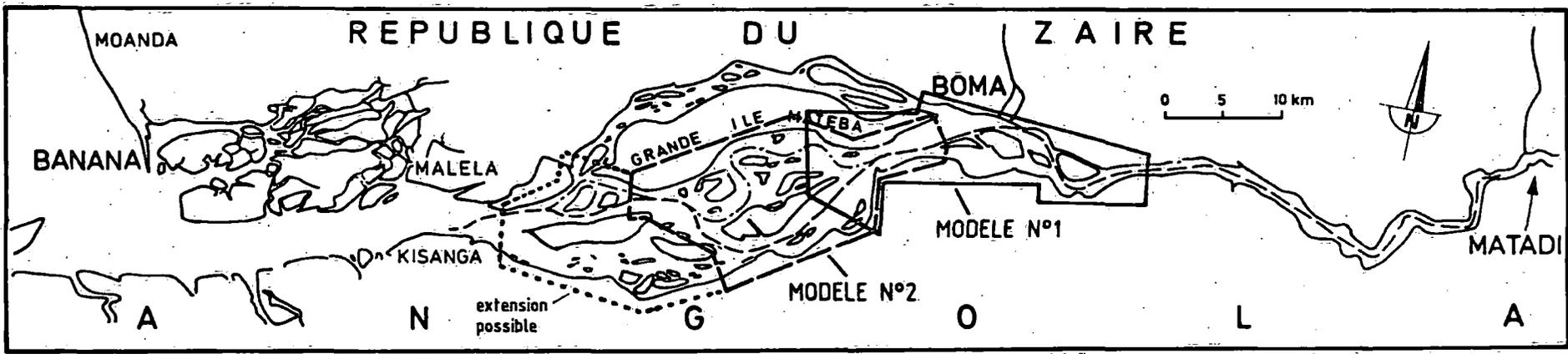


Photo 7 : Vue générale du modèle Mateba



--- Route de navigation avant 1967
 - - - Route de navigation actuelle

MOD. 255

BIEF MARITIME DU FLEUVE ZAIRE

IMPLANTATION DES DEUX MODELES REDUITS EN PROJET

1. Introduction
2. Généralités au sujet des méthodes de prévisions des évolutions des fleuves alluvionnaires
3. Quelques rappels d'hydrauliques fluviale
 - 3.1. Généralités
 - 3.2. Hydraulique
 - 3.3. Transports solides
 - 3.3.1. Début du mouvement
 - 3.3.2. Quantité de solide transporté
 - 3.3.3. Type de fond - Rugosité
 - 3.3.4. Autres considérations
4. Morphologie des rivières
 - 4.1. La forme des rivières et leur classification
 - 4.1.1. Chenaux droits
 - 4.1.2. Chenaux à méandres
 - 4.1.3. Chenaux enchevêtrés
 - 4.1.4. Continuité de la classification des types de chenaux
5. Effets des crues sur le régime des fleuves
 - 5.1. Effet de la crue sur le tracé des courants
 - 5.2. Effet de périodes de hautes eaux sur le type de rivière
 - 5.3. Effet de la crue sur la rugosité
 - 5.4. Effet de la crue sur les niveaux d'eau
6. Effets de l'intervention de l'homme sur le régime des fleuves
 - 6.1. Effets dus à des ouvrages d'art de stabilisation
 - 6.2. Effets sur les transports solides
 - 6.3. Cas de la rectification du tracé

6.4. Effets dus aux dragages

6.4.1. Entretien des profondeurs d'un chenal navigable

6.4.2. Rectification du tracé d'un chenal navigable

6.4.3. Coupure pour le déplacement d'un chenal

6.4.4. Le dragage comme agent morphologique

7. Application au bief maritime du Zaïre

7.1. La prédiction de l'évolution de la morphologie de la région divagante

7.2. Description et analyse succinctes de l'évolution du Pool Mateba Amont

7.3. Les dragages comme moyen d'influencer l'évolution naturelle

8. Conclusions

1. INTRODUCTION

La région divagante du bief maritime du fleuve Zaïre, située entre Boma et Malela, est constituée d'un ensemble de bancs et d'îles entre lesquels méandrent des chenaux. Les évolutions de cette région sont influencées par les crues successives, dont les débits, élevés fluctuent, cependant relativement peu.

Le maintien d'un chenal navigable y est une affaire complexe. Du fait des dimensions de ce fleuve, il n'est pas possible de justifier des moyens très importants, une trop grande flotte de dragues, qui permettraient de garantir en tout temps des profondeurs suffisantes. L'homme est donc forcé de "composer" avec le fleuve, en draguant un volume de sédiments minimum à des endroits judicieusement choisis. Il s'agit donc de tenter de faire un travail de dragage préventif plutôt que curatif. Cette approche est d'ailleurs devenue de plus en plus fréquente dans le monde du dragage du fait des coûts d'entretien des chenaux de navigation de plus en plus élevés. Cette "optimisation" est, pour le bief maritime, une nécessité impérieuse. Elle ne peut s'obtenir que par une application des lois de l'hydraulique fluviale, basée sur une connaissance des mécanismes spécifiques à cette région.

2. GENERALITES AU SUJET DES METHODES DE PREVISIONS DES EVOLUTIONS DES FLEUVES ALLUVIONNAIRES

L'hydraulique fluviale est une science expérimentale fort complexe. Au cours du dernier siècle, différentes techniques ont été essayées pour simuler ou prédire les évolutions des fleuves. Elles peuvent se classer en trois catégories :

- les modèles réduits (ou physiques);
- les modèles mathématiques;
- l'analyse des observations en nature.

Chacune de ces techniques est limitée par la connaissance (ou ignorance) que nous avons des mécanismes physiques qui se passent dans le fleuve.

La technique de la modélisation utilisée de plus en plus fréquemment dans les sciences de l'ingénieur comporte en fait trois phases :

- La première phase est la **schématisation** qui consiste à tenter de reproduire, au mieux, la réalité, en simplifiant généralement le phénomène. On crée un modèle par **abstraction**, en négligeant certains phénomènes peu importants ou difficilement reproductibles.
- La seconde phase consiste à faire **fonctionner** le modèle. Les paramètres des modèles sont cependant mal connus ou peu prévisibles. Pour cette raison, le modèle doit d'abord être **étalonné** (ou calé) : l'opération consiste à faire varier les paramètres inconnus ou expérimentaux jusqu'à ce que le modèle reproduise un résultat conforme aux observations en nature. Il faut cependant faire remarquer que la plupart des paramètres de calage sont variables, ce qui nécessite la connaissance des données pour toute la gamme des variables hydrauliques. Or, cette connaissance est souvent incomplète et la qualité des résultats en sera donc diminuée.
Il faut également faire remarquer qu'il est possible d'étalonner un modèle, même si celui-ci est mauvais ou faux. Ce qui amène à affirmer que l'étalonnage d'un modèle ne peut être considéré comme une vérification de la **validité** du modèle.
Lorsque le modèle est correctement construit et bien étalonné, il permet de fournir des **prévisions**. La qualité de ces prévisions dépend évidemment de la qualité de la schématisation : plus celle-ci est fine et détaillée, meilleurs seront les résultats.
- La troisième phase est l'**interprétation** des résultats et éventuellement l'**interpolation** ou l'**extrapolation** de ceux-ci. Il est parfois souhaitable d'extrapoler vers des valeurs extrêmement basses ou extrêmement élevées des variables, en dehors du domaine des observations.

Il est cependant des cas où notre connaissance des phénomènes est insuffisante. L'observation en nature et l'analyse sont alors nécessaires pour tenter de comprendre des mécanismes, de définir des lois ou de saisir l'importance des phénomènes. En fait, l'analyse des observations en nature précède toujours la modélisation.

Un exemple permet d'illustrer ce qui précède.

Lorsque Chézy établit son équation de l'écoulement uniforme, il avait déjà observé sur des rivières et canaux que l'eau coulait plus vite lorsque la pente était forte et lorsque la profondeur était grande. Il s'imaginait aussi que la nature de la paroi, plus ou moins rugueuse, devait plus ou moins freiner cet écoulement. Or, ce freinage n'avait lieu que le long de la paroi. Il écrivit donc que le débit Q d'un canal devait être fonction de la "section mouillée" A , du "périmètre mouillé" P , de la pente S et de la nature de la paroi C .

$$Q = f(A, P, S, C).$$

Par analyse d'une série d'observations sur des canaux de différentes tailles, il obtint l'équation :

$$Q = A \cdot C \cdot \sqrt{\frac{A}{P}} \cdot S$$

ou $Q = A \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot S}$ (Chézy)

Ce n'est que plus tard que l'on introduisit la gravité terrestre oubliée par Chézy et l'équation devint :

$$Q = A \cdot c \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot S} \quad \text{avec } c = \frac{C}{\sqrt{g}}$$

Après lui, de nombreux chercheurs se sont aperçus que le coefficient C de rugosité n'était pas seulement fonction de la nature des parois et que la forme de l'équation pouvait être différente. Par exemple, la formule de Manning s'écrit :

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

avec $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$

où chaque paramètre n ou m dépend soit de la nature du sédiment, soit de la courbure des méandres, soit de l'irrégularité des sections, soit de la végétation, etc...

Lorsque l'on veut reproduire un écoulement de rivière par un modèle physique ou par un modèle mathématique, il faut essayer de schématiser au mieux la géométrie, l'eau, les sédiments.

a) Modèle physique ou réduit

La géométrie reproduite à l'échelle ne représentera pas tous les détails; elle est donc schématisée et les détails non reproduits vont avoir pour conséquence une modification du coefficient de rugosité, d'où la nécessité de placer des éléments de rugosité dans le modèle. Ceci peut être fait aisément dans un modèle à fond fixe mais plus difficilement dans un modèle sédimentologique.

L'écoulement fluide est reproduit avec de l'eau, c'est-à-dire que l'échelle de la viscosité est égale à un. Il s'ensuit que les tourbillons de l'écoulement, très importants pour certains mécanismes de transport solide, ne seront pas reproduits à l'échelle.

b) Modèle mathématique

L'idéal serait de décrire l'écoulement par des équations en trois dimensions. La complexité des rivières naturelles est telle que les ordinateurs actuels ne sont pas assez puissants pour les reproduire. Il faut donc simplifier, schématiser, par exemple à deux (ou une) dimensions. Certains paramètres comme la rugosité en seront affectés.

L'étalonnage permet de résoudre en partie cette difficulté.

L'écoulement fluide ne peut être simulé dans tous ses détails. C'est ainsi que les courants secondaires (tourbillons, courants hélicoïdaux) ne pourront être représentés parfaitement.

Nous voyons, par ces quelques exemples, que la modélisation a ses limites. Par contre, il est clair qu'un modèle bien conçu peut répondre à certaines questions posées. Mais suivant le problème, le modèle peut être conçu et construit différemment.

Nous avons déjà affirmé que la mécanique des fleuves alluvionnaires à l'état naturel, comme le Zaïre, est extrêmement complexe. Les sédiments de granulométrie variable, la structure tourbillonnaire compliquée, la rugosité variable en fonction de la crue, les changements de régime sédimentologique font que le pouvoir de prédiction des modèles est limité. C'est la raison pour laquelle le Laboratoire de Recherches Hydrauliques a opté, depuis plus de dix ans, pour une approche pragmatique :

1. Mesures sur terrain et analyse pour tenter de découvrir les mécanismes, les lois responsables des évolutions.
2. Application de ces lois en analysant les évolutions observées pour en arriver à prédire les évolutions futures (en réalité, ceci est une sorte de modèle physique à l'échelle 1/1).
3. Mise au point de modèles réduits et mathématiques pour étudier des questions de détail, telles l'influence de points durs naturels ou artificiels sur l'évolution des passes dans un pool ou l'influence, sur les passes, de crues exceptionnellement hautes ou basses.

Le premier point a été commencé dès 1968 et une part importante des efforts a été consacrée à la formation des équipes de mesures topographiques, limnimétriques, sédimentologiques de mesures de débits liquide et solide, etc... Un travail considérable a été fourni dans les laboratoires, résultant en rapports annuels (Mateba 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 16, 18, 20), de synthèse (Mateba 7) ou de monographies (Mateba 15, 17, 19, 21, 22).

Le deuxième point a débuté avec les rapports Mateba 12 et 14 définissant et appliquant la méthode de prévisions des évolutions mise sur pied entre 1968 et 1975.

Le troisième point a commencé, en 1968 également, par la construction de modèles ayant servi à analyser différents problèmes de dragage ou d'ouvrages à construire pour modifier les évolutions naturelles (rapports Mateba 2, 4, 9).

3. QUELQUES RAPPELS D'HYDRAULIQUE FLUVIALE

3.1. Généralités

Il faut commencer par affirmer qu'une rivière est un système dynamique, en évolution perpétuelle sous les effets des forces hydrauliques. L'homme qui désire y intervenir pour contrôler les inondations, améliorer la navigation ou utiliser l'eau pour différents usages, comme la production d'hydro-électricité ou l'irrigation, doit savoir que chaque intervention provoque des réactions, des réponses dont on peut ressentir les effets jusqu'à de très grandes distances. Il en est ainsi du dragage et des ouvrages de stabilisation.

Bien que les rivières soient de nature et de dimensions parfois très différentes et fort complexes, elles sont soumises aux mêmes forces fondamentales. L'aménagement, avec succès, d'une rivière nécessite une compréhension de ces forces et mécanismes naturels. Il est pour cela indispensable d'avoir une bonne connaissance des :

- facteurs géologiques incluant les caractéristiques des sols;
- facteurs hydrologiques incluant les modifications des débits, des pluies et des effets hydrologiques consécutifs aux changements d'utilisation de la terre (défrichage, déboisement, cultures, urbanisation, etc...);
- caractéristiques géométriques du fleuve incluant les altérations géométriques probables comme conséquences des changements ou aménagements des chenaux par l'homme;
- caractéristiques hydrauliques telles que profondeur, pente, courant et les modifications auxquelles on doit s'attendre dans l'espace et dans le temps;

- modifications écologiques/biologiques qui résultent des changements physiques et qui à leur tour provoqueront ou modifieront les changements physiques.

Il faut toujours se souvenir qu'une rivière, dans son état présent, est le résultat d'un long et lent processus d'adaptation du système à des influences naturelles et artificielles dont les effets se font sentir à grande distance et à long terme. Pensez aux changements du fleuve Sénégal sous l'effet de la sahélisation, aux changements des fleuves d'Europe du Nord sous l'effet de l'adoucissement des climats après la période glaciaire. Les rivières tendent perpétuellement vers de nouveaux équilibres jamais atteints. Les mouvements de l'écorce terrestre (tectonique) affectent les rivières de façon importante. C'est ainsi que le bassin du Zaïre a connu de nombreux mouvements, créant des lacs comme ceux à l'est du bassin ou le grand lac de la cuvette centrale, sans doute formé à la suite de bouleversements dans les Monts Mayumbe (ou Monts de Cristal). Le bief maritime du fleuve Zaïre a probablement été créé par l'ouverture d'une brèche dans la chaîne montagneuse à hauteur de Kinshasa, les eaux étant captées par une rivière plus modeste débouchant à Matadi. Les modifications du niveau des océans - une montée de plus de 100 mètres au cours des 15.000 dernières années - a créé en aval de Boma le delta intérieur qu'est la région divagante. Il faut constater que notre connaissance des évolutions de cette région date de moins de cent ans. Elle est dérisoire comparée à l'échelle des temps de la formation de la région divagante.

Nombreux sont les exemples dans le monde où l'homme a provoqué des incidents, accidents ou catastrophes en aménageant les rivières sans tenter d'abord de saisir les conséquences des aménagements. Le bassin du Mississippi en est un bel exemple : augmentation des débits solides suite aux défrichages et déboisements, arrêt des transports solides aux barrages et dégradation consécutive du lit à l'aval, augmentation catastrophique des volumes à draguer après rectification des chenaux pour diminuer les rayons de courbure des méandres, effets, néfastes en crue, (coupure de bancs) de protection de rives pourtant efficaces en temps normal, etc...

Les conséquences néfastes du barrage d'Assouan sur le Nil et son embouchure sont également très connues.

Les tentatives de l'homme de contrôler (de "dompter") les grands fleuves ont souvent mené à la situation décrite par J.M. Mackin :

L'ingénieur qui altère les relations d'équilibre naturel par des actions de diversion, de barrage ou d'amélioration des chenaux découvrira souvent qu'il tient le taureau par la queue et qu'il est incapable de le lâcher ... quand il continue de corriger ou de supprimer les phases indésirables de la réaction en chaîne provoquées dans la rivière par la "tension" (perturbation) initiale, il attachera nécessairement une importance grandissante aux études des aspects génétiques de l'équilibre (naturel) de façon à ce qu'il puisse travailler "avec" les rivières plutôt que "sur elles."

3.2. Hydraulique

Sans vouloir entrer dans les détails, il est utile de rappeler certains principes de base.

- Permanence de l'écoulement

L'écoulement est permanent lorsque les variations des caractéristiques dans le temps sont nulles.

$$\frac{\delta}{\Delta t} = 0$$

On peut généralement considérer le régime du fleuve Zaïre comme permanent, puisque la variation du débit est de l'ordre du 1/10.000.000ème de la valeur de celui-ci (gradient de crue de l'ordre de $\frac{1 \text{ l/s}}{10.000 \text{ m}^3/\text{s}}$)

- Turbulence de l'écoulement

L'écoulement est complètement turbulent puisque le nombre de Reynolds

$$R_e = \frac{U \times R}{\nu} = \frac{1 \times 10}{10^{-6}} = 10.000.000 \text{ (ordre de grandeur)}$$

est incomparablement plus grand que la valeur limite de 800 séparant le régime turbulent du régime laminaire ou transitoire.

- Uniformité de l'écoulement

L'écoulement est uniforme si les caractéristiques géométriques et hydrauliques ne varient pas selon l'axe longitudinal x ($\frac{\delta}{\delta x} = 0$). Il est clair que ce n'est pas le cas, à cause des contractions, élargissements, coudes, seuils, etc...

Les axes hydrauliques (pentes d'eau) varient avec la géométrie et la rugosité.

- Régime (tranquille ou rapide)

Le type et la forme d'axe hydraulique dépendent du nombre de Froude de l'écoulement. L'écoulement est tranquille si $Fr < 1$ et rapide si $Fr > 1$.

Dans le bief maritime

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g R}} = \frac{1}{\sqrt{10 \times 10}} = 0,1 \text{ (ordre de grandeur)}$$

et l'écoulement est donc bien tranquille. Il faut remarquer que dans les rivières alluvionnaires comme le Zaïre, cette limite théorique de 1 peut descendre jusqu'à 0,6 ou même 0,5.

- Axes hydrauliques

Les axes hydrauliques sont déterminés par l'équation de conservation d'énergie (ou équation de Bernoulli).

Les pentes d'eau doivent donc être augmentées du terme d'énergie cinétique $\alpha \frac{U^2}{2g}$ pour obtenir la ligne d'énergie ou de charge dont la pente traduit les pertes de charge. Comme les vitesses U sont généralement faibles, le terme $\alpha \frac{U^2}{2g}$ varie peu et la pente de surface égale environ la pente d'énergie

U	1	1,5	2	2,5	(m/s)
$\frac{U^2}{2g}$	0,05	0,11	0,20	0,31	(m)

Le coefficient peut varier entre 1 et 1,2. L'effet de seuil affectera le plus la pente. La rugosité est variable dans le temps et dans l'espace en fonction des changements de formes du lit (voir le point suivant 3.3.).

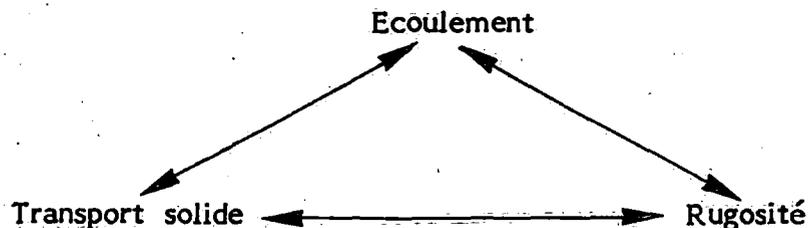
L'étude des pentes d'eau du fleuve Zaïre par un modèle mathématique unidimensionnel est possible en prenant certaines précautions. Il est cependant clair que l'écoulement est nettement tridimensionnel; un modèle bidimensionnel intégré sur la profondeur pourrait être considéré, mais pose des problèmes de mise en oeuvre difficiles à résoudre.

3.3. Transports solides

L'application des théories de l'hydraulique générale aux rivières alluvionnaires est une affaire délicate du fait de notre méconnaissance des mécanismes des transports solides.

Sur fond fixe, l'écoulement traduit un équilibre entre les forces produisant l'écoulement (gravité) et celles le retardant (frottement aux parois, pertes par turbulence interne).

En présence d'un fond mobile, l'écoulement de l'eau va provoquer le mouvement des grains de sable. Des instabilités vont alors provoquer les formations de rides, dunes, fond plat, bancs, méandres, qui sont eux-mêmes liés aux transports solides. Mais ces formes topographiques modifient la rugosité et par voie de conséquence aussi l'écoulement. On peut représenter ces relations en forme de triangle.



Lorsqu'un de ces paramètres est modifié, les autres se réajustent. Ce jeu d'ajustement se passe en permanence au cours des crues. Il faut cependant remarquer que les échelles des temps sont fort différentes. En partant des échelles courtes et en allant vers les longues :

- l'écoulement fluide s'ajuste très rapidement; une variation de débit provoque, presque instantanément, dans la région divagante un changement des vitesses, des niveaux d'eau et des pentes;

- les transports solides s'ajustent plus lentement, d'autant plus que les variations de débit sont lentes et progressives. D'autre part, les crues modifient la géométrie de la rivière (section mouillée);
- la morphologie des fonds et donc aussi la résistance à l'écoulement s'adaptent encore plus lentement; d'abord les rides ou dunes (le plus vite), ensuite les seuils et chenaux, ensuite les méandres et bancs (le plus lentement). C'est-à-dire : plus importantes sont les dimensions géométriques, plus grandes sont les échelles des temps.

Il est donc clair que les effets de retard changent pendant les crues et que les situations trouvées pour un même débit à la crue ou à la décrue peuvent être fort différentes.

L'application des théories des transports solides, souvent déduites d'essais en modèle réduit ou à partir de mesures sur des rivières particulières (elles ne sont donc pas suffisamment générales) fait intervenir les mécanismes suivants :

3.3.1. Début du mouvement

Lorsque l'écoulement se trouve en dessous d'une certaine limite, les particules solides sont au repos. La condition de début du mouvement survenant au-delà de cette limite a été exprimée de différentes manières; en fonction de la vitesse, de la tension de cisaillement, des forces de soulèvement. La condition de Schields est généralement considérée comme une des meilleures (fig. 1a).

A l'étiage et même en crue, il y a des endroits du bief maritime où le sédiment est au repos. Les sédiments ne se mettent pas tous et partout en même temps en mouvement.

3.3.2. Quantité de solide transporté

Le transport solide peut se faire sur le fond ou très près de celui-ci (charriage), ou éloigné du fond (suspension). Les grains les plus gros ont tendance à être charriés, les plus fins ont tendance à passer en suspension. Dans le fleuve Zaïre, une part importante du transport solide se fait par charriage.

Les équations permettant de calculer la quantité de sable transportée par unité de temps sont multiples. Pour la région divagante, nous avons choisi la méthode de Bagnold, basée sur la puissance du fleuve (produit de la tension de cisaillement par la vitesse).

D'autres équations ont été testées au laboratoire, avec des succès moindres. Les études se poursuivent à ce sujet.

Il faut distinguer entre la capacité de transport solide (obtenue par calcul avec les formules comme celle de Bagnold) et le transport solide réel (mesuré par les appareils sur le fleuve). En effet, la capacité calculée en un point pourra transporter plus ou moins de sable en fonction des apports de sable venant d'amont. Il peut donc y avoir des zones, des "couloirs" où de grandes quantités de sable sont transportées par charriage.

C'est le problème des axes de charriage, fort compliqué à cause des courants secondaires (courants hélicoïdaux, centrifuges, turbulences). La différence entre la direction du courant de surface et l'axe de charriage a été mise en évidence sur modèle réduit (rapports Mateba 4 et 9). En l'absence de dunes et rides, il pourrait exister une relation entre un courant de fond (lequel ?) et la direction du transport de sable. Ce problème, qui est à la base de la formation des méandres, a donné lieu à un grand nombre de théories parfois contradictoires. Il faut opter ici pour une approche pragmatique : c'est l'observation des évolutions morphologiques combinée à l'interprétation des cartes des tendances qui peut donner des renseignements intéressants.

L'emploi de courantographes directionnels ne permettra pas de mesurer le courant de fond car les appareils ont des dimensions trop grandes. De plus, ce courant aura des directions différentes suivant les positions par rapport à la topographie du fond; par exemple, par rapport à une dune. Néanmoins, ce genre d'appareil permettra d'avoir une indication sur la forme générale du courant hélicoïdal, information qualitative permettant dans certains cas d'estimer la direction générale de l'axe de charriage.

3.3.3. Type de fond - Rugosité

Lorsque l'écoulement provoque un transport solide, le fond se forme de différentes façons pour créer une résistance à l'écoulement. La première classification assez complète de formes topographiques du fond date de 1961 et a été obtenue à partir d'essais en canal hydraulique de grandes dimensions effectués à la Colorado State University, Fort Collins (Simons et al. 1961) (fig. 1b).

Lorsque la puissance du fleuve, par unité de largeur, augmente (par augmentation du débit, réduction de la section, augmentation de la pente de surface) les formes passent du type A au type C (régime calme ou inférieur) pour être aplanies (délavées, transition D) et pour ensuite passer du type E à H (régime perturbé ou supérieur).

Les types F à H n'existent que pour des valeurs du nombre de Froude supérieures à 0,5 ($Fr > 0,5$). En première approximation, on peut estimer qu'on ne les rencontrera dans des profondeurs de 8 m que si la vitesse dépasse 4,5 m/sec, ce qui correspond à une pente de surface de l'ordre de 1 m par kilomètre ($i = 10^{-3}$). Ce cas semble fort improbable bien que l'hydrographe Khokhloff m'ait rapporté une situation exceptionnelle où une débâcle sur un seuil avait provoqué localement des vitesses de l'ordre de 4 m/sec sur une longueur de 300 m environ. Il s'agissait d'un effet de déversoir à cause du seuil trop ensablé.

Les observations dans la région divagante ont montré l'existence de dunes dans toutes les passes, pour des débits inférieurs au débit moyen du fleuve. Lorsque le débit du fleuve égale ou dépasse ce débit moyen, des sortes de rides apparaissent dans les passes situées au Nord, c'est-à-dire dans les passes navigables actuelles. Dans certains cas, le fond plat apparaît. Ceci ne concorde pas avec la classification précitée. Des observations récentes dans le Rhin lors de crues ont montré des évolutions analogues, quoique moins nettes. On pourrait donc avancer comme évolution au cours de la crue (pour des débits ou puissances croissants) le schéma suivant (fig. 2a).

En "A", la profondeur est bien plus faible qu'en F (± 10 m, haut fond ou seuil pour "A"; ± 20 m, fosse pour "F"). Les dunes croissant avec la profondeur sont plus courtes et moins hautes en "A" qu'en "F". Les dunes relativement plates (hauteur/longueur = $\pm \frac{1}{100}$) commencent par se cambrer au cours de la crue.

En crue, passé le débit moyen, elles s'aplatissent (B, D, G et I) certaines se couvrant de rides fort cambrées (hauteur/longueur = $1/20$). Pour des débits plus élevés, les dunes des profondeurs plus faibles (A) peuvent complètement disparaître (cas C) alors que celles plus profondes (F) subsistent mais deviennent plus arrondies (cas H). En cas de rides, celles-ci grandissent avec la crue.

Les théories concernant les dunes et rides sont actuellement en pleine évolution et les calculs donnent parfois des résultats contradictoires. Les mesures des profils en long du faux-bras de Mateba Village, en 1985 et 1986, avec les mesures de débit liquide et solide permettront peut-être d'y voir plus clair.

Jusqu'à présent, la prédiction des types de dunes ou rides était basée uniquement sur les caractéristiques de l'écoulement (vitesse, tension de cisaillement) et du sédiment (granulométrie). Ce n'est que très récemment que certains auteurs tentent de prendre en compte le transport solide, notamment pour expliquer le passage du régime calme (ou inférieur) au régime perturbé (ou supérieur) (voir Fredsoe, 1984).

Nous avons déjà souligné l'influence des transports solides sur la nature des dunes et rides : il semblerait que, dans la région divagante, les rides apparaissent aux endroits où le transport solide dépasse la capacité de transport. Sinon, le fond devient plat. Cette hypothèse devrait être confirmée par les campagnes de mesures.

La rugosité (ou résistance à l'écoulement) varie pendant la crue. Les mêmes essais en canal hydraulique de l'Université du Colorado (Simons et al. 1961) ont montré que cette résistance, estimée par le coefficient de Manning, varie avec les dunes, rides ou fond plat (fig. 2b).

En crue, les rides du régime inférieur sont d'abord remplacées par des dunes. La résistance à l'écoulement augmente. Arrivé à un certain seuil, le courant devient si érosif que les crêtes des dunes se font éroder. Dans le régime calme, le transport se fait par érosion de la face amont de la dune et ensablement de la face aval : la dune avance. Cette vitesse est de l'ordre de 50 m par semaine dans les passes Mateba et de l'ordre de 20 m dans les anciennes passes Kindu-Bunja (fig. 2c).

Le courant sur la dune est très turbulent, avec des gros "gyres" (sorte de courant tournant sur lui-même). La rugosité est celle des grains de sable sur la face amont de la dune, entre "1" et "2" (fig. 3a).

Entre "2" et "1", au-dessus du gyre, le frottement est très faible, la différence de vitesse entre le courant et le gyre étant négligeable. Par contre, le courant va, au-dessus des dunes, passer par des contractions (convergent à la partie amont) et des élargissements (divergent à la partie aval) (fig. 3b).

Dans la section "1", la vitesse moyenne \bar{U}_1 est plus faible que la vitesse \bar{U}_2 dans la section "2". Il s'introduit donc, en plus du frottement dû au grain sur la face amont de la dune, une perte de charge (ou résistance à l'écoulement) proportionnelle à la variation d'énergie cinétique

$$\frac{U_2^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g}$$

On voit donc que la rugosité de la dune est complexe et il semble que la structure de la turbulence de l'écoulement et le transport solide y jouent un rôle important. Ainsi, lorsque le charriage est important, la rugosité sur les grains en mouvement est plus faible que si les grains étaient immobiles.

Des études en laboratoire et sur terrain ont d'ailleurs montré que la tension de cisaillement varie tout le long de la dune.

Dans le cas de dunes de dimensions variables, la rugosité ne correspond pas à celle de la dune moyenne, mais à la dimension dominante (en fait correspondant à peu près à la moyenne des dunes les plus grandes).

Lorsque le fond devient plat dans le régime perturbé, le transport solide est uniforme sur le fond et la rugosité diminue. L'écoulement va donc s'y accélérer près du fond et pourra éroder et transporter plus facilement les grains de sable.

Lorsque les rides du régime supérieur apparaissent, nous n'avons pas encore pu découvrir ce qui s'y passe. Les mesures spécifiques de janvier 1982 sur plusieurs types de fond au régime supérieur (plat, rides, dunes et rides sur dunes) ont déjà permis de constater que la rugosité est différente, mais nous n'avons pas encore pu mesurer le mode de transport ni la vitesse d'avancement de ces rides.

Un élément troublant est la constatation que la rugosité calculée par la formule de Manning, en utilisant les caractéristiques hydrauliques et géométriques moyennes

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

donne une évolution du coefficient n dans laquelle il n'est pas possible de déceler un changement de régime (fig. 3c).

Or, le changement de fond décelé sur les profils en long est clair et net !

Une hypothèse plausible est que le transport solide, l'écoulement et la rugosité se réajustent et que c'est le transport solide qui change alors de régime. Effectivement, on voit sur la courbe des débits solides mesurés en fonction des débits liquides, un changement d'évolution net vers les 40.000 m³/sec (environ le débit moyen) (fig. 4a, b, c).

Ces considérations nous amènent à avancer l'idée que l'observation des rides, dunes ou fond plat permet de déceler les changements de régime sédimentologique qui risquent de perturber, de gêner ou de faciliter le dragage. Mais nous pouvons aussi avancer l'idée que le dragage des dunes et la façon de draguer doit permettre d'influencer la rugosité, l'écoulement et le transport solide et par conséquent aussi l'autodragage.

Les activités des missions du laboratoire devraient être consacrées également à ces aspects dont l'intérêt du point de vue de l'économie et du rendement des dragages est évident.

3.3.4. Autres considérations

Les phénomènes de début du mouvement, de quantité de solide transporté et de rugosité se compliquent encore lorsqu'on tente de comparer la théorie aux observations.

Il y a d'abord la difficulté de distinguer, dans la pratique, entre charriage, saltation et suspension. La distinction est claire d'un point de vue théorique. Mais nous nous trouvons en face d'un phénomène stochastique, c'est-à-dire que les grains individuels peuvent être soumis à un de ces trois modes de transport ou passer de l'un à l'autre. Il nous faut considérer l'ensemble des grains dont il y aura toujours un certain nombre de grains, pas toujours les mêmes, à se mouvoir de l'une ou de l'autre façon.

Cela a son importance dans la description des "axes de charriage", car ce qui nous importe dans la région divagante est le sable qui se déposera à l'endroit à draguer, qu'il y soit venu par charriage, en saltation ou en suspension. On peut cependant aussi expliquer l'axe de charriage comme l'axe le long duquel le transport solide (ou l'apport solide) dépasse la capacité de transport. Cela vaut aussi bien pour les grains charriés que pour ceux en suspension. La question qui se pose dans ce dernier cas est de savoir quelle est la vitesse de chute du grain individuel. Cette vitesse est connue en eau calme; on la déduit, par exemple, à l'aide du tube de sédimentation. Mais la turbulence de l'eau (les tourbillons dont on voit d'ailleurs parfois, à la surface de l'eau, les "bouillons") ralentit cette vitesse. Entraîné par le courant, un grain de sable commençant à sédimenter (par exemple par ralentissement du courant) peut encore parcourir des dizaines, des centaines, voir même des milliers de mètres avant de se déposer au fond.

Les grains transportés suivent, en général, les filets liquides lorsqu'ils sont en suspension. Dans les coudes, se superposent au courant longitudinal général des courants traversiers, qui créent des circulations d'eau secondaires hélicoïdales, en forme de vis.

Ces courants traversiers ont été mesurés dès 1969 grâce à des courantomètres directionnels (voir rapports Mateba 5 et 7). Des valeurs de vitesses transversales égales à 15 % de la vitesse longitudinale (donc de 10 à 20 cm/sec environ) sont citées dans la littérature comme mécanisme principal dans les phénomènes d'érosion et de dépôt dans les méandres. Les sables érodés dans la partie concave amont des coudes sont ramenés vers la partie convexe aval en traversant le chenal au fond (mis en évidence en modèle, voir Mateba 4 et 9).

4. LA MORPHOLOGIE DES RIVIERES

Nous ne suivons pas l'approche des géomorphologistes (géographes) qui décrivent le paysage fluvial dans sa perspective historique. Nous analyserons (en tant qu'ingénieurs) les formes des rivières - et leur classification - en examinant par quels facteurs elles peuvent être influencées. Il nous sera ainsi possible de dégager certaines règles, d'émettre certaines directives au sujet des formes des chenaux navigables susceptibles d'écouler les eaux sans y provoquer des désordres, en faisant appel à un minimum de travaux d'entretien ou d'aménagement.

4.1. Formes des rivières et classification

Dans une première approche, les rivières peuvent être classées grossièrement suivant leur aspect vu des airs : elles peuvent répondre à un modèle (structure) à chenal droit, à chenal serpentant (ou à méandres) ou à chenaux tressés (ou enchevêtrés) (fig. 5a, b, c).

4.1.1. Chenaux droits

Le tracé général est droit, mais on trouve toujours un thalweg sinueux, avec des bancs situés alternativement le long des rives, parfois complètement immergés. Ceci nous amène à dire que le chenal droit naturel, ne peut exister dans une plaine alluvionnaire.

Prenant les longueurs L_1 et L_2 séparant deux points du chenal assez éloignés l'un de l'autre, longueurs respectivement le long du thalweg et à vol d'oiseau (généralement dans le sens de la plus grande pente de la vallée), on peut définir la sinuosité comme le rapport :

$$Si = \frac{L_1}{L_2}$$

Certains auteurs ont pris comme hypothèse que le chenal peut être considéré comme droit lorsque la sinuosité est inférieure à 1,05.

De longs tronçons de rivière peuvent présenter une vue en plan rectiligne. La raison en est généralement une fixation des rives par des formations géologiques dures, peu érodables (Kasaï) ou par des ouvrages construits par l'homme.

Des expériences menées aux Etats Unis d'Amérique ont montré qu'un fleuve naturel à méandres réagit rapidement à une rectification par la création de bancs de sables alternés. Les volumes de sable à draguer pour maintenir une profondeur constante dans le chenal navigable croissent généralement fortement lorsqu'on tente de rectifier ce chenal.

4.1.2. Chenaux à méandres

Dans une rivière à méandres, le chenal présente une succession de courbes et de contre-courbes. Le thalweg oscille transversalement d'une rive à l'autre en créant des courbes plus prononcées que celles de la rivière.

Des courants secondaires hélicoïdaux s'y développent. Ils ont pour effet de creuser le chenal le long de la rive concave juste en aval du point de courbure maximum et de ramener le sable vers le banc situé le long de la rive convexe également juste en aval du point de courbure maximum. L'importance du courant hélicoïdal dépend du rayon de courbure du chenal. Réduire celui-ci revient généralement à diminuer la profondeur et la longueur de la mouille (fosse profonde le long de la rive concave).

D'autres facteurs peuvent aussi influencer la forme en plan de la rivière. La longueur et la profondeur du seuil séparant deux mouilles dépend, par exemple, aussi de l'aptitude des rives à s'éroder.

L'allongement de la distance entre deux courbes très cambrées provoquera un seuil haut et long, malgré les courants hélicoïdaux très prononcés dans les courbes.

Cet allongement peut être dû à l'avancement plus rapide de la courbe aval (terrain s'érodant facilement) par rapport à celui de la courbe amont (terrain plus résistant) (fig. 6a).

De nombreuses études ont été consacrées à la recherche de la forme idéale d'un méandre. Fargues (1908) a été le premier à définir des règles assez générales dont l'application à des rivières européennes a été souvent couronnée de succès.

D'autres expériences moins heureuses ont montré que l'application de ces règles n'est pas toujours aussi évidente qu'il paraît. Celles-ci restent cependant valables de façon qualitative.

4.1.3. Chenaux enchevêtrés

Généralement large, avec des rives instables et mal définies, la rivière enchevêtrée ("braided river") se caractérise par de fortes pentes, des profondeurs relativement faibles et des chenaux multiples séparés par des bancs et îles alluvionnaires. Ces rivières ont fait l'objet d'études en laboratoire qui ont fait conclure qu'elles représentent une situation d'équilibre, permettant de maintenir un quasi-équilibre entre débit liquide, charge sédimentaire et capacité de transports solides. Les deux principales causes de l'existence de rivières enchevêtrées sont les fortes pentes et les apports solides (charge sédimentaire) supérieurs aux capacités de transport des sédiments, ceci éventuellement associé à des rives s'érodant facilement.

4.1.4. Continuité de la classification des types de chenaux

En réalité, les formes en plan des rivières passent de façon continue du type droit au type enchevêtré en passant par le type à méandres. Des essais en laboratoire ont permis de montrer qualitativement de quelle façon la sinuosité du chenal évolue (fig. 6b).

Résultats d'essais pour un débit, en modèle réduit, de 4 litres/seconde (d'après Khan, 1971).

Des observations dans le bassin du Mississippi et dans d'autres rivières des Etats-Unis d'Amérique ont fourni les relations suivantes (fig. 7) :

$$S.Q^{1/4} = K \quad (\text{Lane 1957})$$

où S est la pente, Q le débit liquide et K une constante.

Lorsque $S.Q^{1/4} \leq 0,0007$

la rivière tendra vers le type à méandres.

Lorsque $S.Q^{1/4} \geq 0,0041$

la rivière tendra vers le type enchevêtré.

Pour un même débit, les pentes de ces deux extrêmes diffèrent d'un facteur 6. Les points représentatifs sur le graphique montrent que le fleuve Zaïre se classe généralement comme fleuve à méandres. Ce n'est qu'exceptionnellement, en cas de forts débits associés à de fortes pentes que le fleuve peut rentrer dans la catégorie intermédiaire, tout comme le Missouri et le Mississippi moyen, dont les caractéristiques hydrauliques et sédimentologiques se rapprochent quelque peu de celles du Zaïre. Cependant, la charge sédimentaire du Zaïre est proportionnellement beaucoup plus faible que celle de ces fleuves américains. Le Zaïre se classera donc plutôt dans la catégorie fleuves à méandres.

5. EFFETS DE CRUES SUR LE RÉGIME DES FLEUVES

La discussion qui suit se limite aux cas similaires au Zaïre dans son cours inférieur en aval de Boma.

L'effet des crues sur les fleuves alluvionnaires se fait sentir sur de nombreux paramètres liés entre eux : débit, pente, niveaux d'eau, rugosité, sinuosité, etc... Comme les temps de réponse de ces paramètres diffèrent, les effets des crues dépendront fortement de la rapidité de la crue. Le Zaïre a généralement des crues lentes. Une crue plus rapide peut cependant provoquer des désordres graves.

5.1. Effet de la crue sur le tracé des courants

La surélévation des eaux provoque un passage par dessus des bancs et un tracé plus rectiligne des courants; le chenal tend à devenir plus droit (fig. 8a).

Ceci suppose que le fleuve n'a pas le temps d'adapter son tracé (sinuosité) aux débits élevés. La forme générale moyenne de la rivière est créée par le débit dominant, c'est-à-dire le débit qui agit activement pendant la période la plus longue (débit proche du débit moyen dans le cas du Zaïre). Il ne faut pas confondre la sinuosité de la rivière et celle d'un chenal. Alors que, la rivière garde une sinuosité assez constante, conditionnée par les conditions moyennes d'écoulement, son (ou ses) chenaux voit (voient) leur(s) cours évoluer en fonction des crues.

5.2. Effet de périodes de hautes eaux sur le type de rivière

Puisque la crue provoque une augmentation simultanée du débit et de la pente, les figures 8b et 8c ci-dessous permettent de constater qualitativement vers quel type la rivière tendra lors d'une période prolongée de hautes eaux (ou inversément de basses eaux).

- soit une augmentation de sinuosité HE(1) si le type reste à méandres;
- soit une augmentation ou une diminution si le type devient de transition (ou enchevêtré)

Dans le second cas, ce changement s'accompagnera de sérieux désordres.

5.3. Effet de la crue sur la rugosité

La forme topographique des fonds (fond plat, rides, dunes, ...) est un facteur important.

Une relation expérimentale établie à partir d'essais en laboratoire et d'observations en nature permet de prédire le changement de ces formes d'un type à un autre, suivant le régime, lui-même dépendant de la puissance du courant (fig. 8d).

Comme signalé précédemment, il semble que cette relation n'est pas toujours valable et il est nécessaire de poursuivre des recherches à ce sujet à partir de mesures dans la région divagante.

L'évolution générale constatée sur de nombreux fleuves assez bien comparables au Zaïre (Orinoco, Mississippi, ...) montre que la résistance à l'écoulement, dans laquelle la rugosité des formes topographiques n'intervient que pour une partie, tend à diminuer avec le débit (fig. 8e).

augmentation ou une diminution si le type devient de transition (ou enchevêtré)

Dans le second cas, ce changement s'accompagnera de sérieux désordres.

5.4. Effet de la crue sur les niveaux d'eau

Comme la relation entre le niveau d'eau et le débit dépend directement de la résistance à l'écoulement, la rapidité de la crue influencera le niveau d'eau atteint par celle-ci. Considérant la courbe relation débit-hauteur pour une rugosité moyenne, le niveau atteint à l'étiage sera plus haut et le niveau atteint lors de la crue sera plus bas que le niveau correspondant à la rugosité moyenne (fig. 8f).

Les dunes et rides ayant besoin d'un certain temps pour s'adapter, de même que la forme des chenaux et bancs, les niveaux atteints pour un même débit seront différents si la crue a été rapide ou lente. N'oublions pas, par ailleurs, les effets de comblement des seuils à la crue et d'érosion des chenaux à la décrue qui peuvent influencer de façon notable la résistance globale de la rivière. Il doit être clair que ce qui précède doit être utilisé avec circonspection.

6. EFFETS DE L'INTERVENTION DE L'HOMME SUR LE REGIME DES FLEUVES

6.1. Effets dus à des ouvrages d'art de stabilisation

L'homme a tendance à fixer autant que possible le cours, le tracé des fleuves. Il recourt souvent aux ouvrages d'aménagement dont les digues, les épis, les revêtements de rives ne sont que des exemples parmi d'autres. Les effets de ces ouvrages d'art sur les pentes, les niveaux d'eau, la résistance à l'écoulement sont généralement prévisibles, du moins qualitativement. La résistance à l'écoulement va, au lieu de décroître pendant la crue, passer d'abord par un minimum pour réaugmenter ensuite lorsque des ouvrages comme épis, digues et revêtement sont de plus en plus immergés (fig. 9).

6.2. Effets sur les transports solides

Une loi empirique lie le débit liquide (Q), la pente d'eau (i), le débit solide (Q_S) et la granulométrie du sédiment (D_{50})

$$Q \times i = Q_S \times D_{50} \quad (= = \text{proportionnel})$$

c'est-à-dire que le produit du débit liquide et de la pente d'eau est proportionnel au produit du débit solide et de la granulométrie.

Cette loi simple permet de prédire qualitativement l'effet de changements naturels ou provoqués par l'homme comme des modifications de pentes par rectification, de débit solide par des dragages ou des barrages etc...

On peut donc ainsi prévoir qu'un aménagement par ouvrages de stabilisation de lit, décrit au point précédent, devrait provoquer une augmentation de pente pour le même débit et donc une augmentation de débit solide si la granulométrie du sédiment ne change pas.

6.3. Cas de la rectification du tracé

La rectification du tracé, appréciée par les navigateurs, peut mener à des conséquences néfastes pour l'entretien du chenal navigable. Le tableau ci-après résume quelques effets.

EFFETS LOCAUX

1. Pentes augmentent
2. Vitesses augmentent
3. Transports solides augmentent
4. Dégradation et coupures
5. Instabilités de rives
6. Tendance à l'enchevêtrement

EFFETS EN AMONT

voir effets locaux

EFFETS EN AVAL

1. Dépôts en aval du tronçon rectifié
2. Niveaux de crue augmentés
3. Diminution de la capacité de transport solide et liquide.

En fait, les effets sont souvent plus complexes, la morphologie (forme de la rivière) devant également s'adapter. Ce point sera discuté plus en détail au chapitre 7.

6.4. Effets dus aux dragages

Le dragage peut avoir des objectifs divers :

6.4.1. Entretien des profondeurs d'un chenal navigable

Les crues provoquent des transports solides variables suivant l'état de la crue. La forme et les profondeurs des chenaux sont perpétuellement modifiés. Le dragage permet de maintenir une profondeur minimale par creusement des seuils dans les passes navigables.

Les volumes à draguer sont généralement liés à l'état de la crue, donc à la période de l'année. C'est ainsi que les dragages d'entretien des seuils du bief maritime sont généralement moins importants au cours des mois d'octobre et de novembre, à cause de la montée des eaux de la grande crue.

L'évolution historique des crues et la situation morphologique du fleuve affectent évidemment fortement les volumes de dragage d'entretien.

6.4.2. Rectification du tracé d'un chenal navigable

La rectification du tracé d'un chenal navigable sert principalement à faciliter la manoeuvre des navires en réduisant le rayon de courbure du

chenal ou en élargissant certains tronçons. Alors que le dragage d'entretien des profondeurs est fortement lié à l'état de la crue, le dragage de rectification est un travail de longue haleine qui peut se faire à tout moment de la crue, pour autant que les courants le permettent.

6.4.3. Coupure pour le déplacement d'un chenal

Lorsqu'un chenal principal tend à s'ensabler et qu'un nouveau chenal peut le remplacer, il est utile et souhaitable d'accélérer l'évolution naturelle par un dragage de coupure. Généralement ce dragage suit l'évolution naturelle qu'il ne fait qu'achever.

Il est néanmoins possible d'anticiper l'évolution naturelle et d'accélérer le processus naturel même dans sa phase initiale. La difficulté du dragage de coupure (ouverture du nouveau chenal) est de déterminer son alignement. En effet, l'efficacité de l'autodragage (plus que nécessaire dans le cas du Zaïre) est conditionnée par cet alignement en fonction du tracé des courants.

L'expérience des hydrographes peut grandement aider à établir cet alignement. Ce problème a aussi été étudié au Laboratoire de Recherches Hydrauliques. La méthode de prévision des évolutions peut certainement aider grandement dans la prise de décision (voir chapitre 7).

6.4.4. Le dragage comme agent morphologique

Le dragage peut être utilisé pour agir sur le développement morphologique d'une rivière. C'est un des objectifs des recherches menées depuis 1968 par le Laboratoire de Recherches Hydrauliques. Le déplacement de sable par la drague - enlèvement sur un site et dépôt sur un autre site - modifie le processus morphologique naturel et agit en parallèle aux transports solides naturels. Le dragage peut aussi agir sur la modification de la concentration du courant, sur la rugosité, sur la profondeur et donc modifier d'une façon sensible l'autodragage.

Il est clair que le dragage a, vis-à-vis de l'aménagement par ouvrages d'art, un avantage important : il est toujours possible de l'adapter à de nouvelles conditions non prévisibles, telles de longues périodes de basses ou de hautes eaux, l'apparition d'influences naturelles insoupçonnées, comme des parties plus résistantes à l'érosion dans le lit de la rivière.

L'ouvrage d'art doit, quand à lui, être mis correctement en place et garder autant que possible la même efficacité, quelles que soient les évolutions naturelles.

7. APPLICATION AU BIEF MARITIME DU ZAIRE

L'objet de ce chapitre n'est pas de faire une analyse complète de l'application des notions d'hydraulique fluviale au bief maritime. Il s'agit plus d'attirer l'attention des spécialistes de la Régie des Voies Maritimes, par quelques exemples, sur certains aspects de l'hydraulique fluviale, sur la façon dont certaines théories peuvent y être appliquées. Il s'agit également de mettre le doigt sur de nouvelles orientations dans la recherche future.

7.1. La prédiction de l'évolution de la morphologie de la région divagante

Considérant la pente et le débit moyens (fig. 8c), il apparaît que la région divagante doit être du type à méandres. Une analyse de la sinuosité calculée entre Mao et Malela indique que celle-ci varie généralement entre 1.10 et 1.20, ce qui est relativement faible et donc favorable au développement d'un bon chenal navigable. Dans certains tronçons, la sinuosité peut même descendre en dessous de 1.05. Il faut veiller à calculer la sinuosité sur une longueur correspondant à plusieurs méandres. Une analyse des évolutions de la sinuosité des chenaux de la région divagante nous apprend que :

- a) les variations annuelles de la sinuosité du thalweg des chenaux fluctuent avec la crue, quoique très faiblement; le thalweg tend à être plus rectiligne aux hautes eaux et plus sinueux aux basses eaux;
- b) les variations interannuelles de la sinuosité du thalweg des chenaux changent avec les niveaux des crues dont la mesure pourrait être le débit annuel;
- c) la forme des méandres est fortement influencée par la présence de points durs (roches ou argiles); ceux-ci déforment les méandres du fait que les différentes parties n'avancent pas (ne "migrent" pas) à la même vitesse;
- d) la forme des méandres est influencée par les séparations et les jonctions de chenaux, en fonction de l'importance des débits qui les parcourent; c'est le problème complexe des fleuves à méandres comportant des régions à chenaux multiples, qui fut appelée "divagante" au bief maritime du fleuve Zaïre;

e) les variations de transports solides, fonctions de nombreux paramètres morphologiques (points durs, formations de bancs et seuils, résistance à l'érosion des berges, ...) et hydrauliques (répartitions des débits, intensité et concentration des courants, pentes hydrauliques, rugosités, évolutions des crues, ...) peuvent provoquer des désordres locaux, correspondant à un engorgement de sables; le fleuve y réagira par changement de la sinuosité, provoquant même un enchevêtrement des chenaux.

On voit donc que la sinuosité a de multiples raisons de changer. L'analyse des évolutions morphologiques devra donc se faire prudemment, en considérant toutes les causes possibles.

Il ne faut pas oublier que la région divagante est un delta intérieur où les sables se déposent de façon sélective. Au fur et à mesure que l'on s'approche de l'océan, les pentes d'eau diminuent et les effets de marée augmentent, alors que le débit moyenné sur la marée reste constant.

Les évolutions de méandres, sous les multiples effets énoncés ci-avant, vont provoquer des variations (adaptations) des rugosités et des transports solides. Un engorgement local va se traduire par des variations locales de pente d'eau, de puissance du fleuve, de rugosité. L'analyse de ces paramètres en fonction du temps permet de déceler les tendances.

La méthode de prévision des évolutions mise au point par le Laboratoire de Recherches Hydrauliques fait appel à toutes ces notions d'hydraulique fluviale. Les lois sont cependant souvent empiriques et doivent être utilisées avec prudence.

7.2. Description et analyse succinctes de l'évolution du Pool Mateba Amont

Considérons la région comprise entre Ditadi-dia-Muingu et Ziamanganga. Longue de 20 kilomètres, elle comporte entre 1,5 et 2,5 longueurs de méandre. Du type plutôt enchevêtré dans les années 1940 à 1960, une période prolongée de hautes eaux combinée à d'autres facteurs a provoqué un nettoyage du sable qui l'engorgeait. En 1968, environ au moment de l'ouverture du nouveau chenal navigable, sa sinuosité était proche de 1,10.

A cause de l'augmentation des apports de sable, de l'existence de points durs, de l'existence de régions où pouvaient se développer des chenaux secondaires (régions Banc Amont et Ilots Tortues), la sinuosité du thalweg augmente progressivement pour atteindre 1,2 vers 1972 et 1,4 en 1985. Le fleuve s'adapte à cette situation par le développement des chenaux secondaires (enchevêtrement) assez instables du fait de l'existence des points durs. Lors des crues, les formes topographiques des fonds changeaient souvent en fond plat ou en petites dunes (sorte de rides) qui dénotent généralement un engorgement de sable. La forme des seuils indiquait à quels endroits se plaçaient les axes de charriages.

Dès le début des années 1980, le faux-bras Mateba-Village se creusa, pour devenir en 1985 presque aussi important que le chenal navigable. Entre Tata-Bana et Ziamanganga, la sinuosité du faux-bras Mateba-Village est inférieure à 1,1, le chenal étant pratiquement droit, alors que celle du chenal navigable est supérieure à 1,5. Il s'agit véritablement d'une coupure, dont les effets sont décrits au point 6.3. Ces effets ont été constatés :

dans le faux-bras

- augmentation des pentes;
- augmentation des vitesses;
- augmentation des transports solides (concentrations élevées);
- dégradation et coupures (chenaux secondaires dans la rive gauche, création de seuils);
- instabilités des rives, mais évolution anormale de la rive gauche probablement causée par des points durs.

Seule la tendance à l'enchevêtrement ne s'est pas fort marquée, à l'exception des chenaux secondaires de rive gauche.

à l'aval du faux-bras

- dépôts sur le seuil aval du faux-bras avec axe de charriage transversier et dépôt en rive droite à l'aval de Ziamanganga;

Les autres effets tels que l'augmentation des niveaux de crue et la diminution de la capacité de transport solide et liquide ne se sont pas fait ressentir du fait que la coupure du faux-bras n'a pas éliminé le Seuil Central.

en amont du faux-bras

le faux-bras a capté une grande partie du débit du chenal navigable, le Seuil Central restant alimenté par les faux-bras des Bancs Amont. Les déversements des produits de dragage à l'entrée du faux-bras et le maintien du Seuil Central n'ont pas provoqué une augmentation trop rapide ni trop forte des pentes et vitesses d'eau. Les rives restent cependant très instables et créent des apports de sable que le fleuve continue à ne pas pouvoir digérer.

Les évolutions au cours des crues ont été très typiques :

- tendance au maintien du chenal sinueux (Seuil Central) à l'étiage;
- tendance à l'ouverture des faux-bras pendant les crues.

7.3. Les dragages comme moyen d'influencer l'évolution naturelle

Le dragage peut servir à freiner l'évolution vers l'enchevêtrement par :

- le creusement de surprofondeurs sur les seuils du chenal navigable pour y diminuer la résistance à l'écoulement (rugosité), augmenter la concentration du courant, augmenter la puissance de l'écoulement et donc aussi la capacité d'autodragage;
- la rectification du tracé du chenal navigable aux basses eaux par des dragages hors passes; de cette façon le chenal sera mieux orienté aux eaux hautes;
- au cas où une coupure telle que le faux-bras Mateba-Village se déclenche, la méthode de prévision des évolutions doit permettre de l'anticiper et de définir une stratégie de dragage (organisation du chantier, choix des sites de dragage et de déversement, modes de dragage, etc...);
- la redistribution des sédiments qui encombrant la région Mateba Amont en draguant aux endroits menaçants (même hors passes) et en déversant à l'entrée des faux-bras dont on veut empêcher l'ouverture.

Un programme de redistribution des sédiments a été envisagé avec la Direction d'Exploitation de la Régie des Voies Maritimes pour le seuil des Oiseaux Nord.

8. CONCLUSIONS

Ces notes reprennent, en les explicitant, les idées développées au cours du séminaire relatif à l'hydraulique fluviale tenue à la Régie des Voies Maritimes en 1985.

L'objectif était double. D'abord situer la méthode de prévision des évolutions dans le contexte plus large de l'hydraulique fluviale en tentant d'introduire de nouvelles notions telles la sinuosité ou les effets des crues sur la rugosité et la morphologie. Ensuite, montrer comment il est possible d'influencer l'évolution du fleuve par dragages, en aidant les évolutions favorables et en contrant celles qui ne le sont pas.

Rédiger ces notes en espérant rendre claire, en une quarantaine de pages, une matière éminemment complexe et controversée tient de la gageure. Notre démarche reste fidèle à une ligne de conduite que nous nous sommes fixée dès le départ : approche pragmatique des problèmes, basée, un peu sur la théorie mais beaucoup sur l'observation (campagnes de mesures, expériences et essais) et sur l'expérience, le "savoir" des hydrographes locaux.

HYDRAULIQUE FLUVIALE

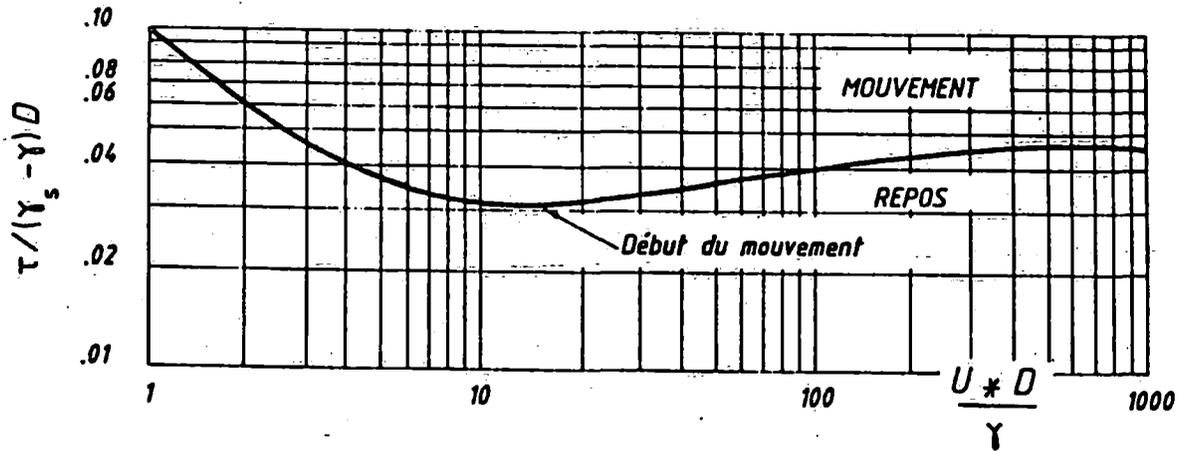
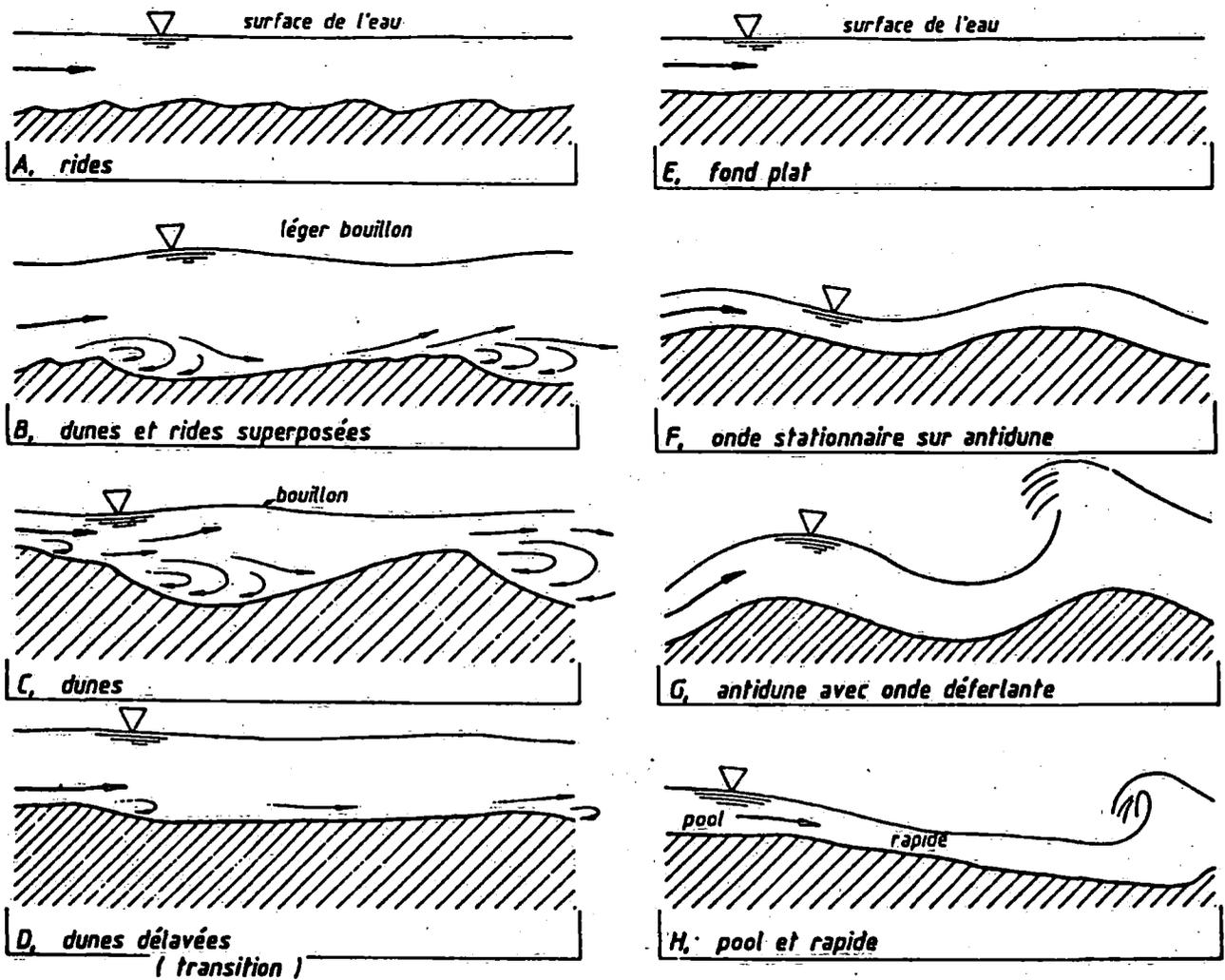


fig. 1a



Formes de rugosité de fond dans des chenaux constitués de sables.

fig. 1b



HYDRAULIQUE FLUVIALE

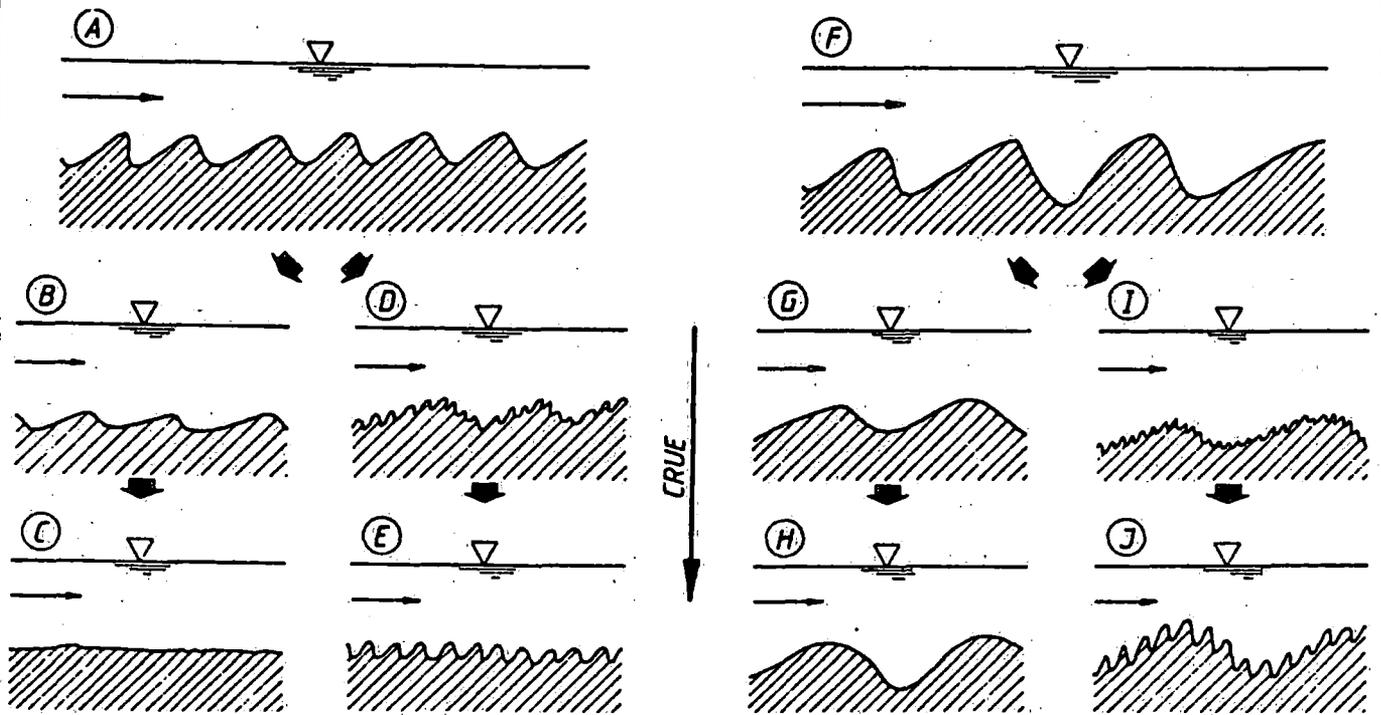


fig. 2a

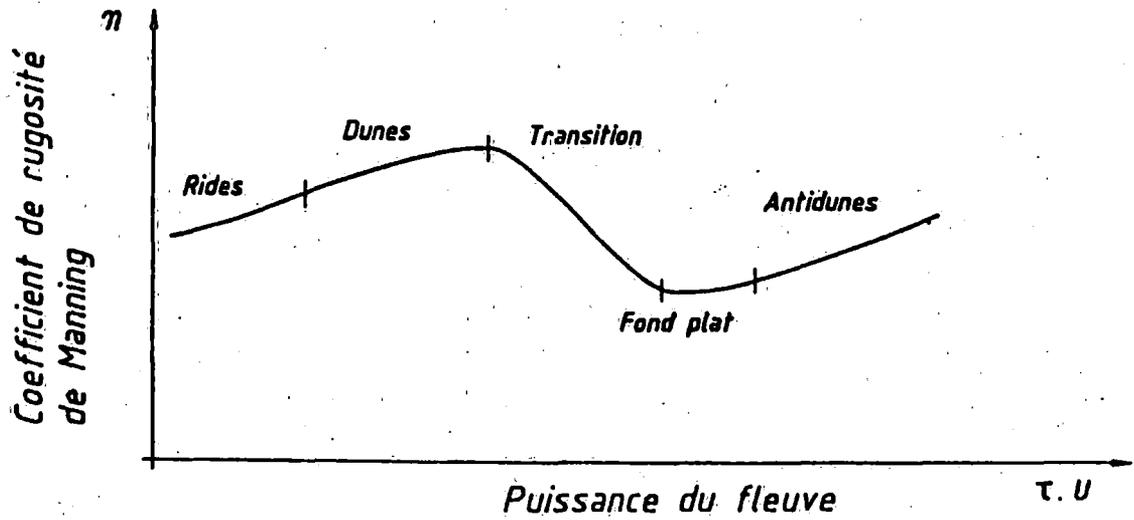


fig. 2b

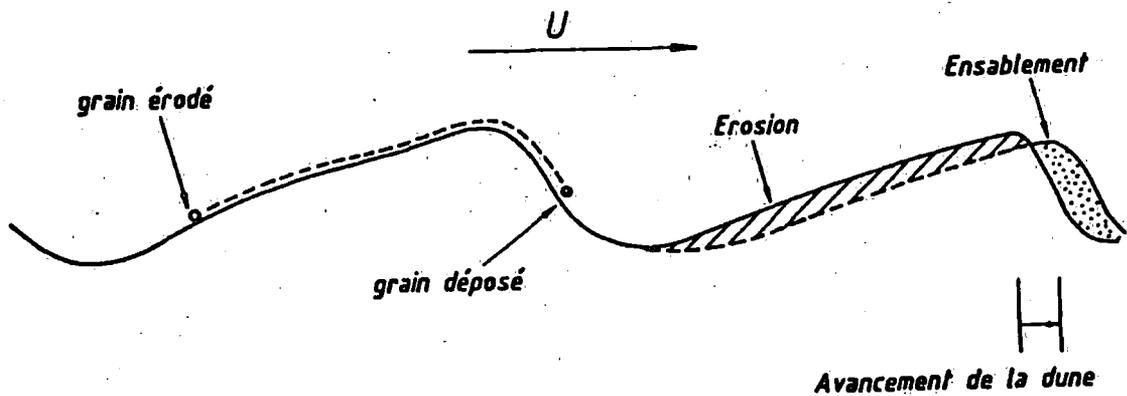


fig. 2c



HYDRAULIQUE FLUVIALE

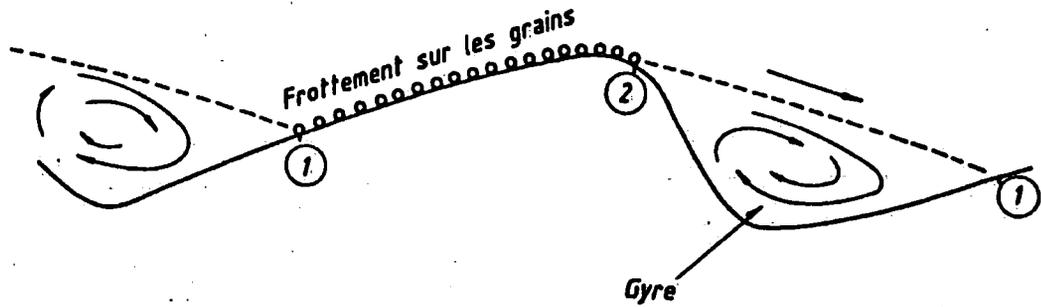


fig. 3a

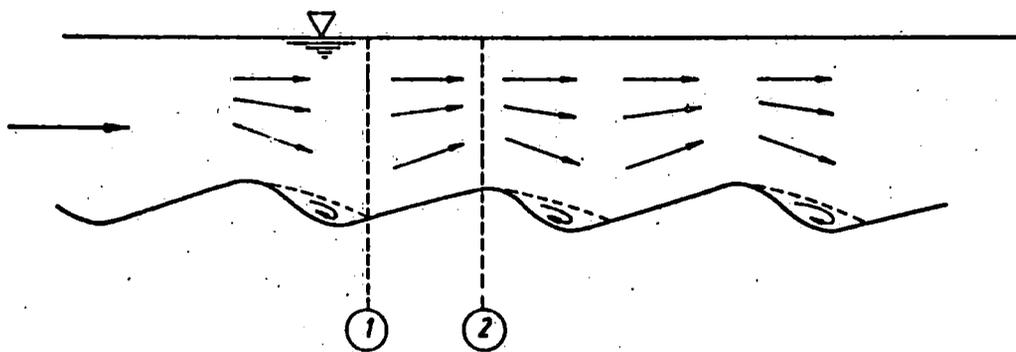


fig. 3b

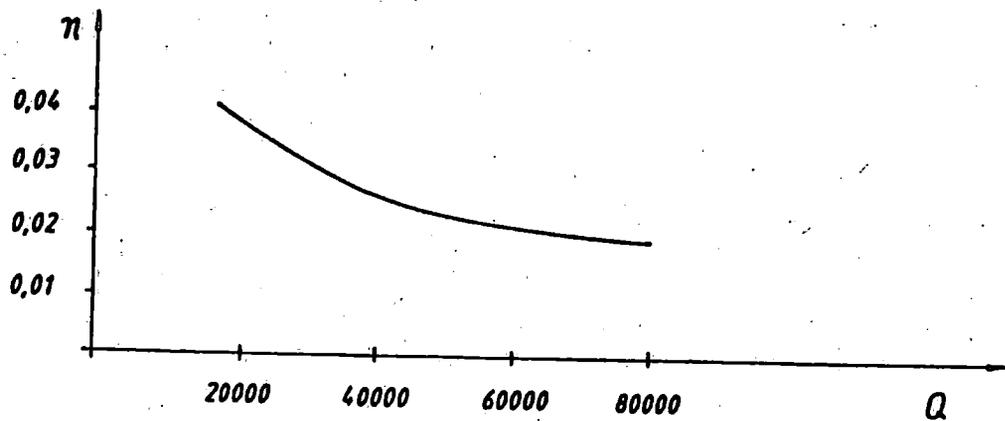
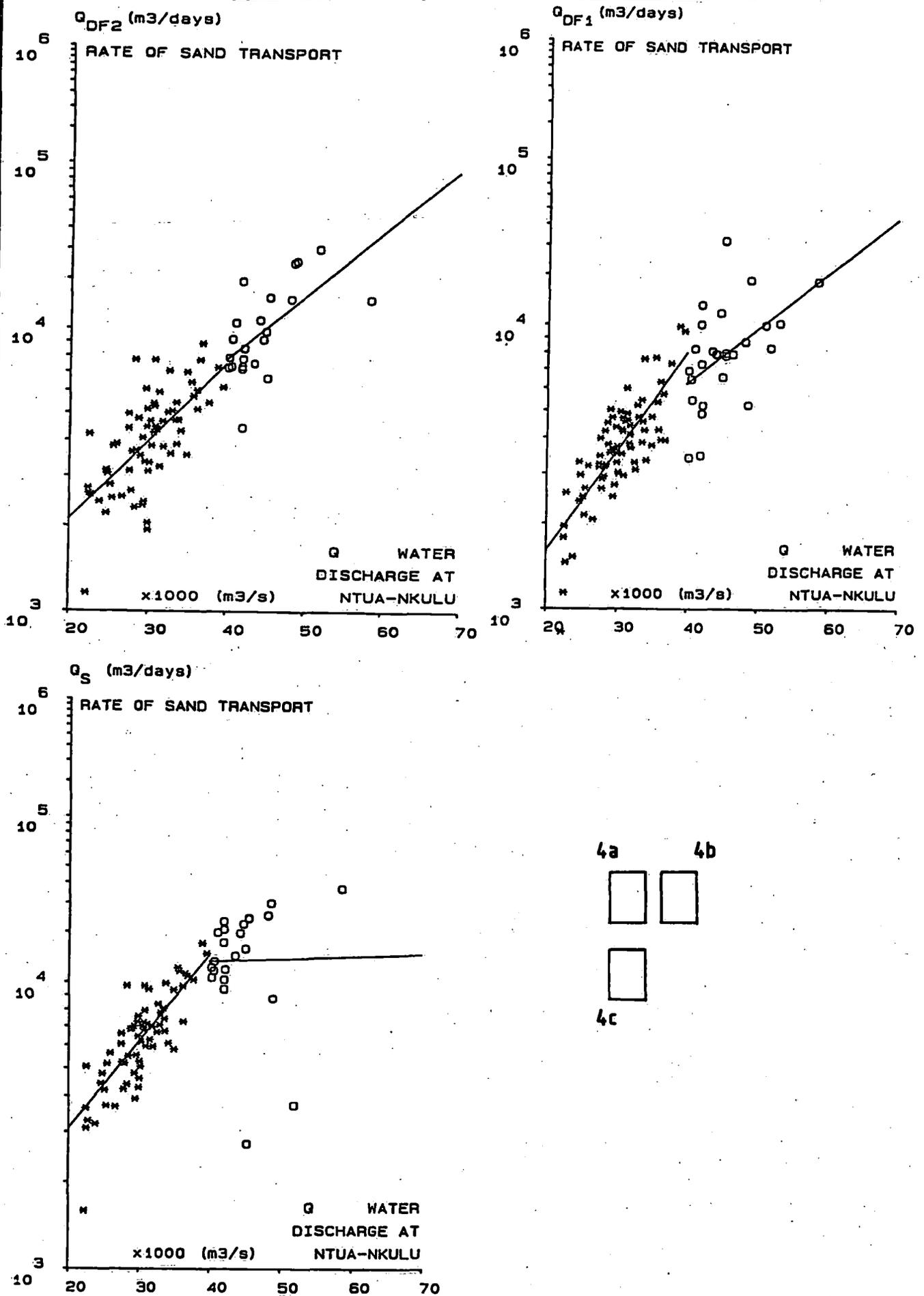


fig. 3c

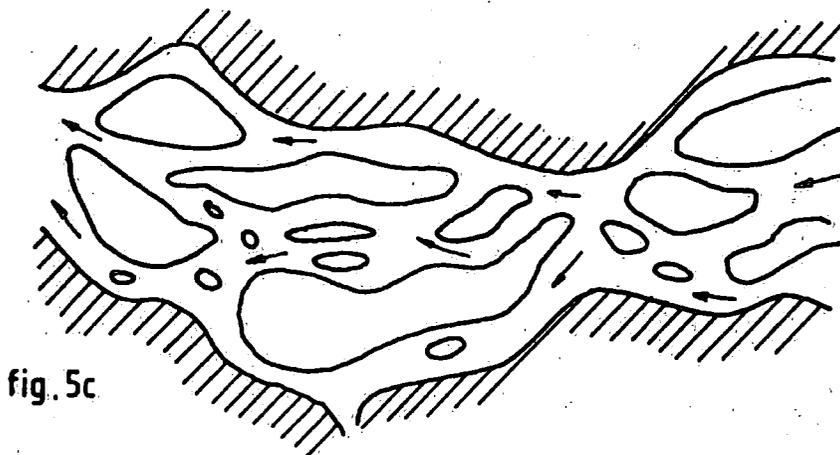
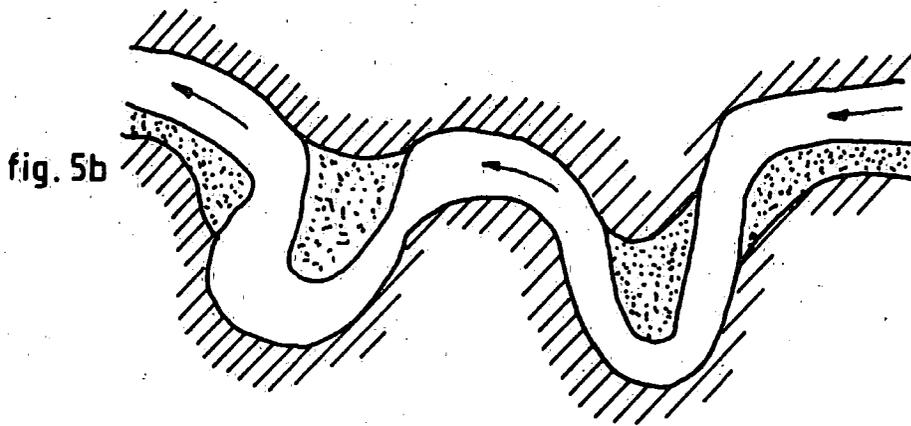
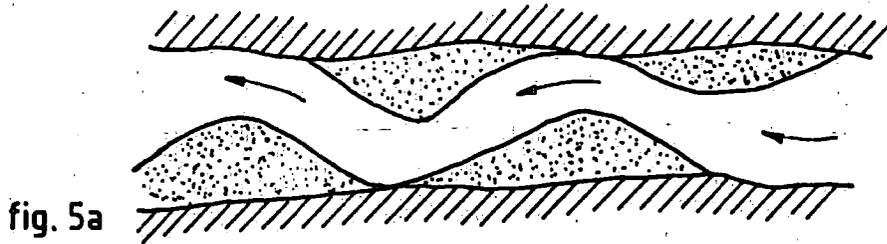


HYDRAULIQUE FLUVIALE





HYDRAULIQUE FLUVIALE



HYDRAULIQUE FLUVIALE

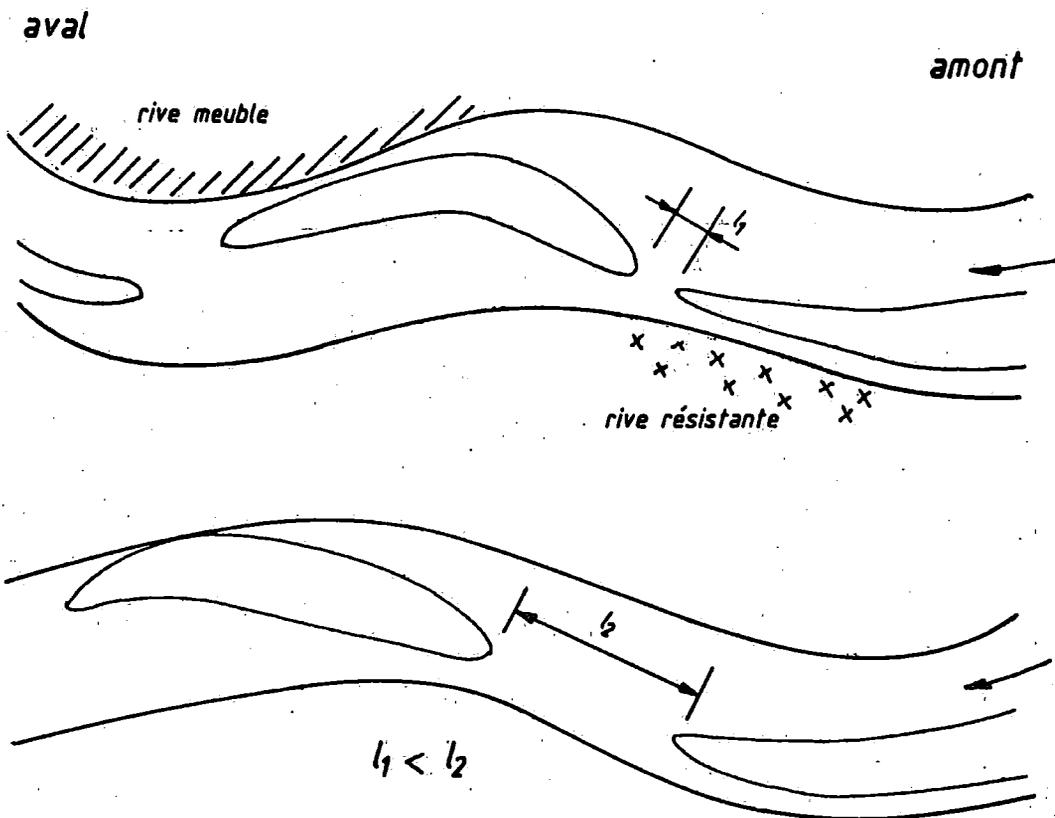


fig. 6a

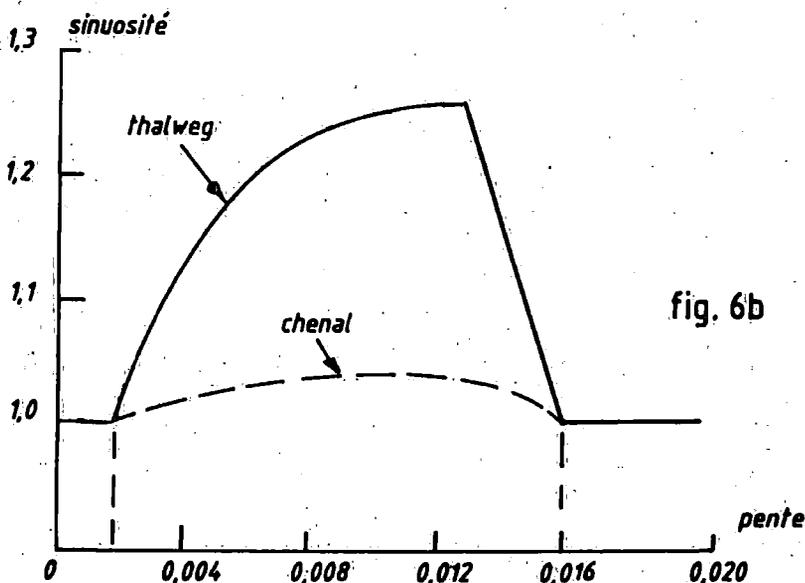
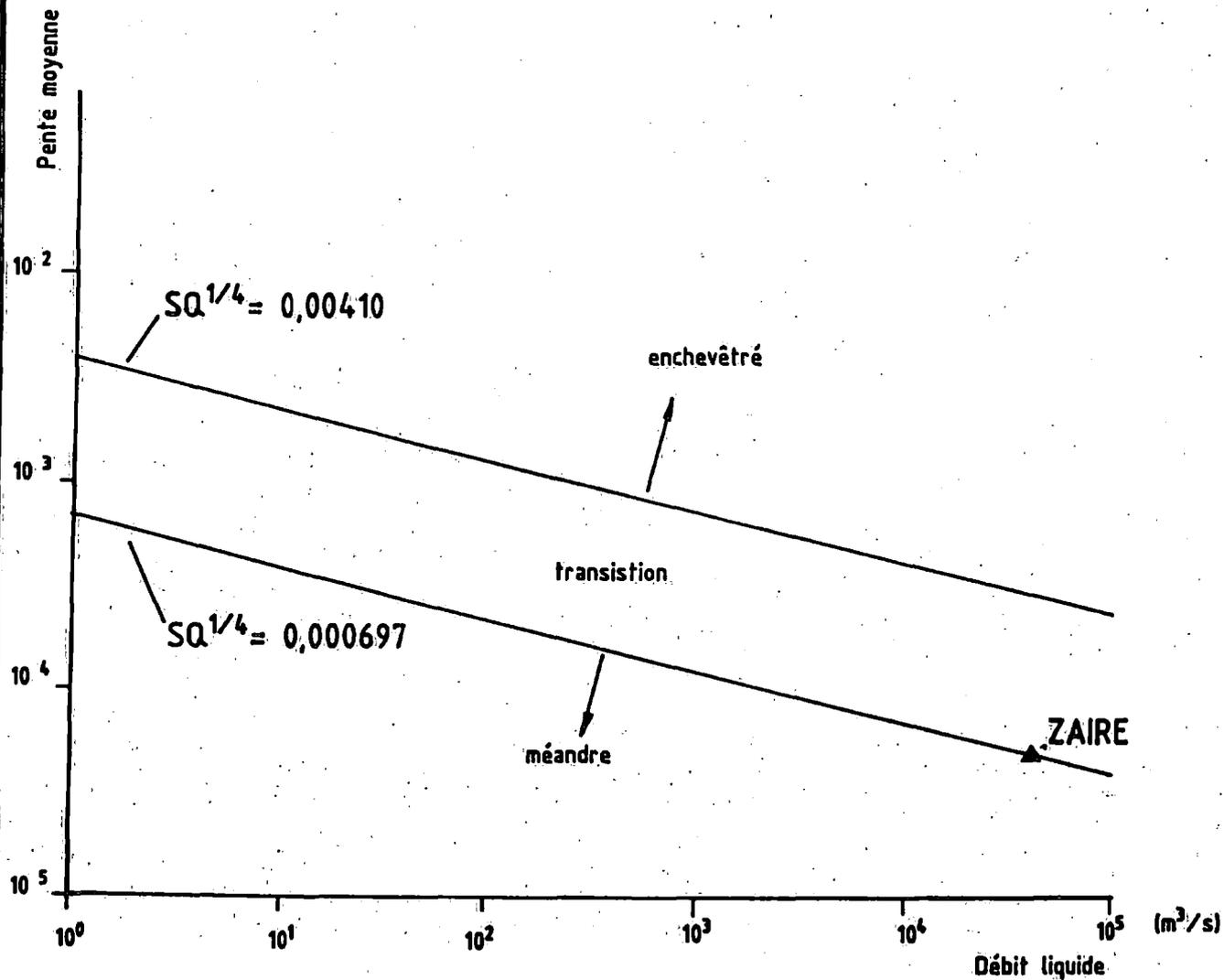


fig. 6b

résultats d'essais pour un débit en modèle réduit de 4 litres/sec.
(d'après Khan 1971)



HYDRAULIQUE FLUVIALE





HYDRAULIQUE FLUVIALE

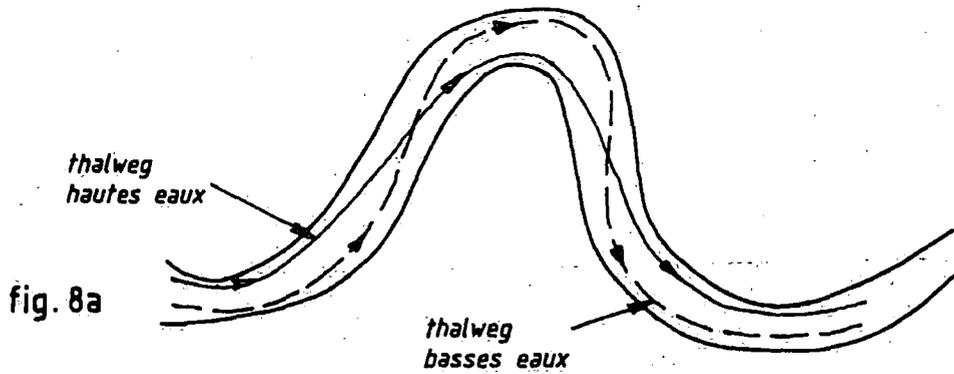


fig. 8a

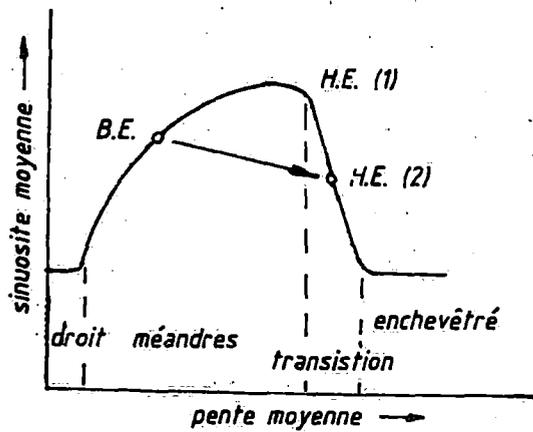


fig. 8b

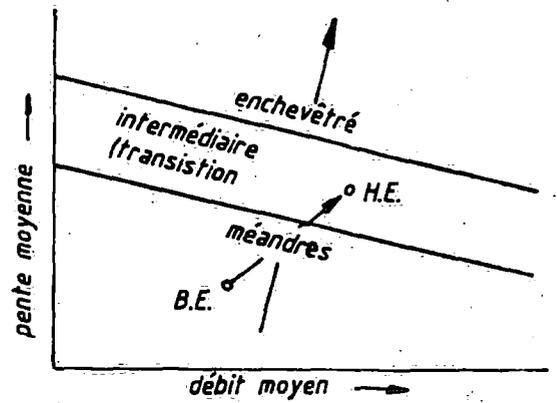


fig. 8c

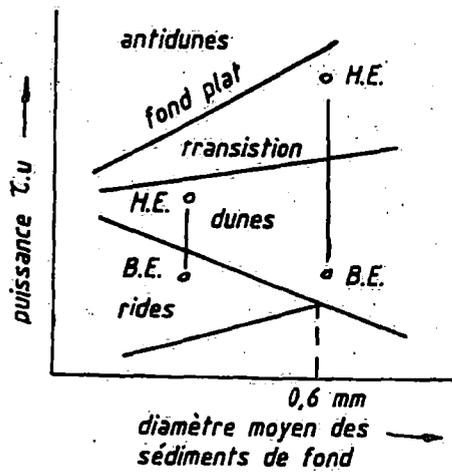


fig. 8d

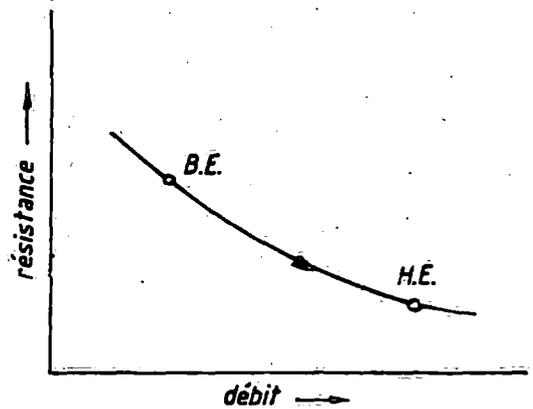


fig. 8e

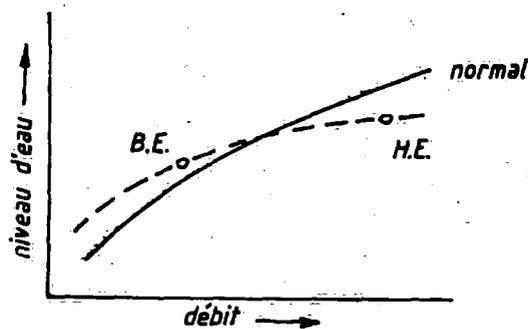


fig. 8f

HYDRAULIQUE FLUVIALE

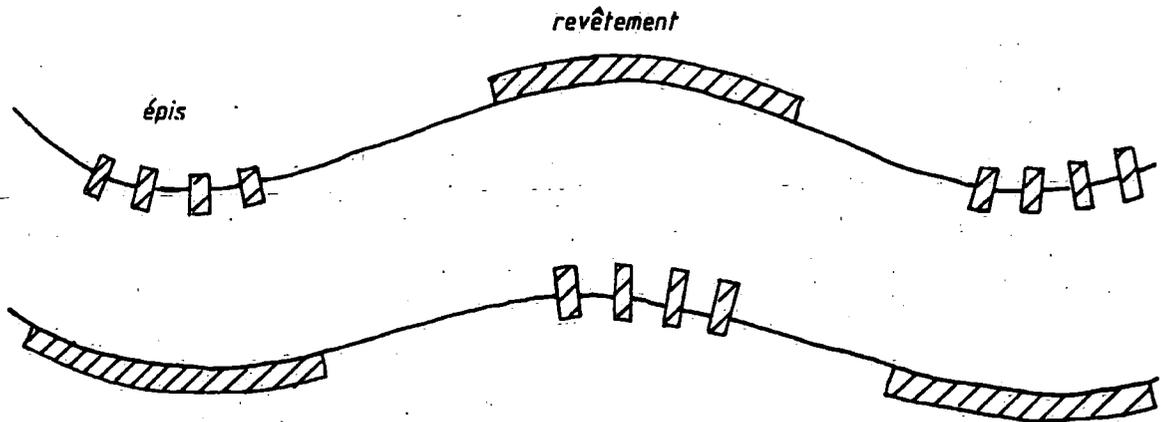


fig. 9a

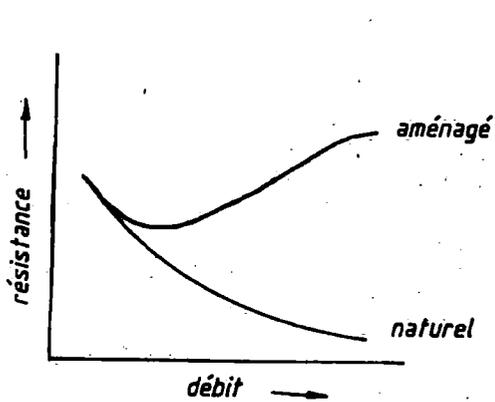


fig. 9b

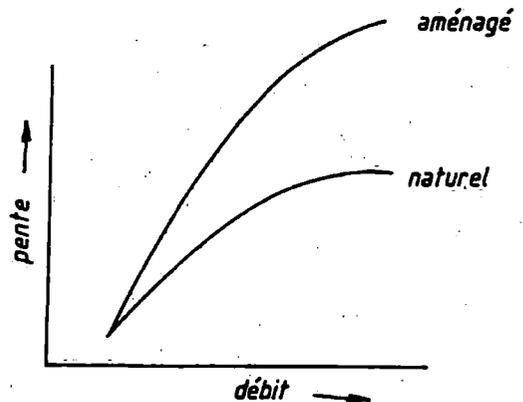


fig. 9c

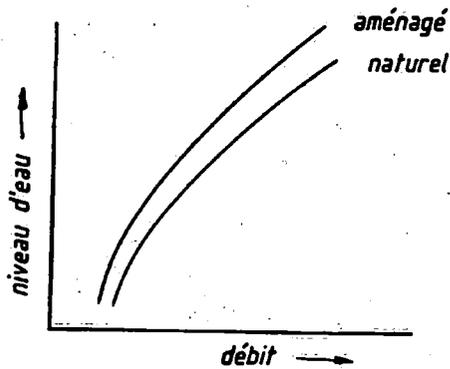


fig. 9d

1. GENERALITES

2. EXTENSION DES ACTIVITES

3. LOCAUX ET AMENAGEMENT RATIONNEL

3.1. Bureau d'études et de dessin

3.1.1. Introduction

3.1.2. Le local de travail

3.1.3. L'espace de travail

3.1.4. La table de dessin

3.1.5. Les instruments de travail

3.1.6. Application des normes internationales

3.1.7. Formats des levés bathymétriques

3.2. Rephographie, photographie générale

3.2.1. Généralités

3.2.2. Besoin en matériel et appareils, installations des équipements

A. Matériel de base

A.1. Rephographie

A.2. Photographie générale

A.3. Micro-et macrophotographie

B. Extension ultérieure

C. Installation des équipements

D. Adresses de fournisseurs

3.3. Multiplication de documents - reliure de rapports

3.4. Classement technique - Archivage

FIGURES

1. GENERALITES

Le bureau d'études et de dessin occupe une place importante dans la direction d'exploitation.

Le bureau a dans ses attributions des tâches multiples et complexes. Outre le dessin et l'étude, le bureau est normalement responsable d'activités comme p.e. la gestion de l'archivage technique et la documentation technique, les travaux graphiques en parachèvement comme tirages de plans, réductions, multiplications de documents et rapports, reliure de rapports, etc...

On pourrait y ajouter d'autres activités qui seraient très utiles augmentant l'homogénéité du bureau et développeraient ses possibilités. Le bureau est à la disposition du service de l'hydrographie, du dragage et du balisage.

Dans la perspective, de nouveaux bâtiments qui seront disponibles prochainement pour la direction d'exploitation, une réorganisation du bureau d'étude et de dessin s'impose et pourrait sensiblement optimiser l'efficacité du bureau et la motivation de son personnel.

C'est dans cette optique que la mission s'est permis de formuler quelques suggestions.

2. EXTENSION DES ACTIVITES

Le bureau d'étude et de dessin devrait regrouper les fonctions ou activités suivantes qui s'effectueront dans différents locaux :

- salle de dessin : dépouillement - études
- reprographie, photographie générale
- multiplication de documents (tirage ozalid, copies)-reliures
- classement technique; archivage
- salle de réunion, formation
- bibliothèque, documentation technique

3. LOCAUX ET AMENAGEMENT RATIONNEL

3.1. Bureau d'études et de dessin

3.1.1. Introduction

Des études approfondies effectuées par l'Institut Battelle à Francfort et d'autres organismes ont démontré que le rendement et la qualité du travail sont fortement influencés par les facteurs suivants :

- le local de travail;
- l'espace de travail;
- la table de dessin;
- les instruments de travail

une attention particulière devrait donc y être attachée.

3.1.2. Le local de travail

Le local sera de préférence situé dans un environnement calme, sans vacarme. Il sera bien éclairé, avec contact visuel avec l'extérieur. L'apport de lumière se fera du côté gauche des tables de dessin. La lumière directe du soleil dans le local est à éviter. Une bonne aération, voire climatisation est à prévoir (min 30 à 40 m³/h). Le local aura une superficie entre 40 et 130 m² donnant place à min. 3, max. 18 personnes. Un endroit ou local séparé éventuellement par parois vitrifiées est à conseiller pour le chef de groupe dans le cas d'une grande salle de dessin.

3.1.3. L'espace de travail

Les circonstances normales de travail exigent des volumés suffisants par personne. Tenant compte d'un apport d'air frais nécessaire de 30 à 40 m³/h et d'une hauteur du local de 3 m, la superficie normale serait de 10 à 12 m².

Cette superficie permet l'arrangement rationnel des meubles et donne suffisamment de place au dessinateur pour se mouvoir, mais également pour déposer et ranger les dessins.

Le dessinateur d'étude devrait normalement posséder une table à dessin, une table de référence ou un bureau, une bonne chaise et de la place pour déposer son matériel : les dessins et le travail en cours.

Différents arrangements des meubles sont possibles (fig. 1) dont la forme en L ou en U sont de loin à conseiller.

Quelques exemples d'arrangements rationnels sont représentés à la figure 2.

3.1.4. La table à dessin

La table à dessin devrait être robuste sur pied central, réglable en hauteur; la planche inclinable est munie d'un appareil de dessin à tête tournante et zéro amovible. Le système de déplacement parallèle de l'appareil de dessin sur rails perpendiculaires est moins sensible au dérèglement que le système de pantographes.

La dimension dépend de la grandeur des dessins; une surface utile de 1.00 m x 1.50 m est d'usage normal.

3.1.5. Les instruments de travail

Du bon matériel de dessin et des meubles adaptés au travail exigé, augmentent sensiblement la motivation du personnel.

Le matériel de dessin employé par la RVM est de bonne qualité. Un stock suffisant devrait, toutefois, se trouver dans un économât.

Une machine à écrire développée spécialement pour dessinateurs et permettant de tracer des cercles, lignes d'écriture à différentes hauteurs, droite ou italique, des signes conventionnels serait très utile. Cet appareil pourrait être employé par plusieurs dessinateurs.

Debout, le travail à la table à dessin est le moins fatigant. La table aura une inclinaison de $+ 15^\circ$ à 30° .

Toutefois, certains travaux de dessin devraient se faire sur une table horizontale et relativement basse, p.e. le filage des isobathes sur les cartes hydrographiques.

A part la table à dessin, le dessinateur devrait pouvoir posséder des armoires ou meubles pour déposer, en fin de journée, les dessins ou dossiers en cours d'exécution ainsi que le matériel de dessin.

Pour des activités en dehors des dessins - dépouillements, calculs, rapports, études - un bureau est à envisager.

3.1.6. Application des normes internationales - Formats normalisés des dessins

Autant que possible les formats suivants sont d'application en Europe :
base du système : largeur $\times \sqrt{2}$ = hauteur (fig. 3).

Normes DIN	Format en mm	
A5	148 x 210	
A4	210 x 297	format de base
A3	297 x 420	
A2	420 x 594	
A1	594 x 840	
A0	840 x 1180	

Avantage du système :

- Chaque plan est un multiple de A4 et peut être plié au format A4. La page de garde apparaît après pliage, facilitant le classement.
- La réduction des plans au taux $\sqrt{2}$ ou 2 donne un des formats normalisés.
- Les textes sont normalisés en hauteur et épaisseur de la même façon. Nous renvoyons aux normographes utilisés par la RVM - permettant des corrections de textes sur plans réduits au taux $\sqrt{2}$ ou 2.

Le choix d'autres formats - toujours un multiple de A4 - peut être indiqué p.e. plans annexes aux rapports, vue en plan d'un cours d'eau, d'une zone étroite, de levés bathymétriques. Un exemple de plans annexes est représenté à la fig. 3.

3.1.7. Formats des levés bathymétriques

Compte tenu de ce qui précède au sujet des formats des dessins et dans un souci de classer rationnellement calques et tirages, nous proposons de normaliser les formats des levés. Les pages de garde devraient être présentées dans un des quatre coins marquant des spécifications générales p.e. sujet du plan, nom de la société, éditeur + logo, l'échelle, numéro du plan, numéro du classement, etc... selon le souhait de la Direction d'exploitation.

Une proposition de mise au format des levés est présentée à la fig. 4 à titre d'exemple. Les pools sont en gros traits, les exemples de seuils en traits interrompus. Le nombre de levés partiels peut évidemment être augmenté. Ces zones de clichés de base sur film polyester pourraient être faites pour en tirer des contrefilms. Ces clichés de base contiendraient les coordonnées, repères de sondage, limnimètres, noms des sites, villages, îles, passes, bancs, page de garde e.a. notamment les données soumises rarement à des changements.

3.2. Rephotographie - photographie générale

3.2.1. Généralités

Le rephotographe est un outil précieux et d'utilité multiple pour la réduction de levés bathymétriques en vue d'élaborer des cartes hydrographiques générales; la réduction de dessins pour éclaircir les rapports; la préparation de clichés pour l'imprimerie; prises de vue et diapositives sur terrain; micro- et macrophotographie pour analyse de sédiments.

La rephotographie s'oriente plutôt vers le travail graphique (dessins, clichés au traits, clichés tramés).

La photographie générale concerne les prises de vues sur terrain (photos et ciné film noir et blanc, couleur, diapositives) pouvant servir à l'éclaircissement de rapports ou notes; à la projection (formation, séminaires, réunions); à l'archivage d'événements importants, etc...

La micro- et macrophotographie concerne l'agrandissement de particules à dimensions minuscules par l'intermédiaire d'appareillage spécial.

L'installation d'une division de photographie est indispensable dans l'évolution actuelle de la Régie des Voies Maritimes s'orientant vers une organisation moderne de la Direction d'Exploitation. Il faudrait prévoir l'application des différentes disciplines et des spécialistes en la matière.

3.2.2. Besoin en matériel, appareil et installation d'équipement

A. Matériel de base

A.1. Rephographie

A.1.1. Un appareil de reproduction photographique horizontale ou verticale pour travaux en noir et blanc et en couleur avec caractéristiques générales suivantes :

- objectifs de haute qualité interchangeables de 24 à 60 mm de distance focale et à diaphragme linéaire;
- agrandissement max. ± 650 %, réduction max. $\pm 8,50$ %;
- porte-original $\pm 1,20 \times 1,80$ m à succion, à pression mécanique ou pneumatique (sous verre) éclairé par réflexion et par transparence;
- porte-film : à succion $\pm 50 \times 60$ ou 60×60 cm à succion;
- possibilité d'agrandir des négatifs (max. 50×50) par projection.

A.1.2. Equipement de développement contenant :

- bac de développement thermostatisé, format min. 60×60 cm;
- bac de "stop";
- bac de fixation;
- bac de lavage;
- négatoscope avec installation d'écoulement et d'arrosage. Un système modulaire est à conseiller.

A.1.3. Châssis à copier

- pneumatique, à vide réglable;
- lampe pointe (150 W - 24 V) pour exposition de film ou de papier sensibles;
- lampe métal-halogène 3000 à 5000 W pour exposition de films "lumière du jour" ou film et papier peu sensibles;
- minuterie précise;
- dimensions minimales à copier : 70×90 cm.

A.1.4. Densitomètre

- pour noir et blanc
- possibilité de mesurer la densité par réflexion (papier) et par transparence (film).

A.1.5. Accessoires

- cisaille à roulette pour grandes feuilles de film ou de papier;
- cisaille pour petits formats;
- éclairage spécial pour chambre reprographique;
- horloge de chambre noire de développement;
- cuve de stockage de produits chimiques;
- système de perforation pour films pour "travail en registre";
- table lumineuse de montage avec système de traçage sur chariots perpendiculaires.

A.2. Photographie générale

On distingue la photographie en noir et blanc et la photographie en couleurs. En ce qui concerne les travaux d'achèvement (agrandissement - développement, etc.) nous nous limiterons à la photographie en noir et blanc, la couleur étant très compliquée et coûteuse.

Besoins de base

A.2.1. Appareillage de prise de vues

- un appareil format "Leica" reflex (prise de vues sur films 35 mm) objectifs interchangeable; d'exécution robuste et professionnelle.
Avec :
 - objectif télé (p.e. 135 mm);
 - objectif grand angulaire (p.e. 35 mm) ou éventuellement un objectif zoom (p.e. 35-70 mm);
 - filtre ultra-violet, jaune;
 - photomètre incorporé (mesures à travers l'objectif);
- un appareil format 6 x 6 cm (film 120 au 220) reflex, système d'objectifs interchangeables, exécution professionnelle avec objectif normal, grand angulaire et télé, photomètre incorporé;
- un trépied stable avec tête robuste;

- un flash professionnel à mini-ordinateur
 - . nombre guide 45 à 60 (à 100 ASA);
 - . lampe-flash orientable;
 - . 2 flashes/sec. minimum;
 - . batterie chargeable;
 - . température de couleur 56000 K.

A.2.2. Appareillage et matériel d'achèvement.

- agrandisseur pour films 35 mm (24 x 36 mm) et 120 ou 220 (60 x 60 mm) à lentilles, condensateur;
- margeur 30 x 40 cm;
- minuterie (secondes et minutes);
- éclairage spécial pour chambre noire;
- horloge de chambre noire;
- cuvette pour développement, fixation de photos. Le papier photographique peut également être développé, fixé et séché dans une machine à développer décrite dans le paragraphe 3.2. ci-après;
- cuvette (boîte) pour développement de films 35 mm, 120 et 220;
- cylindre mesureur gradué;
- lampe;
- produit chimique, film, etc.;
- bac de lavage.

A.3. Micro et macrophotographie

Les micro- et macrophotographie dont question ici, sont destinées à photographier et agrandir des objets minuscules (p.e. sable, vase, sédiments, métaux).

A.3.1. Macrophotographie

Elle se limite aux agrandissements entre 0,3 à 30 fois.

Pour y procéder, il suffit d'équiper un appareil photo reflex (p.e. LEICA) avec les accessoires appropriés notamment :

- . soufflet
- . macro-objectif
- . éclairage
- . statif avec planche

A.3.2. Microphotographie

Cette discipline nécessite un bon microscope optique (p.e. WILD, ZEISS) que l'on puisse équiper d'un appareil photographique adapté (p.e. LEITZ). Les taux d'agrandissement et la qualité des prises de vues dépendent des objectifs et oculaires qui seront utilisés.

L'offre dans ce domaine est grande et le choix difficile, c'est pourquoi, si le cas d'acquisition se présente et vu l'expérience que nous avons dans le domaine, nous serons à votre disposition pour solliciter un choix judicieux.

B. Extension ultérieure

A prévoir en deuxième phase pour la reprographie.

B.1. Une petite reprocaméra verticale automatique (le cas échéant, celle-ci serait acquise en première phase à la place de celle décrite ci-avant)

Caractéristiques générales :

- porte négatif à succion - format max. \pm 50 x 60 cm;
- porte-original muni d'un éclairage par réflexion (iode-halogène) et par transparence - format min. 60 x 70 cm;
- programmable et mise au point automatique;
- densitomètre On-line permettant l'exposition exacte à tout moment;
- objectifs interchangeable;
- l'établissement de clichés tramés doit être possible (pré-et/ou post-exposition).

B.2. Une installation de développement automatique

Conçue pour toute sorte de films et papier graphiques noir et blanc à l'exception de film "Lith".

Caractéristiques générales

- développement de sec à sec par passage automatique de cuves successives (développement, fixation, lavage) et sécheuse;
- température réglable des bains de développement et de fixation;
- température de séchage réglable;
- durée de développement réglable (temps de passage);
- système de régénération des bains de développement et fixation;
- entretien simple.

C. Installation des équipements

- reprocaméras, agrandisseurs et équipement de développement sont à installer dans des chambres noires;
- le travail de parachèvement se fait dans un local à la lumière du jour;
- les locaux seront de préférence climatisés à température constante de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ sous légère pression d'air purifié afin d'éviter toute poussière sur appareils et clichés;
- les chambres noires d'une part, les chambres claires et couloirs d'autre part communiqueront par un "sas" c'est-à-dire un passage à deux ou trois portes permettant d'entrer dans la chambre noire sans qu'elle soit exposée à la lumière du jour;
- quant au local de développement, une bonne aération est nécessaire du point de vue protection du personnel. L'évaporation des produits chimiques peuvent provoquer des maladies : nausées ou incommodités;
- il faut veiller à une installation ergonomique des appareils.

D. Appareils de quelques fournisseurs en Belgique

PLANTIN S.A.	Avenue du Four à Briques, 5 1140 Bruxelles
PAILLET S.A.	Rue Fr. Lesnino, 20-32 1020 Bruxelles
WIFAC	Leuvensesteenweg, 48b 1949 St Stevens-Woluwe
FREMAUX-PROGRAPHIC	Avenue Victor Olivier, 19-21 1070 Bruxelles
MASSON-DRAGUET S.A.	Parc Industriel - Vallée du Hain, 22 1430 Wauthier-Braine
HASSELBLAD Belgium	Chaussée de la Hulpe, 130 1050 Bruxelles
Paul HOTZ s.p.r.l.	Rue de la Gare, 3 1040 Bruxelles
VAN HOPPLYNUS	Rue du Gouvernement Provisoire, 14 1000 Bruxelles
AGFA-GEVAERT	Septestraat 2510 Mortsels

3.3.3. Multiplication de documents - reliure de rapports

Il s'agit d'un atelier pouvant faire le travail suivant :

- tirage des calques, clichés sur film, sur papier ou sur contre-cliché : système ozalid;
- couper les plans au format désiré à l'aide d'une machine à rotule;
- multicopie de notes, rapports, dessins, lettres, etc. format A4 et A3, système de machine à copier sur papier ordinaire. Il existe des machines à copier pouvant également agrandir ou réduire les documents à copier;
- rogner les notes ou rapports à l'aide d'une rogneuse;
- relier les notes et/ou rapports:
- dans une phase ultérieure, une petite imprimerie pourrait être installée pour réaliser p.e. des cartes en couleurs. Cela représente toutefois un investissement coûteux et du personnel hautement qualifié. Un rendement efficace est également douteux.

3.4. Classement technique - archivage

Ce classement nécessite une attention et un soin particuliers. En effet, les calques sont fragiles et pour les études et les analyses ultérieures, des tirages peuvent être demandés. Dans le même esprit, un classement parallèle de tirage sur papier des calques facilitera l'examen.

D'autre part, les anciens documents ont une valeur historique.



ARRANGEMENT DES MEUBLES



Table de référence
ou bureau



Chaise

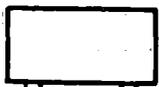
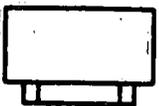
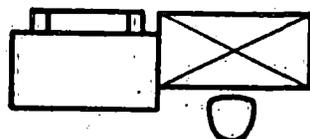
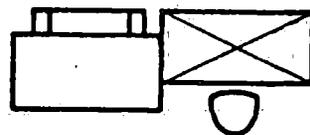


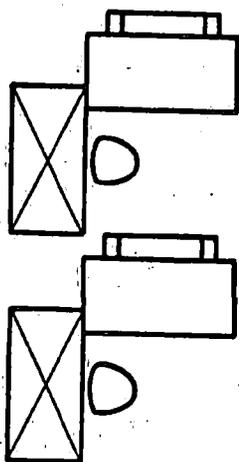
Table de dessin



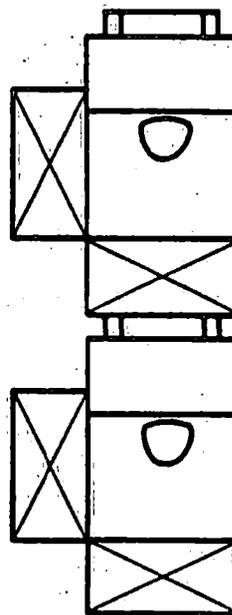
Forme - H



Forme - N



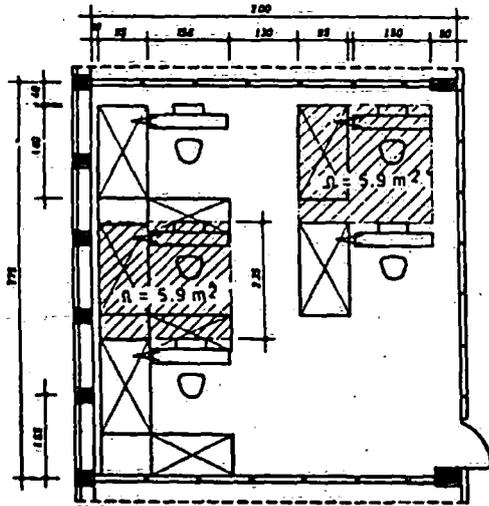
Forme - L



Forme - U



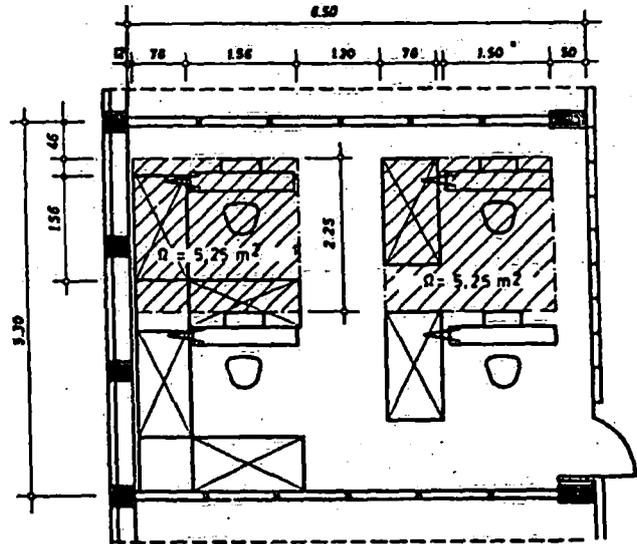
EXEMPLES D'ARRANGEMENT RATIONNEL



Arrangement en forme-U, respectivement forme-L

Module : 2,25 m

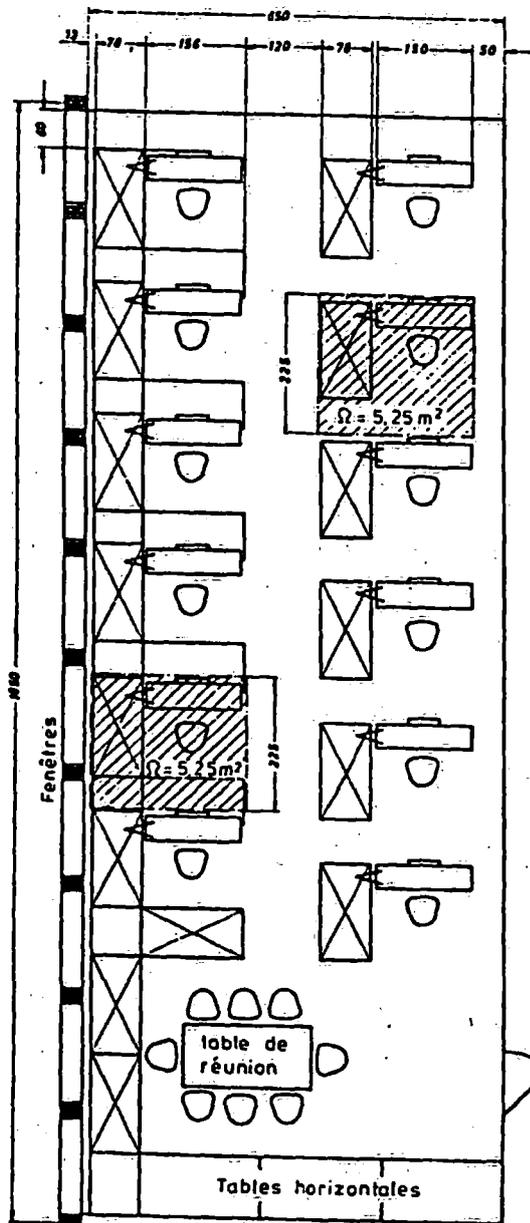
$\Omega_{netto} : 5,25 \text{ m}^2$, $\Omega_{bruto} : 8,60 \text{ m}^2$



Arrangement en forme-U et L
Table de référence agrandie

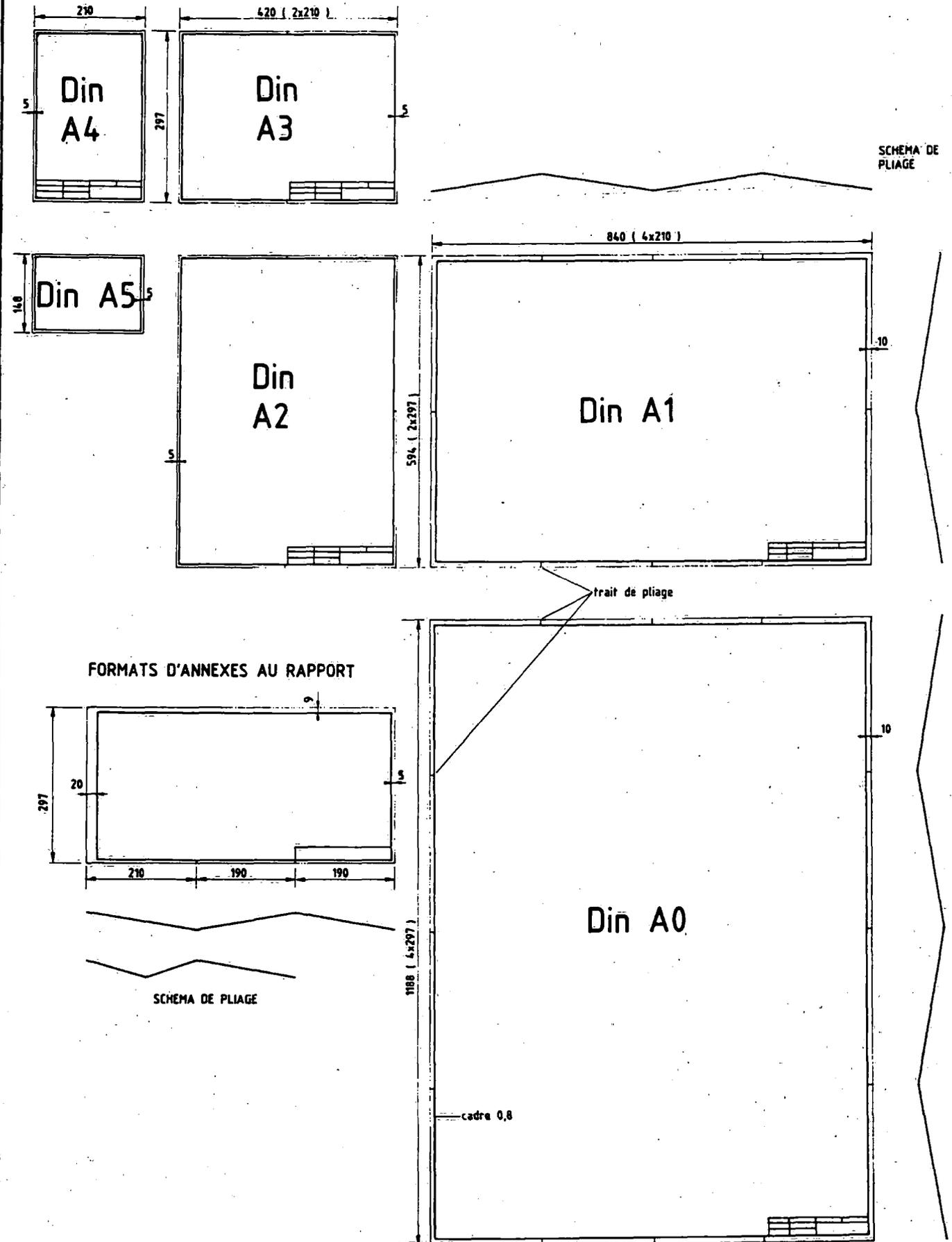
Module : 2,35 m

$\Omega_{netto} : 5,90 \text{ m}^2$, $\Omega_{bruto} : 10,70 \text{ m}^2$



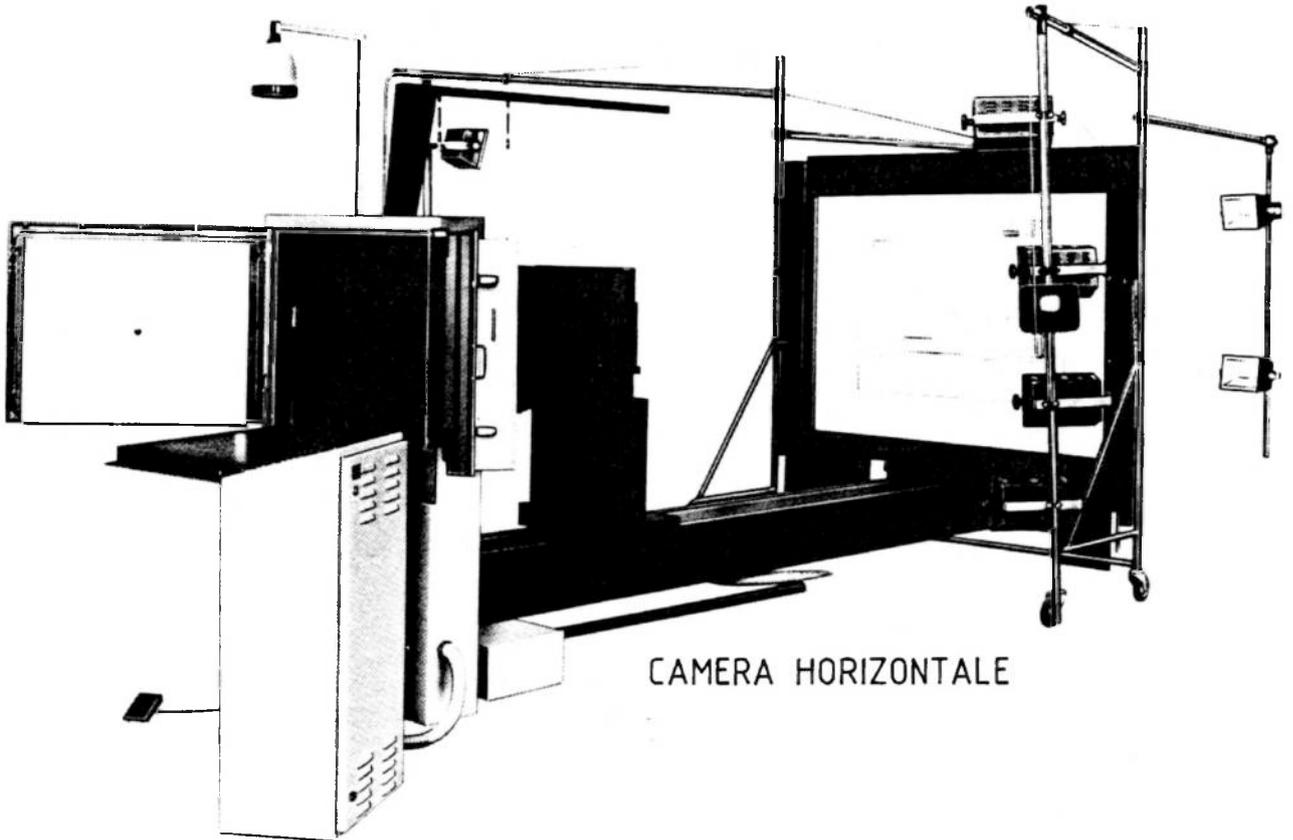


FORMATS DES DESSINS

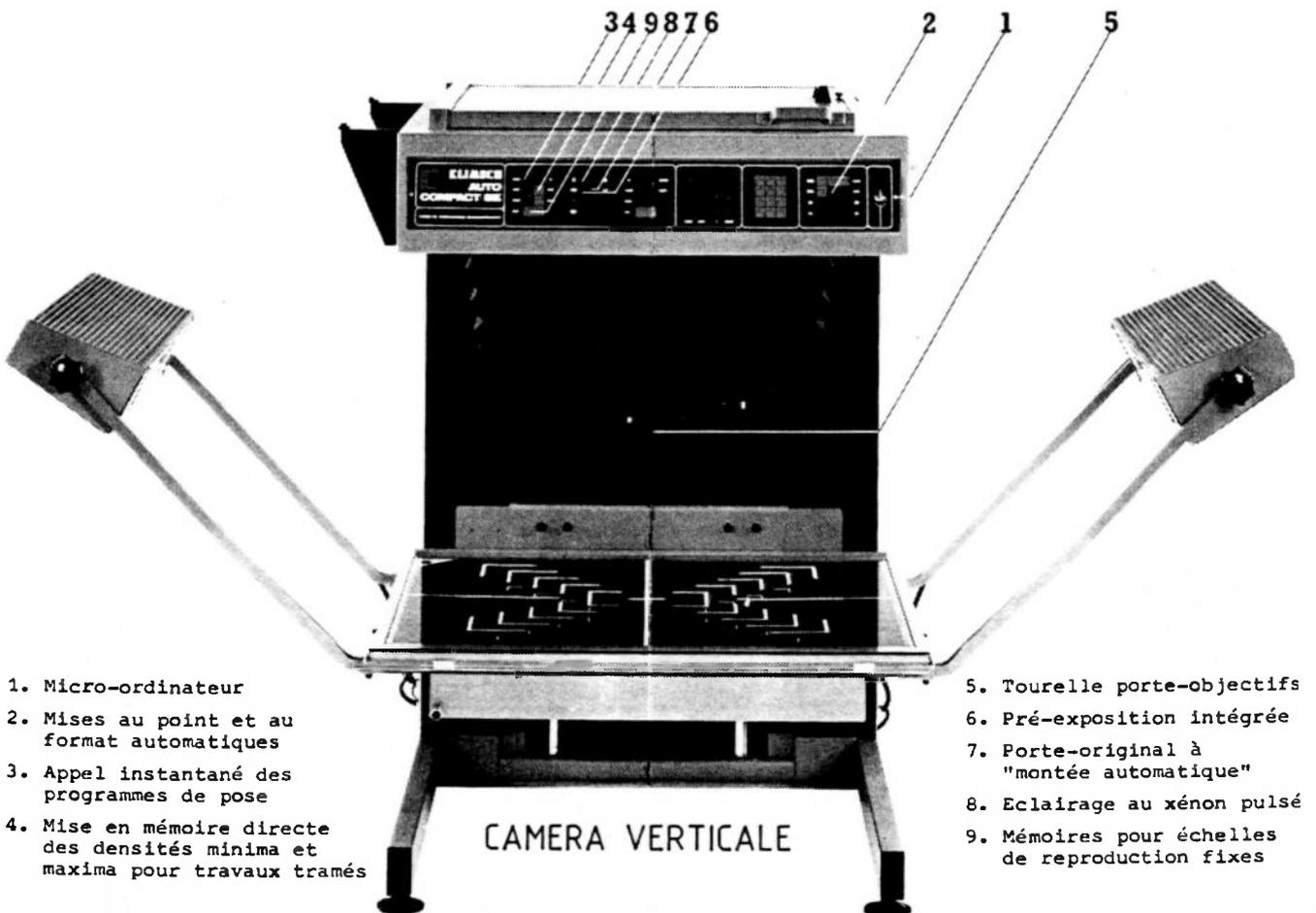




EXEMPLE D'APPAREILS DE REPRODUCTION
PHOTOGRAPHIQUE



CAMERA HORIZONTALE



CAMERA VERTICALE

- 1. Micro-ordinateur
- 2. Mises au point et au format automatiques
- 3. Appel instantané des programmes de pose
- 4. Mise en mémoire directe des densités minima et maxima pour travaux tramés

- 5. Tourelle porte-objectifs
- 6. Pré-exposition intégrée
- 7. Porte-original à "montée automatique"
- 8. Eclairage au xénon pulsé
- 9. Mémoires pour échelles de reproduction fixes

LABORATOIRE DE RECHERCHES
HYDRAULIQUES

édition

BERCHEMLEI 115
2200 ANTWERPEN
BELGIQUE
TEL. 03/236.18.50.

RUE DE L'ABATTOIR 164
6071 CHATELET
BELGIQUE
TEL. 071/38.00.28

