

DETERMINATION DU DEBIT SOLIDE DES COURANTS

A. - Transport de sable par des courants dans les cours inférieurs des rivières néerlandaises, dans les estuaires néerlandais et dans la Mer du Nord.

PAR

Ir. J. VAN VEEN

Ingénieur en Chef du Rijkswaterstaat.

Depuis 1929 la « Direction des Bras de Mer du Rijkswaterstaat » à la Haye (Département des Ponts et Chaussées) fait effectuer régulièrement des observations dans les parties maritimes du Rhin et de la Meuse. Depuis 1931 également dans les autres embouchures et chenaux néerlandais, ainsi que dans la Mer du Nord et dans le Pas-de-Calais.

Les observations en mer se font avec un bateau (« Oceaan », 400 tonnes) équipé de 19 personnes, parmi lesquelles 8 observateurs (tech-

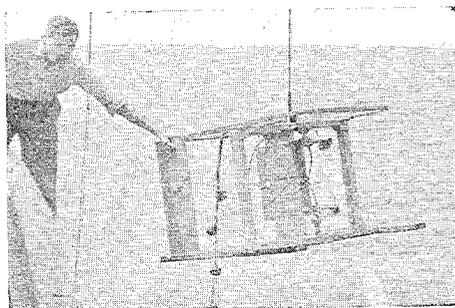


Fig. 1. — Appareil à mesurer le courant près du fond (Ott), pour l'enregistrement à 15 et à 50 cm au-dessus du fond.

niciens sortant d'une école technique secondaire) et un ingénieur chargé de la direction générale. On travaille pendant 13 heures par jour. Pour le mesurage dans les estuaires on se sert de bateaux de 20 à 30 tonnes.

Les vitesses des courants de fond sont mesurées, au moyen d'un appareil « Ott » de construction spéciale, qui est placé au fond (figure 1), de sorte qu'un enregistrement continu de la vitesse est obtenu à

collecteur de sable ne donne pas exactement le même résultat que l'appareil qui enregistre la teneur en sable puisque le premier fonctionne en accumulateur et que, par conséquent, la quantité de sable recueillie dépend de la vitesse du courant, tandis que le deuxième prend simplement 4 échantillons. Cependant, le contrôle mutuel est assez suffisant.

Un instrument important qui se trouve à bord est l'appareil de sondages par l'écho (système Hughes). Pour les observations en mer on emploie depuis 1934 l'échelle de 1 cm = 4 m; cette échelle ne suffisait pas pour le travail dans les rivières, de sorte que dans la même année la maison Hughes a construit, sur nos indications, un appareil avec lequel l'échelle de 1 cm = 1 m peut être atteinte.

De même il est d'importance de prendre des échantillons des matériaux du fond. Plusieurs modèles de dragues existants ont été essayés,

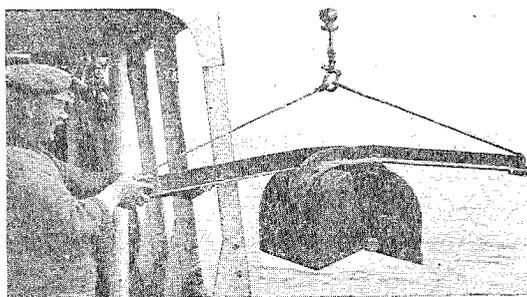


Fig. 4. — Grippe pour échantillons de fond (van Veen).

mais aucun n'a donné la même satisfaction qu'avec le modèle représenté par la figure 4 qui est à recommander. Pour les explorations préliminaires l'enregistrement de la profondeur et les échantillons des matériaux du fond suffisent.

Dans les bassins d'eau saumâtre il est nécessaire de faire un emploi fréquent des aréomètres (ou d'une pycnosonde), car les différences dans les poids spécifiques y jouent un rôle très important.

La grosseur des grains du sable flottant est une norme pour la turbulence. Ces grosseurs de grain sont déterminées à l'aide d'un appareil d'après la figure 5 avec laquelle on travaille plus facilement et plus exactement qu'avec des tamis. Le principe de cet appareil est que les gros grains se déposent plus vite que les grains plus fins. La température de l'eau dans le tuyau est d'importance.

La figure 6 reproduit l'installation du navire-explorateur « Oceaan ». Les échantillons de l'eau sont examinés d'après leur teneur en sable dans une « cabine à sable ». Les échantillons des sables ou pierres du fond sont examinés pétrographiquement.

La figure 7 représente, à une échelle très réduite, un graphique d'observation tel qu'il est établi tous les jours. Après observations suffisantes dans un certain bassin (pour un bassin de 20 × 20 km² il faut facilement un été entier), on procède à la composition de 12 cartes,

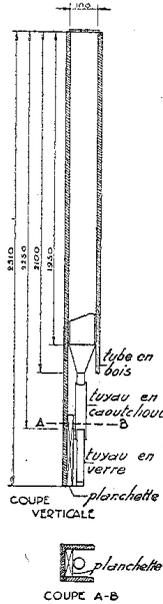


Fig. 5. — Appareil à mesurer les dimensions des grains de sable (van Veen).

montrant les phases successives dans le mouvement de l'eau et du sable pendant un cycle de marée entier. A chaque endroit de mesurage on fait en général des observations pendant 2 ou 3 marées différentes et de telle manière que la moyenne des chiffres obtenus correspond en-

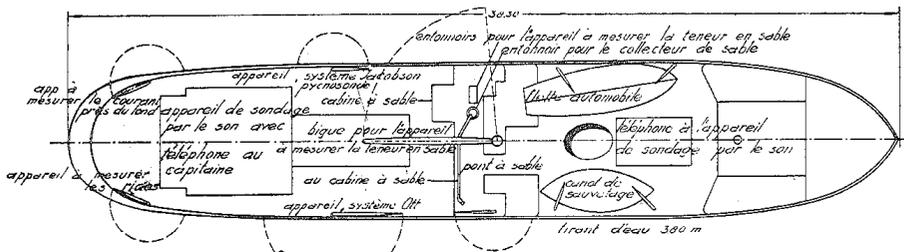


Fig. 6. — Installation du bateau « Oceaan ».

viron à la situation normale. Ensuite on compare les chiffres maxima, les chiffres résiduels des courants d'eau et de sable, etc., et à l'aide de cela on essaie de se faire une idée des forces qui agissent dans le territoire examiné et des conséquences de ces forces.

Dans les observations décrites ci-dessus les trois dimensions : longueur, hauteur et largeur ont été représentées, mais la quatrième, le temps, n'y est que pour une période de 13 heures. C'est pourquoi il est nécessaire de faire une étude supplémentaire à l'aide d'instruments

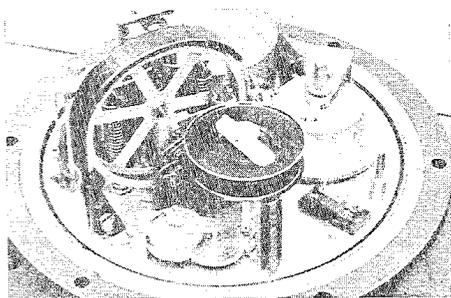


Fig. 8. — Appareil enregistreur de marées pour des stations en mer (de Vries).

enregistreurs. Ceux utilisés pour la marée verticale (figure 8) et pour la marée horizontale (figure 9) peuvent fonctionner pendant 14 jours de suite (figure 10). Pour connaître le rapport qui existe entre la marée horizontale et la marée verticale du bassin d'observation, il est néces-

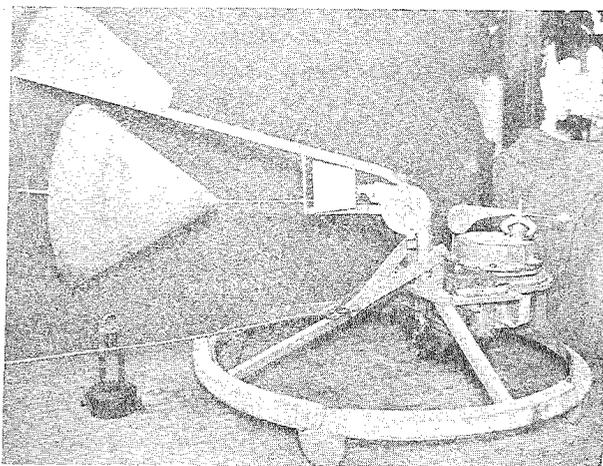


Fig. 9. — Appareil enregistreur de courants. Le courant exerce une pression sur le cône, ce qui fait bander un peson, dont l'allongement est enregistré.

saire de faire des « graphiques de réduction » pour réduire les observations faites au cas qui peut être dénommé « normal ». Nous avons l'intention d'augmenter le nombre d'appareils enregistreurs.

Afin de rendre l'axe des temps aussi long que possible, il faut en outre comparer les cartes hydrographiques d'autrefois avec celles d'au-

jourd'hui. Elles sont relativement exactes, depuis ± 1800 et complètent les recherches hydrauliques.

Vitesses critiques. — Dans les manuels on peut trouver des vitesses critiques pour différents grosseurs de grains du fond, mais ces données ne sont pas très sûres. Le plus souvent elles sont fondées sur des recherches dans des laboratoires ou sur des observations faites dans des ruisselets peu profonds et elles ont toujours ceci de commun que la hauteur de la vitesse au-dessus du fond n'est pas indiquée. Il va de soi que des vitesses de surface ou des vitesses moyennes n'ont pas de rapport avec ce qui se passe près du fond. C'est surtout près du fond que le gradient de vitesse change fortement.

Il n'est pas nécessaire que des sables de même grosseur de grain aient les mêmes vitesses critiques. Tout influe : les vagues de sable ayant

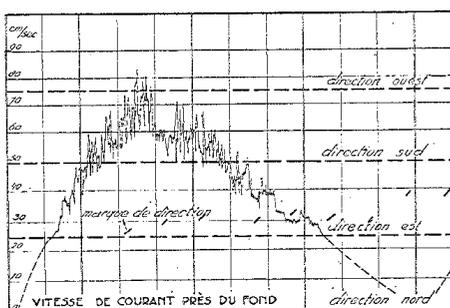


Fig. 10. — Diagramme obtenu avec l'appareil suivant figure 9.

souvent une hauteur de 25 % de la profondeur, la teneur en vase plus ou moins grande du fond, la turbulence du courant et l'action des vagues. Une approximation à grands traits des vitesses critiques que nous avons trouvés pour des sablons sans vase est la suivante :

± 200	microns	—	40	cm/sec	à	15	cm	au-dessus	du	fond
± 250	»	—	50	»	»	»	»	»	»	»
± 300	»	—	60	»	»	»	»	»	»	»
± 350	»	—	70	»	»	»	»	»	»	»
± 500	»	—	100	»	»	»	»	»	»	»

Les vitesses mentionnées ci-dessus sont des moyennes, pour lesquelles il y avait la petite quantité de 2 cm³ de sable dans 10 litres d'eau pris à une hauteur de 10 cm au-dessus du fond.

La figure 11 représente un exemple du rapport entre la grosseur de grain moyenne et la teneur en sable (à 10 cm au-dessus du fond) avec une vitesse de 50 cm/sec (à 15 cm au-dessus du fond). Il en résulte que le sable dans la passe « Stortemelk » de l'embouchure du « Vlie » donne une autre courbe que le sable dans les autres passes de cette embouchure. Cela ne dépend pas de la profondeur, qui diffère peu pour tous

les endroits auxquels les observations ont été faites, mais du fond ondulé du « Stortemelk ».

Les teneurs en sable à 10, 30, 50 et 70 cm au-dessus du fond se rapportaient dans l'embouchure du Vlie en moyenne, comme 100:54:35:28. La grosseur de grain du sable flottant diminuait aussi dans cette direction.

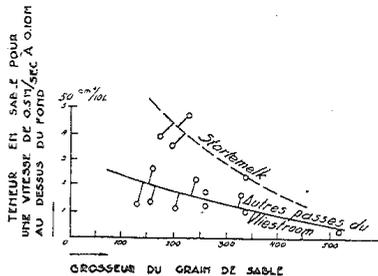


Fig. 11. — Relation entre la grosseur de grain moyenne et la teneur en sable dans le « Vlie » à une vitesse de 1/2 m/sec à 15 cm au-dessus du fond.

Buts pratiques. — Un fleuve est lettre close à la surface. Après avoir fait des observations près du fond, on s'aperçoit que chaque fleuve ou chaque chenal a son propre caractère. En faisant l'examen de ces caractères, on apprend beaucoup de choses remarquables, dont on peut profiter. L'ignorance est chère, parce que les frais des travaux maritimes se montent facilement à des millions. Un peu de travail d'investigation pour les eaux côtières et bras de mer est certainement justifiable, surtout quand on voit dépenser des capitaux considérables pour des recherches océanographiques. Pour empêcher autant que possible les déceptions — qui se font souvent sentir jusque dans un avenir lointain — il faut d'abord apprendre à bien connaître la tendance de la nature. On construit par exemple des ponts d'embarquement dans des passes qui tendent à se déplacer, des ports dans des eaux très vaseuses ou très sablonneuses, des bassins de chasse d'eau douce pour tenir à profondeur des passes d'eau salée, etc. Si on ne se basait que sur des avis « ex cathedra » ou « ex laboratorio », il faudrait continuer à compter sur des déceptions. A plusieurs reprises il s'est trouvé que dans les laboratoires les phénomènes du territoire des marées ne peuvent être reproduits qu'approximativement. Il est nécessaire que toutes les recherches sur modèles réduits soient précédées de sérieuses observations sur place, c'est-à-dire que l'« hydrogéologie » — si nommée par les Russes — soit pratiquée universellement.

Tous les problèmes ne sont pas aussi faciles à résoudre. Un des problèmes qui ne donne pas de difficultés est celui de l'absence relative de sable dans certaines parties d'un bassin ou chenal. Les plus mauvaises parties sont celles dans lesquelles flotte beaucoup de vase et de sable. Elles ne se prêtent pas à la construction de ports. Rotterdam

est favorisée par le fait qu'elle est située dans une région pauvre en sable (voir la figure 12). Pourtant elle serait mieux située un peu plus dans l'intérieur, car la zone du sable de la mer s'élargie de plus en plus.

En outre, il est évident que pour projeter des changements dans les passes de marée on ne peut pas se passer des mathématiques. Pour cela, les données rassemblées pendant les observations hydrauliques, sont-elles analysées mathématiquement autant que possible.

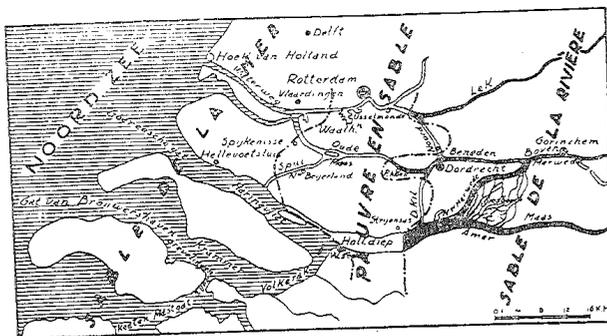


Fig. 12. — Chenaux à sable de rivière, à sable de la mer et pauvres en sable dans l'estuaire du Rhin et de la Meuse.

Les courants de sable. — Parler de courants de sable a ses avantages. En général ils suivent les courants résiduels près du fond. Le courant de sable qui entre dans notre pays venant de l'Allemagne et de la Belgique par les rivières, est relativement faible (± 1 million de mètres cubes par an). A présent cette quantité est draguée avec avantage, car le sable est de bonne qualité et peut être utilisé pour le béton et pour la maçonnerie. Autrefois ce sable causait beaucoup de difficultés, car il élevait les lits des rivières et par conséquent les niveaux d'eau. Finalement des catastrophes irréparables se sont produites. La formation du Biesbosch en 1421 (voir la figure 12), lorsqu'une superficie de 10×20 km² devait être abandonnée, indique un déplacement naturel du lit de la rivière qu'on n'aurait pas pu prévenir à cette époque. Vers 1800 ce dépôt était de nouveau rempli et on s'attendait à une autre catastrophe. Des projets fastueux furent formés entre 1820 et 1850 pour faire transporter le sable de la rivière jusque dans la mer, mais les observations actuelles montrent que cela n'aurait pas été possible. On peut donc être content que ces plans n'aient pas été exécutés et qu'un projet plus simple ait été choisi. Les nouvelles embouchures construites depuis 1850 vers le Hollandsch Diep permirent de désigner ce bassin comme dépôt pour le sable de la rivière et le danger fut évité.

Le courant de sable marin (sable « salé » à l'opposé de sable « doux ») se propage de la mer jusqu'à environ 30 km vers l'intérieur. Cette largeur dépend directement de l'eau saumâtre, car partout où

une goutte d'eau salée peut entrer, il est possible également qu'un grain de sable entre. A force du creusement des passes pour la navigation, l'eau saumâtre — c'est-à-dire le sable de la mer — tend à se déplacer vers l'intérieur. La cause directe est la différence de salinité, laquelle, représentée schématiquement dans la figure 13, fait naître un courant résiduel près du fond dirigé vers l'intérieur.

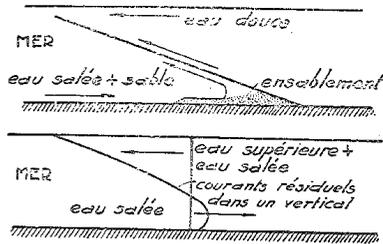


Fig. 13. — Figuration schématique des courants résiduels dans le territoire d'eau saumâtre.

Comme le sable de la mer est d'une importance prédominante pour les embouchures de nos rivières — d'ailleurs ce sera bien le cas dans d'autres embouchures, comme celles des rivières : Tamise, Mersey, Elbe et Weser — l'examen du courant de sable de la mer était nécessaire.

D'après des déclarations déjà anciennes d'ingénieurs français, belges et néerlandais, environ 10 à 12 millions de m³ par an de matériel d'érosion se dirigeraient dans notre direction via le Pas-de-Calais. Toutefois, des observations faites en 1934/1935 avec le bateau « Ocean »

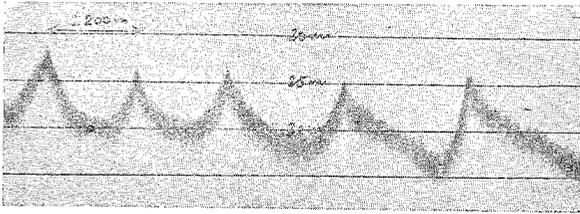


Fig. 14. — Exemple d'ondes de sable enregistrés dans la Mer du Nord.

ont démontré que dans le Pas-de-Calais presque pas de sable est transporté. De même, peu de sable se propage des bancs flamands vers le Nord. Il faut donc conclure que le sable de la mer dans les embouchures de nos rivières est originaire des bancs, qui se trouvent devant notre propre côte.

Il est probable que dans la Mer du Nord, devant la côte hollandaise, il y a quelque transport de sable dans une direction septentrionale; du moins, le fond y montre des grandes ondulations de sable d'une hauteur de 10 à 12 m et d'une longueur d'environ 200 m (figure 14),

lesquelles, d'après la forme de l'ondulation portent à croire qu'il y a un transport de sable dirigé vers le Nord. Ce transport ne peut pas être excessif. On constate un appauvrissement de nos côtes septentrionales à cause de l'accroissement du courant de sable le long de notre côte vers le Nord. La disparition de certains bancs devant la côte de la Hollande est un signe de cet appauvrissement, ainsi que l'approfondissement des bancs devant le chenal du « Vlie », qui ont perdu, pendant le dernier siècle, 1.600.000 m³ par an.

Les détails de notre investigation, par exemple les observations aux bifurcations des rivières à marée, etc., ne seront pas discutés. Quelques sujets principaux seulement ont pu être traités dans ce rapport-ci.

Chaque bassin a ses propres problèmes et quoique ces bassins soient quelquefois de petites dimensions, les problèmes peuvent y être difficiles à résoudre. Il y a tout intérêt à attaquer d'abord les grands problèmes avant de s'occuper de détails. On réussira rarement à améliorer une situation qui ne donne pas de sujet de satisfaction, mais, grâce à une investigation sérieuse *préalable* on pourra bien restreindre à un minimum les situations non-désirées.

Cette investigation ne doit pas être faite hâtivement, car l'action de la nature est souvent très lente et variée. Elle ne doit pas cesser quand un travail maritime est complété, car on apprend beaucoup en étudiant les changements produits par nos travaux.

DETERMINATION DU DEBIT SOLIDE DES COURANTS

B. - Transport de sable par le courant dans la partie supérieure des embranchements Néerlandais du Rhin.

PAR

E.-M.-H. SCHAANK

Ingénieur en Chef du Rijkswaterstaat.

La « Direction des Cours Supérieurs des Rivières », à Arnhem, qui comprend entre autres le Boven-Rijn, le Waal, le Neder-Rijn, le Lek et

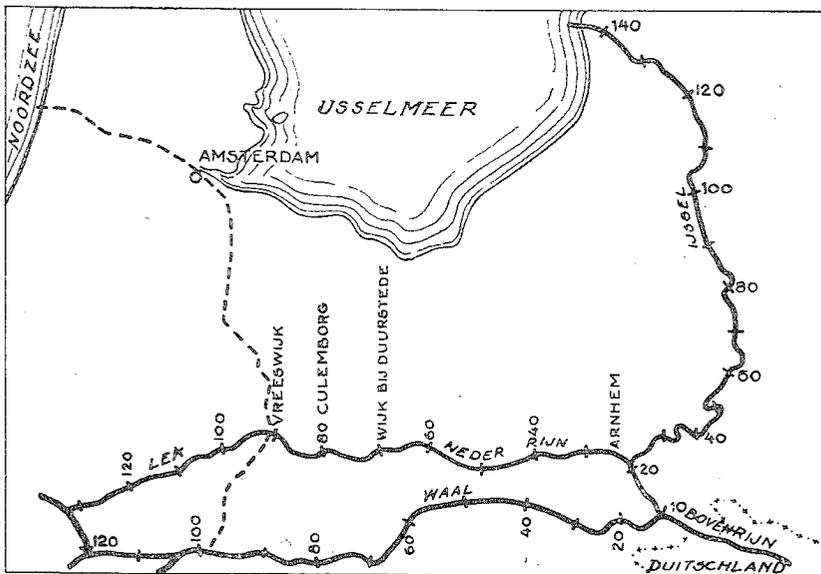


Fig.15. Carte de la partie supérieure des embranchements néerlandais du Rhin.

l'Yssel (voir figure 15) ne dispose que depuis très peu de temps d'un Service d'Etude qui s'occupe entre autres de la détermination du transport de matières solides.

Observations de transport de sable en général.

Comment le transport de sable s'effectue en réalité est une chose dont on ne connaît pas encore les détails.

Si, théoriquement, on s'imagine un courant extrêmement tranquille qui s'approche du courant laminaire, le transport, à cause de la différence dans le poids spécifique d'eau et de sable, ne peut avoir lieu qu'immédiatement au-dessus du fond.

Toutefois, il existe dans la rivière un fort échange des différentes couches d'eau, aussi bien en sens vertical qu'en sens horizontal, lesquelles sont influencées par plusieurs éléments qui, également, sont exposés de lieu en lieu à des changements.

A cause de ceci une partie du transport de sable s'effectuera plus ou moins flottant.

D'après ce qui précède, il faut donc s'attendre à ce que ce transport « flottant » soit sujet à des oscillations importantes dépendant du lieu et du moment.

On peut se faire une idée de ce transport dans un certain profil, en faisant un grand nombre d'observations à l'aide de collecteurs de sable comme il est représenté par la figure 3. Avec ce genre d'appareil, d'après un examen du Laboratoire Hydraulique à Delft, on peut admettre en ce qui concerne le collecteur utilisé par le Service d'Etude dans cette voie que la vraie teneur en sable se trouve de 1.35 à 1.50 fois la valeur trouvée suivant l'indication de l'appareil. On peut dire, par conséquent, que c'est un résultat favorable.

La figure 16 donne un exemple des résultats d'une telle observation. Elle reproduit le point du profil mesuré sur le tronçon en question, ainsi que la forme de ce profil, puis la grandeur du débit Q en m^3/sec et la valeur I de la pente locale. Quoique la figure ne l'indique pas, on a tenu également compte de la composition du sable récolté et du sable de fond en ce qui concerne la grosseur des grains, puis des changements dans le niveau d'eau (crue, décrue et niveau stationnaire) et enfin de toutes les circonstances qui peuvent éventuellement influencer sur le transport.

La figure représente graphiquement les quantités de sable récoltées — qs — au-dessus du fond à la hauteur de 0.11 m (qs 11), 0.22 m (qs 22) et 0.33 m (qs 33). Chaque point marqué sur les graphiques a été fixé comme la moyenne d'une série d'observations (huit en ce cas-ci). De cette manière on se fait une idée de la façon dont, pour chacune des hauteurs indiquées, le sable était réparti sur la largeur de la rivière.

Il appert que la plus grande partie du sable est récoltée sur le côté du profil qui touche à la rive convexe, ce qui est dû évidemment au courant (transversal) secondaire. Dans un tronçon droit d'un fleuve,

par contre, la plus grande partie de sable est récoltée au milieu et moins sur les côtés.

Enfin la figure représente comme exemple la répartition du sable selon une verticale. Pratiquement le transport de sable ne peut être constaté qu'à une certaine hauteur au-dessous du niveau d'eau. Cette distance semble, en général, diminuer quand il s'agit de grands débits et augmenter pour les plus petits, tant en ce qui concerne sa hauteur absolue que la hauteur au-dessus du fond. Comme la courbe l'indique,

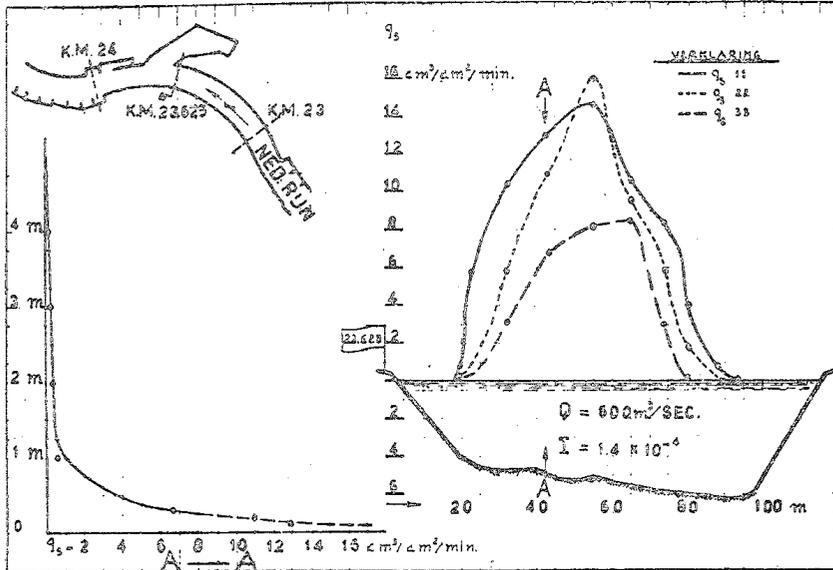


Fig. 16. — Observations de transport de sable près de km 23.625.

la quantité de sable récoltée augmente selon la verticale progressivement vers le fond. On constate de très grandes différences dans les chiffres des observations faites près du fond. Ceci est dû à la forme du fond qui a beaucoup plus d'influence dans les couches inférieures que dans les couches supérieures.

La quantité totale de sable qui passe par le profil plus haut qu'une certaine hauteur du fond, est fixée par simple addition.

On serait peut-être enclin de se faire une idée du transport total de sable en prolongeant virtuellement la susdite courbe jusqu'au fond, étant donné que la forme analytique n'est pas suffisamment connue.

Provisoirement on ne pourrait attacher qu'une toute petite valeur à cette façon de faire.

Abstraction faite de considérations plus théoriques, ceci a été constaté suffisamment par des observations dans le Neder-Rijn près du km 24. A cet endroit une tranchée a été draguée en travers de la ri-

vière. Elle avait une profondeur de 2 m au-dessous du fond normal et pendant les observations il y avait environ 3.50 m d'eau au-dessus de ce fond.

En amont de cette tranchée des observations détaillées ont été faites, en extrapolant à la manière décrite ci-dessus. C'est ainsi que la quantité de sable passant à un débit d'eau de ± 280 m³/sec fut calculée être de 20 à 30 m³/jour. Il paraît que dans la tranchée une quantité beaucoup plus grande que l'on pouvait déduire de l'extrapolation avait été déposée.

Après qu'on eut déduit de l'ensablement total dans la tranchée tout ce qui pouvait être considéré comme ne provenant pas du transport normal — par exemple et entre autre de l'abaissement du fond de la rivière le long du bord supérieur de la tranchée — il restait encore une quantité de 150 à 200 m³ par jour.

Il faut donc que par-dessus la petite hauteur au-dessous du point où l'extrapolation commençait, un multiple de ce qui a été fixé plus haut soit passé.

Aussi, on ne peut attacher que peu de valeur à la fixation du transport total en faisant une simple extrapolation des chiffres trouvés pour le transport flottant.

En outre, il est douteux que, pour une des rivières considérée, un certain rapport entre le transport flottant et le transport total puisse être accepté pour un certain profil.

Il en est de même pour ce qui concerne la proportion entre la quantité transportée en différents points de la rivière et les quantités flottantes, récoltées en même temps dans ces différents profils.

Pour la détermination du transport de sable par des observations directes, il est nécessaire de déterminer également le transport immédiatement au-dessus et sur le fond.

C'est pour cette raison qu'on cherche à construire, en collaboration indispensable avec le Laboratoire Hydraulique à Delft, un instrument spécial pour mesurer ce transport. Il semble que les résultats obtenus jusqu'à présent donnent de l'espoir.

A l'aide d'un tel appareil et d'un appareil à sondages par le son — avec lequel on peut mesurer le fond de la rivière beaucoup plus vite et beaucoup plus exactement que c'était jusqu'à présent possible — on continuera les investigations relatives au transport de fond qui ne nous ont pas encore donné de résultats satisfaisants.

Comme corollaire l'attention doit être attirée sur la présence d'ondes de sable sur le fond de la rivière. Une telle onde de sable se compose dans sa coupe longitudinale d'une montée douce dans le sens du courant et, après avoir atteint la crête d'une descente assez rapide, pour passer à l'onde suivante.

Les dimensions sont différentes; apparemment elles dépendent de circonstances ayant trait au courant et aux matériaux. Dans le Neder-Rijn, près des kms 21-25 par exemple, elles ont une longueur d'environ 2.5 à 5 m et une hauteur d'environ 0.15 à 0.25 m.

La couche supérieure semble toujours être en mouvement. C'est pourquoi les ondes de sable changent régulièrement, aussi bien que légèrement quant à leur forme que par rapport à l'endroit où elles se trouvent. En aval de la crête il y a souvent un remous avec axe horizontal. On a constaté, à l'aide d'une jumelle à observer sous l'eau, comment le mouvement en aval des matériaux qui se déposaient derrière une crête (par exemple des escarbilles) est arrêté temporairement. Il est évident qu'en de tels endroits le transport latéral de sable se produit facilement sous l'influence d'une pente transversale existant en certains points dans la rivière. On pouvait constater avec la dite jumelle comment les escarbilles se remettaient en mouvement en aval, ou bien comment elles s'enfouissaient sous l'onde de sable se déplaçant en avant. De temps en temps la présence du remous pouvait être constatée distinctement par des matériaux en mouvement sur une courte distance en amont. Cependant, la jumelle dont on dispose, est un instrument trop imparfait — surtout à ces profondeurs — pour de longues observations sans influencer sur le fond. En outre, le champ de visibilité est trop petit.

Provisoirement il ne reste donc, en matière de détermination expérimentale de transport de sable, qu'à fonder un espoir dans l'appareil qui est examiné actuellement et dans l'appareil à sondages par le son.

Le but des observations discutées ci-dessus doit être entre autres de tâcher de trouver le rapport qui relie le transport de sable et les différentes grandeurs qui agissent dans toute rivière, comme le débit, la profondeur, la pente de la surface et les dimensions des grains de sable.

Bifurcations de courants.

Il apparaît sur la figure 15 que le Waal, le Neder-Rijn et l'Yssel naissent de bifurcation.

Quant au transport de sable dans ces rivières, c'est-à-dire dans les tronçons en aval des points de bifurcation, il importe de se faire une idée de la façon dont le sable amené en amont de la bifurcation se répartit tant en ce qui concerne la quantité que par rapport aux dimensions des grains.

Les observations faites jusqu'à présent confirment — du moins pour ce qui concerne le transport flottant — la supposition plus ou moins théorique qu'en aval du point de bifurcation la proportion de sable du Waal est beaucoup plus grande que celle du Neder-Rijn.

L'examen par rapport aux dimensions des grains du sable « flottant » et des échantillons du fond est encore incomplet, mais on sait déjà avec certitude qu'à une courte distance (100 m) en amont du point de bifurcation le matériel est en général beaucoup plus gros du côté du Neder-Rijn que du côté du Waal.

Ceci est-il dû à l'influence de la faible courbure jointive en amont ? Cela n'a pas encore été examiné.

Outre l'action des courbes d'autres éléments exercent leur influence sur la répartition du sable, comme par exemple les pentes et les profondeurs.

Egalement les angles entre les axes des divers embranchements et ceux de la rivière principale doivent faire sentir leur influence.

Schématiquement on peut dire qu'à l'endroit d'une bifurcation en deux embranchements de profondeur égale, lesquels — pour le reste — répondent aux mêmes conditions quant au débit d'eau, la quantité de sable qui se dépose dans l'embranchement se continuant dans la direction de la rivière originale (1) est de beaucoup la plus petite.

Supposons une rivière A presque droite, se bifurquant dans les embranchements B et C, dont B continue dans la même direction et C tourne à droite. A, B et C ont la même profondeur. Etant donné que l'eau doit changer de direction pour couler dans l'embranchement C, il est évident que près du point de bifurcation le côté droit de C recevra moins d'eau, tandis que le côté gauche reste complètement disponible. Le profil pour le débit dans l'embouchure amont de C sera donc plus petit que celui qu'il fallait pour la quantité d'eau à déplacer dans C sans qu'il se produise une augmentation de vitesse. Ceci n'est pas le cas dans l'embranchement B. En conséquence, un refoulement se produira près et en amont du point de bifurcation dans la moitié gauche de A par rapport à la moitié droite, de sorte que sur et près du fond une force vers C agira sur le sable.

En rapport avec des travaux d'amélioration, des observations près des points de bifurcation ont eu lieu en 1926 et 1927. Les changements dans les vitesses des différents filets d'eau, en ce qui concerne la bifurcation entre le Neder-Rijn et l'Yssel, démontraient qu'une pente identique à celle indiquée ci-dessus pourrait naître. A la dernière amélioration au Neder-Rijn, il parut désirable, en rapport avec la configuration générale de la rivière, d'accentuer un peu la courbure à ce point de bifurcation. En outre, le Neder-Rijn obtiendrait une plus grande profondeur que l'Yssel, alors qu'en ce moment c'est le cas contraire. On s'attendait donc à une augmentation de transport de sable dans le Neder-Rijn. Afin de restreindre un peu ce surplus et de stimuler l'effet possible de l'em-

(1) Voir Dr H. Bulle : Untersuchungen über die geschiebeableitung bei der Spaltung von Wasserläufen.

branchement, la rive droite de l'Yssel a été écartée un peu plus que cela était jusqu'à présent.

Toutefois, il est probable que le transport de sable vers le Neder-Rijn est plus grand maintenant qu'auparavant.

La figure 17 reproduit la situation de la bifurcation entre le Neder-Rijn et l'Yssel, ensuite schématiquement la grandeur de quelques profils mesurés et enfin — pour chacun des profils — un graphique de la quantité de matériaux « flottants », trouvée comme la moyenne de ce que fut amoncelé à 0.11, 0.22 et 0.33 m au-dessus du fond.

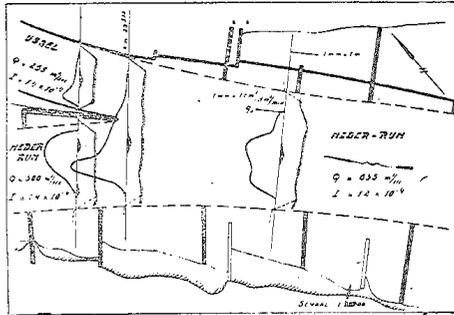


Fig. 17. — Observations près de l'embouchure d'amont de l'Yssel.

Dragages.

Le transport de sable est influencé par les dragages. Les dragages peuvent faire que la rivière transporte moins de sable que ne le permet sa capacité. Dans ce cas un rétablissement d'équilibre tendra à s'effectuer naturellement.

Des observations près de la tranchée déjà citée ci-dessus ont démontré qu'à une courte distance en aval le transport « flottant » ne s'élevait qu'à quelques pour cents de ce qui est récolté en amont. A quelques centaines de mètres en aval, cependant, le transport s'était rétabli.

Quand des dragages relativement importants sont exécutés, surtout quand ils sont faits sur une certaine longueur, il se produira qu'à l'endroit des dragages non seulement le fond de la rivière, mais également la pente de la surface — quoique celle-ci un peu moins — baisseront. A une distance assez loin en amont de l'endroit des dragages, la pente de la surface ne sera pas influencée tout de suite. Il résulte de ceci qu'entre ce point et le lieu des dragages la pente deviendra plus rapide, de sorte que la rivière tendra à éroder, ce qui causera de nouveau un abaissement du fond. Cela se répète jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint.

La figure 18 représente l'influence de dragages. Le profil longitudinal du Neder-Rijn et du Lek y a été porté. De même la hauteur moyenne du

Il est intéressant d'attirer l'attention sur le fait que dans des cours supérieurs des rivières suffisamment normalisées, comme ceux examinés, la profondeur n'a pas augmenté par des dragages ce que montre la figure. Les dragages à un certain endroit causent de hauts fonds en amont. On a dragué par exemple ces dernières années près des kms 45-46, en suite de quoi le fond du tronçon en amont s'est érodé et abaissé sur quelques kilomètres, mais pas autant que le niveau, de sorte qu'à cet endroit la profondeur a diminué.

Il va de soi que toutes ces érosions signifient augmentation locale de transport de sable. Généralement ce transport diminue plus bas sur la rivière et cause à des endroits qui s'y prêtent des ensablements.

Les dragages auront également une influence sur le transport quit- tant la rivière.

La quantité totale qui, dans la période considérée, a été enlevée de la rivière par des dragages, se calcule à 30 jusqu'à 33×10^6 m³, tandis que l'abaissement du fond dans la même période s'élève à 27 à 30×10^6 m³. Il résulte de ces chiffres que, pendant cette période, en général moins de sable est sorti par l'embouchure aval que du sable est entré par l'embouchure amont.

Pour ce qui concerne la situation actuelle, on peut admettre que pour la plupart des débits le transport de sable par l'embouchure aval est peu important. Toutefois, ceci n'empêche pas qu'en cas de grands débits des cours supérieurs un transport de sable assez important pourra se produire.

Pour le Neder-Rijn et pour le Lek il viendra pendant les grands débits un moment que le transport de sable par l'embouchure aval ne sera pas non seulement égal à celui qui passe par l'embouchure amont, mais le dépassera. Par exemple on peut calculer globalement, d'après les changements du fond, que pendant les grands débits de Janvier 1926 — date à laquelle probablement le plus grand débit s'est produit qui fut jamais atteint — l'érosion aura dépassée l'ensablement de quelques centaines de mille m³.

Résumant on peut dire ce qui suit par rapport aux dragages considérés ci-dessus :

Pour ce qui concerne les digues, une influence favorable est obtenue par l'abaissement du niveau des crues. L'utilité des ports situés à la rivière subit une influence défavorable par suite de l'exhaussement relatif du fond; ceci s'applique également aux seuils des travaux d'art dans la rivière qui forment la liaison avec des canaux de navigation, etc. La situation hydraulique de terres situées le long de la rivière n'est pas servie dans les périodes sèches (niveaux des basses eaux). La situation générale de la profondeur au point de vue de la navigation, quand on considère la rivière en entier, n'est pas améliorée et même elle subit des dommages quand les dragages ne sont pas faits avec discernement.

Dans le cas d'un abaissement irrégulier de niveaux d'eau près des points de bifurcation, le rapport entre les deux débits est modifié. Vu que des cours supérieurs de rivières bien normalisées possèdent sur toute leur longueur une capacité de transport suffisante, le remplissage du lit de ces rivières par ensablement n'est pas à craindre et aussi des dragages ne sont pas nécessaires.

Hors de ce qui précède, l'attention doit encore être attirée sur le changement dans la composition géologique du sable transporté.

Le Professeur Dr. C.-H. Edelman a examiné une série d'échantillons de fond prélevés dans différentes rivières néerlandaises, entre autres dans le Neder-Rijn et dans le Lek (1). En vertu de cet examen il fait remarquer que le matériau qui descend la rivière venant d'Allemagne est mélangé en Hollande avec du sable d'autre provenance. Le Professeur Edelman explique ceci par le fait que les lits des rivières qu'il a considérées, sont encastrées dans la terrasse basse qui a une composition pétrologique peu connue jusqu'à présent, mais probablement associée à des alluvions datant de l'ancien pleistocène mieux connu. Il ajoute que ces mélanges ont lieu non seulement en Hollande, mais aussi plus en amont, c'est-à-dire sur le Rhin en Allemagne.

La figure 18 nous montre en effet que le Neder-Rijn et le Lek se trouvent aussi encastrés dans des couches plus profondes, lesquelles peuvent être d'une autre composition. La découpe mentionnée ci-dessus, causée principalement par les dragages, s'est produite graduellement, de sorte que probablement la composition des sables a subi dans le cours des années des changements au point de vue pétrologique.

Cela s'applique aussi à l'Yssel.

Pour ce qui concerne le Waal, les choses sont autres. Autrefois on s'est occupé sur cette rivière d'extraction de gravier sur une échelle très étendue. Le matériau du fond fut dragué sur une profondeur considérable et divisé en sable et en gravier. Le sable fut rejeté dans l'eau. Le fond de cette rivière a donc été mêlé jusque sur une très grande profondeur, de sorte que de grandes quantités de sable se trouvent à des hauteurs où elles n'étaient pas naturellement. Aussi, la composition du sable débité par le Waal a probablement changé, dans le courant des années, d'une autre façon qu'ailleurs.

En résumé, on peut ajouter, concernant les suites des dragages, la probabilité que la percolation a augmenté. L'attention a été attirée au cours d'une conversation avec le Professeur Edelman qui supposait que ceci pouvait être causé par l'encastrement dans des couches profondes anciennes, lesquelles peuvent affleurer près de la surface ou même atteindre celle-ci de l'autre côté des digues.

(2) Voir C.-H. Edelman : Die Petrologie der Sande der Niederlaendischen Fluesse : Rijn, Lek, Waal, Merwede, Geldersche, Yssel.