



Laboratoire de Recherches Hydrauliques

borgerhout

PORT DE ZEEBRUGGE

ETUDE SUR MODELE REDUIT SEDIMENTOLOGIQUE

**EXTENSION FINALE
DU PORT**

1981

MOD.387.S-6

Laboratoire Central d'Hydraulique de France

maisons - alfort

LABORATOIRE DE RECHERCHES
HYDRAULIQUES

borgerhout anvers



ministère des travaux publics
ponts et chaussées
administration des voies hydrauliques

ETUDE SUR MODELE REDUIT SEDIMENTOLOGIQUE

DE L'EVOLUTION DES FONDS AUX ABORDS

DU PORT DE ZEEBRUGGE

MODELE 387.S

RAPPORT INTERMEDIAIRE N° 4

EXTENSION FINALE DU PORT

LRH 81/18

LCHF RI/04-ES/387.S-6

SOMMAIRE

| | <u>Pages</u> |
|---------------------------------------------------------------|--------------|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| CHAPITRE 1 - CONDITIONS EXPERIMENTALES..... | 2 |
| 1.1 - Déroulement des essais..... | 2 |
| 1.2 - Relevés et mesures..... | 4 |
| CHAPITRE 2 - EVOLUTION DES FONDS AUX ABORDS DES OUVRAGES..... | 5 |
| 2.1 - Période de construction des digues extérieures..... | 5 |
| 2.2 - Evolution des fonds après achèvement du port..... | 8 |
| CONCLUSION..... | 11 |
| LISTE DES FIGURES..... | 13 |

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

L'étude de l'évolution des fonds aux abords du port de Zeebrugge a été réalisée sur modèle réduit au Laboratoire de Recherches Hydrauliques du Ministère des Travaux Publics à Borgerhout, et menée en collaboration avec le Laboratoire Central d'Hydraulique de France de Maisons-Alfort, chargé de la conduite des essais et en assumant la responsabilité technique vis-à-vis du laboratoire de Borgerhout.

Après avoir exposé successivement dans les rapports 1, 2 et 3 les résultats du tarage hydraulique, du tarage sédimentologique et de l'étude des risques d'érosion des fonds pendant la période de construction de la digue GNL, ce quatrième rapport intermédiaire présente les résultats de l'étude de l'évolution des fonds aux abords des ouvrages de protection du nouvel avant-port de Zeebrugge.

- au cours des dernières étapes de construction des digues extérieures,
- en phase finale d'extension, c'est-à-dire une fois le port entièrement construit.

CHAPITRE 1

CONDITIONS EXPERIMENTALES

1.1 - DEROULEMENT DES ESSAIS

Pour la première partie de cette ultime partie de l'étude de l'évolution des fonds aux abords des ouvrages de protection du nouveau port de Zeebrugge, les essais se sont déroulés selon le schéma classique jusqu'à présent adopté.

A chaque étape de construction et pour chaque digue, un tronçon équivalent à 400, 450 m était mis en place (avancée annuelle moyenne d'environ 850 m par digue) et un demi-cycle d'une période équivalente à 6 mois était reproduit.

Cette série d'essais a débuté sur l'état des fonds obtenu après achèvement de la digue GNL (situation To + 36 - figure 1) et après avancées des digues Nord-Est et Ouest respectivement jusqu'aux PM 2400 et 1850 (situation To + 42).

Les différentes avancées adoptées (et portées sur le plan de situation de la figure 2) étaient basées sur les estimations du bureau d'étude de la TV Z2. Le corps des digues était représenté par des éléments en métal déployé et les fondations (gravier, fascines) schématisées par du sable disposé sur la nacre, sur une épaisseur moyenne de 1 cm modèle. A noter qu'ont également été introduits les refoulements de sable prévus pour la protection du talus interne de la digue Ouest, du moins jusqu'au niveau du coude.

Le cycle de marées et de houles reproduit était identique à celui adopté en fin de tarage sédimentologique et au cours de l'étude de l'évolution des fonds pendant la période de construction de la digue GNL. Ce cycle, composé d'une période été et d'une période hiver est rappelé par la figure 3. La distorsion des courants de + 15 % était également conservée de manière à garder tout au long de l'étude, les mêmes conditions expérimentales.

Le tableau ci-après récapitule les différentes caractéristiques de cette première série d'essais.

Tableau 1 - Période de fin de construction du port

| Essais | Situations | Cycles reproduits | Avancement des ouvrages (Noyaux) | |
|--------|-----------------|-------------------|----------------------------------|---------------|
| | | | Digue Nord-Est | Digue Ouest |
| ES 2.4 | To + 42 | hiver | PM 2400 | PM 1850 |
| ES 2.5 | To + 48 | été | PM 2720 | PM 2250 |
| ES 2.6 | To + 54 | hiver | PM 3220 | PM 2680 |
| ES 2.7 | To + 60 | été | PM 3630 | PM 3180 |
| ES 2.8 | To + 66 | hiver | digue achevée | PM 3610 |
| ES 2.9 | To + 72 = Ta | été | digue achevée | digue achevée |

On peut rappeler que les fondations de la digue Nord-Est étaient achevées depuis la situation To + 24 et que celles de la digue Ouest ont été terminées pour la situation To + 42.

Pour la seconde partie de l'étude, il s'agissait d'examiner les répercussions sur les fonds aux abords des ouvrages, une fois le port entièrement construit (Ta = To + 72) et leurs évolutions sur plusieurs années.

Le programme des essais était le suivant :

Tableau 2 - Phase finale d'extension du port

| Essais | Durées | Situations | Cycles reproduits |
|---------|--------------------------------|------------|------------------------------------------------------------|
| ES 2.10 | 1 an - de To + 72 à To + 84 | Ta + 1 | 1 cycle normal (période été + hiver) |
| ES 2.11 | 1 an - de To + 84 à To + 96 | Ta + 2 | 1 cycle normal |
| ES 2.12 | 3 ans - de To + 96 à To + 132 | Ta + 5 | 3 cycles normaux |
| ES 2.13 | 5 ans - de To + 132 à To + 192 | Ta + 10 | 2 cycles normaux + 1 cycle exceptionnel + 2 cycles normaux |

Cette seconde série d'essai s'est déroulée dans des conditions analogues à celles des essais précédents (cycles de houles et de marées, distorsion des courants), la seule différence concernant l'incorporation au milieu du cycle long de 5 ans (essai ES 2.13) d'un cycle exceptionnel (période hiver) caractérisé, comme indiqué sur la figure 3, par une loi de marée différente pour introduire les grandes variations de niveau d'eau (influant sur les courants) correspondant à la "marée décennale".

2.1 - RELEVES ET MESURES

Pendant la période de construction des digues extérieures, les champs de courants au maximum de flot (\approx PM -0h 40) et au maximum de jusant (\approx PM +5h 30) étaient systématiquement relevés* pour chaque situation d'extension du port.

Ces mesures étaient effectuées en cours de cycle, aux environs de la marée de vive eau moyenne (généralement en début ou milieu de cycle pour la période été, en fin de cycle pour la période hiver) c'est-à-dire au moment du passage du coefficient de marée en position 1,18 et après arrêt momentané des houles.

Les états de fonds étaient relevés, également en fin de chaque cycle, par la méthode des lignes de niveau, et les profondeurs ou cotes caractéristiques (puits, zones de sédimentation) déterminées par mesure d'épaisseur du matériau mobile.

Une fois le port achevé, les levés de fonds ont été réalisés, selon les mêmes méthodes que précédemment en fin de chaque essai (donc après une durée variable selon l'essai). Conjointement, les dragages ont été simulés dans la passe d'entrée du port (retour au chenal à -12 m sur environ 200 m de large) et le cas échéant (forte sédimentation) en bordure du chenal dans les zones immédiates des musoirs (retour aux cotes initiales des fonds). Le matériau retiré était pesé à sec et le volume déterminé après application du coefficient de foisonnement de 0,75 ($C_f = \frac{\text{Poids sec} \times \text{densité}}{\text{volume sous eau}}$, évalué au préalable sur échantillons).

volume sous eau

Cette opération a été effectuée en fin d'essais ES 2.11 ($T_a + 2$ ans), ES 2.12 ($T_a + 5$ ans), en milieu et en fin d'essai ES 2.13 ($T_a + 7$ ans et $T_a + 10$ ans).

Précisons que l'ensemble des mesures concernaient, en phase finale d'extension du port, les zones extérieures aux ouvrages ; les évolutions de fonds à l'intérieur du port n'étant pas représentatives, celles-ci n'ont pas été examinées.

* compte tenu de la brièveté de la pointe de flot et des difficultés de calage des prises de vues, le maximum n'a pas toujours été rigoureusement cerné

CHAPITRE 2

EVOLUTION DES FONDS AUX ABORDS DES OUVRAGES

2.1 - PERIODE DE CONSTRUCTION DES DIGUES EXTERIEURES

Rappelons que dans la situation To + 36, avant le début des travaux de la digue Nord-Est et après achèvement de la digue GNL, la fosse d'érosion au droit du talus Nord, apparue pendant la construction de la digue Sud-Est s'est étendue vers l'Ouest en bordure des fondations de la digue GNL. D'autre part, malgré une avancée en mer déjà importante de la digue Ouest (PM 1380 environ) les fonds n'ont pratiquement pas été remaniés.

Dans la situation To + 42, alors que la digue Ouest atteignait le PM 1850 environ, malgré une accélération nette mais progressive des courants de flot en aval de la digue (cf figure 4), les fonds ne subissaient pas de modifications notables, les fluctuations (sédimentation-érosion) n'excédant pas ± 1 m.

Avec l'extension de la digue Nord-Est jusqu'au PM 2400 environ, les courants de flot et à un degré moindre, les courants de jusant (cf figure 5), ont dans un premier temps éliminé partiellement la zone sédimentée, apparue progressivement dans les stades antérieurs d'avancement des ouvrages, et dans un second temps ont érodés localement les fonds en extrémité de la digue Nord-Est. En fin de cycle, la fosse d'érosion ainsi formée, bordée au Sud-Est d'un banc à -4 m, atteignait des profondeurs de -11,5 m.

Protégée de l'action des courants par l'avancée simultanée des deux digues extérieures, l'érosion de la fosse devant la digue GNL et le talus Nord de la digue Sud-Est était stoppée, cette zone d'érosion, ayant plutôt tendance à se combler sous l'action des houles.

Les états de fonds en fin d'essai dans la situation To + 42 sont donnés par les figures 6 et 7 respectivement pour l'ensemble du modèle et dans le secteur de la digue Nord-Est.

Une fois l'amorce du coude de la digue Ouest atteinte (situation To + 48 - PM 2270), les courants de flot s'intensifiant fortement (cf champs de courants aux maximums de flot et de jusant - figures 8,9), une fosse s'est creusée progressivement au niveau du coude à environ 200 m de l'axe de la digue Ouest, côté large. En fin de cycle, cette fosse d'environ 30 000 m² de superficie au niveau de l'isobathe -10 m était munie de puits à -10,5, -11 et -11,5 m. Côté interne en bordure des fondations de la digue, les fonds étaient également faiblement érodés au niveau du PM 3000 environ.

Peu alimentée par les courants de forte intensité du fait de la progression des digues Ouest et Nord-Est, la fosse au droit de la digue GNL n'évoluait pour ainsi dire pas, si ce n'est que le lent comblement dû à l'action des houles se poursuivait.

L'extension de la digue Nord-Est (PM 2720) était marquée par la formation d'une nouvelle zone d'érosion en extrémité d'ouvrage (action du flot presque exclusivement). Cette fosse, plus étendue que celle formée 400 m en deça au cours de l'essai précédent (situation To + 42) était parsemée de petits puits à -12 et -12,5 m et était reliée à l'ancienne fosse par une sorte de chenal à -8,5 m.

Les figures 10 à 12 donnent les états de fonds respectivement de l'ensemble de la zone d'implantation du port, du secteur de la digue Ouest et du secteur de la digue Nord-Est.

Dans la situation To + 54 pour laquelle les avancées en mer des digues Ouest et Nord-Est étaient respectivement de 2680 et 3220 m, l'érosion des fonds au niveau du coude de la digue Ouest s'est amplifiée, peu en étendue mais plutôt en profondeur, pour atteindre en fin d'essai -14 m en plusieurs endroits, le maximum d'érosion avoisinant les -15 m. Cette érosion était accompagnée d'une sédimentation sur et en bordure externe des fondations de la digue, au niveau du tronçon rectiligne prolongeant le coude, l'épaisseur de sédimentation était de l'ordre de 1 m.

On retrouvait en extrémité de la digue Nord-Est, la formation d'une nouvelle zone d'érosion sensiblement analogue aux précédentes (profondeur maximale à la cote -13 m). Les courants de jusant et les gradients de vitesses, le long de la digue Nord-Est n'étaient pas suffisants (les champs de courants au maximum du flot et au maximum du jusant sont portés sur les figures 13 et 14) pour entretenir les deux fosses précédemment formées, et, protégées des courants de flot par l'avancée de la digue, ces fosses ont été partiellement comblées, en partie par les apports (faibles) du jusant mais surtout par les fortes houles.

Les états des fonds en fin de cycle pour cette situation To + 54 sont donnés par les figures 15 à 17 (état général et états au droit des digues).

La situation To + 60 était caractérisée d'une part par une nouvelle extension de la fosse d'érosion au droit du coude de la digue Ouest et d'autre part par l'absence de formation de nouvelle zone d'érosion au niveau de la digue Nord-Est.

A ce stade présumé d'avancement des travaux (PM 3180 pour la digue Ouest et PM 3630 pour la digue Nord-Est), les courants de flot suivaient une trajectoire sensiblement parallèle au tracé de la digue Ouest et la zone d'implantation des ouvrages à l'Est du port n'était plus alimentée par des courants à forte intensité en flot comme en jusant où les vitesses de surface le long de la digue Nord-Est restaient inférieures à 2 ms^{-1} (cf champs de courants sur les figures 18- maximum de flot- et 19- maximum de jusant).

En fin de cycle, la fosse Ouest couvrait au niveau de l'isobathe -10 m, une superficie de près de 90 000 m² et atteignait localement (fonds des puits) des profondeurs de -15 à -15,5 m. En pied de digue, au centre du coude, l'érosion des fonds provoquait un début d'éboulement des sables schématisant les fascines. Le matériau mobile repris dans la fosse par les courants de flot se déposait quelques centaines de mètres plus loin, amplifiant la tendance à la sédimentation (amorcée précédemment au niveau du tronçon terminal de la digue), peu en épaisseur (maximum + 1,5 m) mais surtout en étendue avec une poussée vers le musoir Nord-Ouest et un début de très léger ensablement du chenal d'accès au port sur son versant Ouest.

Les forts courants de flot étant déviés au large de l'extrémité de la digue Nord-Est, les fonds dans ce secteur n'évoluaient pas et le long de la digue, les zones d'érosion successives apparues dans les situations antérieures, ont continué à se combler (tendance au nivellement des fonds).

Les états de fonds pour l'ensemble de la zone portuaire et dans le secteur de la digue Ouest sont donnés par les figures 20 et 21.

La situation To + 66, marquée par l'achèvement de la digue Nord-Est et par une avancée de la digue Ouest jusqu'au PM 3610 environ voyait les phénomènes constatés précédemment se poursuivre :

- absence de zone d'érosion et disparition presque complète des fosses successives le long de la digue Nord-Est,
- légère extension de la fosse, localisée au niveau du coude de la digue Ouest en bordure des fondations et vers le Nord-Est, érosion accompagnée d'une sédimentation en tête de digue. En fin d'essai, la fosse Ouest était caractérisée par :
 - . une superficie au niveau de l'isobathe -10 m voisine de 130 000 m² (volume érodé sous cette cote de l'ordre de 370 000 m³),
 - . des profondeurs maximums de -16 à -16,5 m (approfondissement de plus de 10 m par rapport aux fonds initiaux).

Les champs de courants relevés dans la situation To + 66 au maximum de flot et au maximum de jusant sont portés sur les figures 22 et 23 ; les figures 24 et 25 donnent l'état général des fonds et l'état des fonds dans le secteur de la digue Ouest.

Avec l'achèvement du port (fin des travaux d'avancement de la digue Ouest) - Situation To + 72 -, les évolutions de fonds ont progressé dans le même sens sans apparition de nouveaux phénomènes marqués.

Suite à un mauvais calage de la prise de vue, les champs de courants relevés au maximum de flot (cf figure 26) sont sujets à caution en ce qui concerne les intensités. Si l'on se réfère aux champs de courants relevés dans les mêmes conditions lors du tarage hydraulique ou à ceux de la situation To + 66 (les derniers 500 m du tronçon terminal de la digue Nord-Ouest n'ayant qu'une influence locale), on remarque une différence assez sensible (dans le sens d'une réduction) des intensités, sans divergence au niveau des trajectoires.

En comparant les champs de courants relevés au cours du cycle au "maximum de flot" et au maximum de jusant (cf figure 27) à ceux issus du modèle d'ensemble 265 du LRH, les trajectoires et les intensités (après réajustement pour le flot compte tenu de la remarque ci-dessus) sont d'une manière générale en bonne correspondance aux abords immédiats des ouvrages. Au large de ces derniers, on constate quelques différences au niveau des trajectoires, la plus importante de ces différences concernant le coin NW du modèle (en face du coude de la digue Ouest) où les trajectoires des courants au maximum de flot sont plus inclinées vers le NE sur le modèle sédimentologique, écart résultant en grande partie d'un débit à la côte légèrement trop fort et inversement d'un débit au large pas suffisamment important.

L'érosion de la fosse localisée devant le coude de la digue Ouest s'est légèrement étendue vers le NE pour atteindre en fin de cycle (situation To + 72) une superficie de l'ordre de 140 000 m² au niveau de l'isobathe -10 m (volume érodé équivalent à 400 000 m³) et des profondeurs maximales de -16,5 à -17 m.

Le long de la digue, la zone de sédimentation avait tendance à s'aplanir (réduction de la surface couverte par l'isobathe -4 m) et s'étendre vers le NE, le versant W du chenal d'accès au port étant un peu plus ensablé en face du musoir.

En ce qui concerne le secteur Est du port, notamment en bordure de la digue Nord-Est, les fonds globalement n'évoluaient pratiquement pas, les mouvements (faibles) dus à l'action des courants de jusant étant compensés par les mouvements (faibles également) dus à l'action des courants de flot, la houle ayant un rôle secondaire.

L'état des fonds pour l'ensemble de la zone de fonds mobiles, à la fin de l'essai est donné par la figure 28 ; la figure 29 présente l'état des fonds dans la zone de la digue Ouest.

L'évolution de la fosse d'érosion devant le coude de la digue Ouest, phénomène principal constaté pendant la période de construction des digues extérieures du nouveau port, est illustrée par la planche photos 1 et les figures 30 à 32 sur lesquelles sont portés respectivement les relevés de profils en long, les surfaces érodées par cote et les volumes érodés. Les profils en long ont été pris sur deux axes (repérés et positionnés avec leur origine sur la figure 2) de façon à bien cerner les grandes profondeurs de la fosse évoluant dans le temps. Ces schémas (sur lesquels figurent également l'évolution de la fosse après achèvement du port), montrent l'extension progressive de la zone d'érosion et les approfondissements successifs de la fosse.

2.2 - EVOLUTION DES FONDS APRES ACHEVEMENT DU PORT

Les digues extérieures du nouveau port étant entièrement construites, la fin de l'étude a consisté à examiner la répercussion des ouvrages sur les fonds avoisinants et l'évolution de la fosse d'érosion au droit de la digue Ouest afin de s'assurer que son extension ne soit pas préjudiciable aux ouvrages.

Un an après la fin des travaux ($T_0 + 84 / T_a + 1$ an) la zone érodée était davantage marquée. Son extension dans le sens du flot et son approfondissement (cote maximale atteinte voisine de -18 m en fin de cycle) étaient accompagnés d'une poussée de la zone sédimentée vers le tronçon terminal de la digue ainsi qu'au niveau du chenal dont l'ensablement commençait à être important (cf figures 33 et 34). De l'autre côté du chenal d'accès au port, soit devant le musoir de la digue Nord-Est, les fonds subissaient un début de légère sédimentation.

Ce dernier phénomène s'accroissait au cours du cycle suivant ($T_0 + 196 / T_a + 2$ ans) avec l'apparition en fin d'essai d'une zone à la cote -5 m, peu étendue il est vrai. Le long du tronçon terminal de la digue Ouest et au-delà du musoir, la sédimentation prenait de l'ampleur, puisque débordant sur la passe d'entrée du port, cette dernière étant presque totalement colmatée en face des musoirs (cf figure 35). Cette nette sédimentation résultait de la poursuite de l'extension de la fosse et de l'érosion des fonds bordant cette fosse au Nord et Nord-Est à -7, -8 m (cf figure 36). En fin de cycle les profondeurs maximales atteintes avoisinaient les -20 m, soit un approfondissement de plus de 2 m par rapport à la situation précédente, et la superficie couverte par l'isobathe -10 m était de l'ordre de 250 000 m².

Avant le cycle suivant, les dragages ont été schématisés dans le chenal (retour aux fonds de -12 m sur une largeur de 200 m) et devant le musoir de la digue Ouest (retour aux fonds initiaux), les volumes dragués par zones, sont précisés sur la

figure 35. Si l'on considère que dans la situation To + 72, l'ensablement du chenal était pratiquement négligeable, en 2 ans, il était de l'ordre de 1,4 millions de m³ ce qui représenterait des dragages annuels de plus de 700 000 m³.

Pendant l'essai suivant d'une durée équivalente à 3 ans le processus érosion/sédimentation se poursuivait pour atteindre au bout des 3 ans (To + 132), soit 5 ans après l'achèvement du port, des proportions assez importantes. L'érosion, résultant presque exclusivement de l'action des courants de flot, concernait les fonds devant la digue Ouest : au niveau de la fosse (au droit du coude), dont le maximum de profondeur paraissait s'être stabilisé aux environs de la cote -21 m, mais dont l'élargissement et l'étirement vers le Nord-Est s'accroissait, et devant le tronçon terminal de la digue où les fonds réhaussés par la sédimentation apparue pendant la fin des travaux de construction du port, ont été progressivement élimés, retrouvant pratiquement leur cote originelle de -6 à -7m (cf figures 37 et 38). Les sables repris dans la fosse ou en bordure de la digue, étaient dans un premier temps piégés par le chenal complètement ensablé sur un tronçon de près de 800 m, puis se déposaient devant l'extrémité de la digue Nord-Est, une fois la passe d'entrée colmatée. Cette zone de sédimentation ainsi formée s'étendait vers le Nord-Est mais peu vers l'Est, les courants de jusant "remontant" en partie les sables déposés le long de la digue. Devant la forte sédimentation de nouveaux dragages ont été réalisés selon un procédé identique au précédent ; les différents secteurs dragués et le volume dragué sont indiqués sur la figure 37. Notons que si ces volumes sont relativement faibles, leur concentration dans une zone restreinte du chenal peut conduire à un "blocage" momentané des accès au port si des moyens de dragage ne sont pas mis instantanément en place.

Le dernier essai s'étendant sur une durée équivalente à 5 ans, de To + 132 à To + 192, n'a pas vu l'état des fonds tendre vers une stabilisation, mais au contraire une continuation et une extension des zones d'érosion comme de sédimentation.

Notons que l'essai a été interrompu après l'équivalent de 2 ans (situation To + 156 - Ta + 7 ans) pour simuler les dragages (chenal et zone du musoir de la digue Ouest). Comme il est indiqué sur la figure 39, les volumes dragués étaient alors d'un peu moins de un million de m³ de sable. Rappelons également qu'au cours du troisième cycle de ce dernier essai, une période hiver exceptionnelle a été introduite. La brièveté de reproduction de marées à très grands marnages, par rapport à l'ensemble de l'essai n'a pas mis en évidence de nouveaux phénomènes, si ce n'est des mouvements plus prononcés de matériaux mobiles aux environs des basses mers, sous l'action de la houle ainsi que des courants de jusant légèrement renforcés du fait de la moindre hauteur d'eau.

A la fin de l'essai, soit 10 ans après achèvement des ouvrages extérieurs, l'état des fonds était celui présenté par les figures 39 et 40. L'extension de la fosse, comme au cours de l'essai précédent, s'est opérée non pas en profondeur, les cotes maximales n'ayant pratiquement pas variées (-21,5 m), mais vers le Nord-Est, la fosse s'écartant de la digue le long du tronçon terminal, où les fonds étaient à -8 m environ. Si l'on prend comme référence l'isobathe -10 m, la fosse peut être caractérisée par :

- une longueur voisine de 2000 m,
- une superficie d'environ 700 000 m²,
- un volume déplacé, sous cette cote, de 2 millions de m³ de sable.

Dans le prolongement de la fosse, à l'Est de la passe d'entrée, on note également une langue d'érosion à la cote -8 m (approfondissement moyen d'un mètre). Sous cette zone, s'étend une importante zone de sédimentation (crête à -3,5 m, surface de près de 300 000 m² couverte par l'isobathe -4 m). Au niveau du chenal, l'ensablement est également marqué notamment à l'abri des courants de flot à forte intensité dans le prolongement du musoir de la digue Ouest (crête à la cote -4 m). Les quantités draguées en fin d'essai (indiquées sur la figure 39) étaient équivalentes à un peu moins de 800 000 m³ de sable.

En se reportant aux figures 30 à 32, on peut suivre l'évolution de la fosse d'érosion, par l'intermédiaire des relevés de profils et des surfaces et volumes érodés. Les schémas ainsi que la planche photos 2 mettent en évidence la progression de l'érosion et surtout, que 10 ans après l'achèvement du port, les fonds n'atteignent pas encore un état stable.

C O N C L U S I O N

Au cours des premières situations d'extension du nouveau port de Zeebrugge, et notamment en fin de construction de la digue Sud-Est, une fosse d'érosion s'est rapidement creusée en bordure de cet ouvrage.

Pendant la période de construction des digues extérieures, réalisée sur le modèle par étapes équivalentes à 6 mois, cette fosse a évolué favorablement, protégée par l'avancée des ouvrages, de l'action des courants de flot essentiellement.

Les fonds aux abords de la digue Ouest n'étaient que très peu remaniés jusqu'à une avancée en mer de la digue d'environ 1800 à 1900 m. Une fois l'amorce du coude atteinte (PM 2270) la brusque accélération des courants de flot a engendré la formation d'une fosse au droit du coude. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, la fosse s'est étendue vers le Nord-Est le long de la digue, mettant en danger les fondations en restant localisée au niveau du coude. Les profondeurs maximales de la fosse ont rapidement augmenté immédiatement après construction du coude pour atteindre -15 m puis -17 m localement après achèvement de la digue.

Les sables repris dans la fosse se déposaient pendant les travaux d'extension du port sur et en bordure des fondations de la digue Ouest puis étaient entraînés après achèvement du port dans le chenal et au delà devant le tronçon terminal de la digue Nord-Est. Les fonds originaux à -6, -7 m devant la digue Ouest réapparaissaient 5 ans après la fin des travaux et continuaient à s'approfondir pendant les 5 années suivantes. Simultanément l'érosion de la fosse devant le coude s'accroissait régulièrement, peu en profondeur (cote maximale atteinte de -21,5 m, 10 ans après achèvement du port) mais surtout en superficie, l'extension des zones érodées s'effectuant vers le Nord-Est.

Pendant la construction de la digue Nord-Est, et à chaque situation d'extension, des fosses d'érosion à -12 m en moyenne, résultant de l'action des courants de flot, sont apparues en extrémité Est de la digue. Avec la progression de l'ouvrage, ces fosses se comblaient progressivement, les courants de jusant n'étant pas suffisants pour les entretenir. Si l'avancée de la digue Nord-Est n'avait pas de répercussion sur les fonds dans le secteur Ouest du port du fait des gradients de vitesse peu importants en jusant (comparativement au flot), par contre l'avancée de la digue Ouest influait sur les évolutions de fonds à l'Est du port. Ainsi une fois le PM 3200 atteint par la digue Ouest, déviant les forts courants de flot, les fonds devant et en bordure de la digue Nord-Est n'ont pratiquement plus évolués par la suite.

A la vue des résultats et compte tenu des conditions expérimentales, les tous premiers mois de construction des digues extérieures ne devraient pas voir de modifications de fonds importantes pouvant entraîner des perturbations quant à l'exécution des travaux ou à la tenue des ouvrages et de leur soubassement. A partir d'une certaine avancée en mer de la digue Ouest (PM 2000 environ) les zones d'érosion apparaissent devant les ouvrages et notamment au niveau du coude de la digue Ouest et compromettent la tenue des fondations.

* *rappelons que la sédimentation constatée en modèle - compte tenu du choix, pour obtenir des érosions correctes, de n'introduire que les éléments de granulométrie correspondant à la fraction des sables grossiers Nature - n'est qu'imparfaitement représentative de la sédimentation susceptible d'être observée en nature.*

Etant donné l'action prépondérante du flot et des gradients de vitesse importants s'il semble possible de réduire les risques au niveau de la digue Nord-Est par une plus grande rapidité d'exécution de la digue Ouest, l'érosion des fonds en bordure de cette dernière, qui s'est accentuée progressivement pendant la fin des travaux et après achèvement du port (les fonds ne tendant pas vers une stabilisation mais l'évolution se poursuivant 10 ans après achèvement du port) pourra difficilement être stoppée ; par contre le pied des ouvrages pourra être renforcé (extension de la protection des fonds à l'aide de graviers et fascines) et un suivi régulier des fonds en bordure d'ouvrage réalisé.

Suite à ce rapport intermédiaire qui comme les trois précédents, a permis de présenter les résultats spécifiques à une phase précise de l'étude sédimentologique, un rapport final permettra ensuite de faire la synthèse de l'ensemble de l'étude et d'apporter des recommandations pour la poursuite des recherches réalisées par le LRH.

Novembre 1981

Pour le Laboratoire Central d'Hydraulique de France

L'Ingénieur chargé
de l'Etude



E. LAGROY de CROUTTE

L'Ingénieur Principal
Chef de Projet



S. MANOUJIAN

Le Directeur des Etudes
de Sédimentologie



C. MIGNIOT

Pour le Laboratoire de Recherches Hydrauliques

L'Ingénieur Principal
des Ponts et Chaussées

F. WENS

L'Ingénieur en Chef
Directeur des Ponts et Chaussées
Directeur du Laboratoire de Recherches Hydrauliques

P. ROOVERS

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Etat initial des fonds - Situation To + 36
- Figure 2 - Plan de situation - Extension finale du port
- Figure 3 - Cycles de houles et de marées

Evolution des fonds pendant la construction du port

- Figure 4 - situation To + 42 - Champs de courants au maximum de flot
- Figure 5 - situation To + 42 - Champs de courants au maximum de jusant
- Figure 6 - situation To + 42 - Etat général des fonds
- Figure 7 - situation To + 42 - Etat des fonds dans le secteur de la digue NE
- Figure 8 - situation To + 48 - Champs de courants au maximum de flot
- Figure 9 - situation To + 48 - Champs de courants au maximum de jusant
- Figure 10 - situation To + 48 - Etat général des fonds
- Figure 11 - situation To + 48 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 12 - situation To + 48 - Etat des fonds dans le secteur de la digue NE
- Figure 13 - situation To + 54 - Champs de courants au maximum de flot
- Figure 14 - situation To + 54 - Champs de courants au maximum de jusant
- Figure 15 - situation To + 54 - Etat général des fonds
- Figure 16 - situation To + 54 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 17 - situation To + 54 - Etat des fonds dans le secteur de la digue NE
- Figure 18 - situation To + 60 - Champs de courants au maximum de flot
- Figure 19 - situation To + 60 - Champs de courants au maximum de jusant
- Figure 20 - situation To + 60 - Etat général des fonds
- Figure 21 - situation To + 60 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 22 - situation To + 66 - Champs de courants au maximum de flot
- Figure 23 - situation To + 66 - Champs de courants au maximum de jusant
- Figure 24 - situation To + 66 - Etat général des fonds
- Figure 25 - situation To + 66 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 26 - situation To + 72 - Champs de courants aux alentours du maximum de flot
- Figure 27 - situation To + 72 - Champs de courants au maximum de jusant
- Figure 28 - situation To + 72 - Etat général des fonds
- Figure 29 - situation To + 72 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Planche photos 1 - Evolution des fonds pendant la construction du port
- Figure 30 - Evolution de la fosse d'érosion - profils en long
- Figure 31 - Evolution de la fosse d'érosion - Surfaces érodées
- Figure 32 - Evolution de la fosse d'érosion - Volumes érodés

Evolution des fonds après achèvement du port

- Figure 33 - Situation To + 84 - Etat général des fonds
- Figure 34 - situation To + 84 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 35 - situation To + 96 - Etat général des fonds
- Figure 36 - situation To + 96 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 37 - situation To + 132 - Etat général des fonds
- Figure 38 - situation To + 132 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Figure 39 - situation To + 192 - Etat général des fonds
- Figure 40 - situation To + 192 - Etat des fonds dans le secteur de la digue W
- Planche photos 2 - Evolution des fonds après achèvement du port



LABORATOIRE DE
RECHERCHES
HYDRAULIQUES
borgerhout anvers

Modèle : 387.S PORT DE ZEEBRUGGE
ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DE L'EVOLUTION DES FONDS

Figure : 1

Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation T₀ + 36

Légende

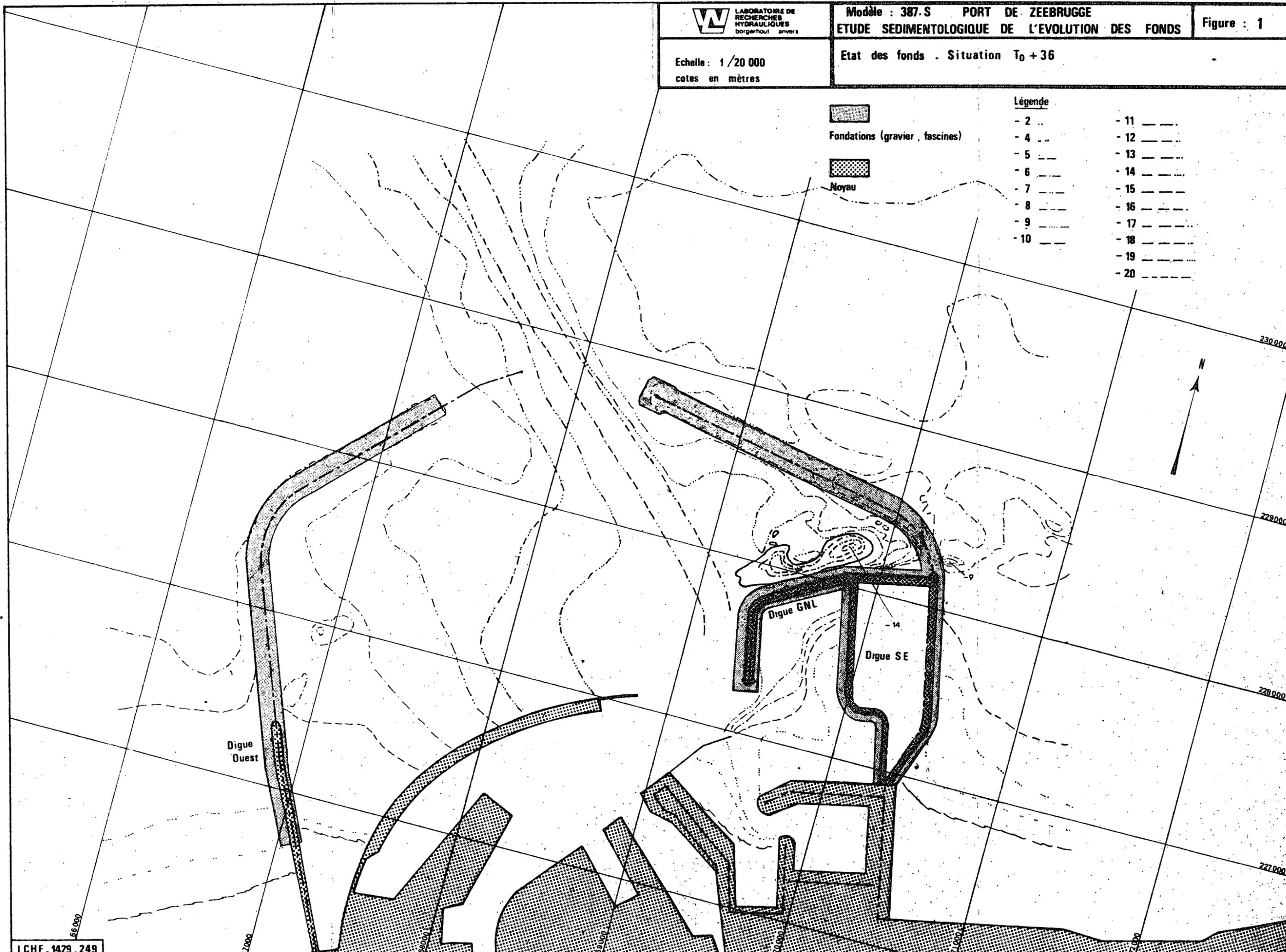


Fondations (gravier, fascines)



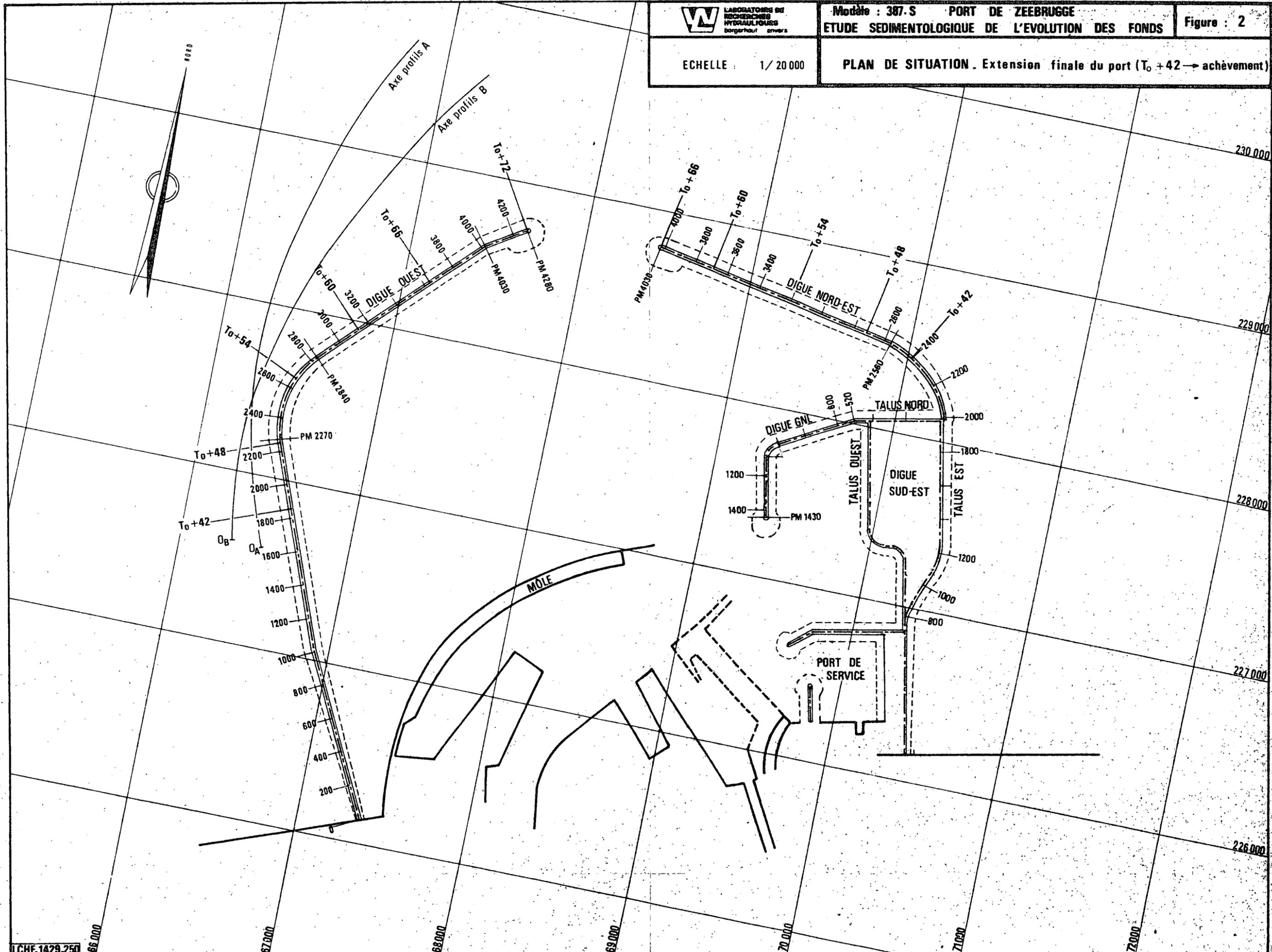
Noyau

- | | |
|---------|---------|
| - 2 .. | - 11 .. |
| - 4 .. | - 12 .. |
| - 5 .. | - 13 .. |
| - 6 .. | - 14 .. |
| - 7 .. | - 15 .. |
| - 8 .. | - 16 .. |
| - 9 .. | - 17 .. |
| - 10 .. | - 18 .. |
| | - 19 .. |
| | - 20 .. |



ECHELLE : 1 / 20 000

PLAN DE SITUATION . Extension finale du port (T₀ + 42 → achèvement)

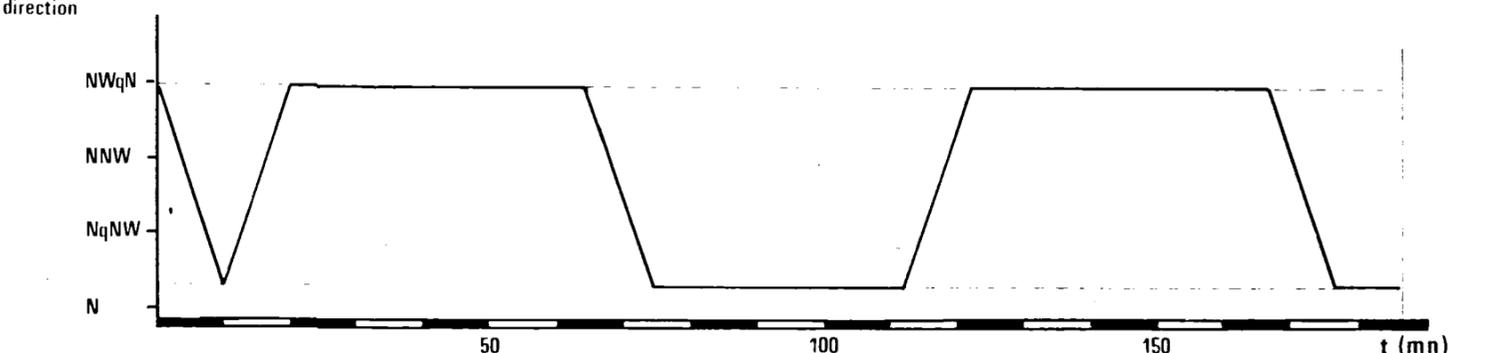
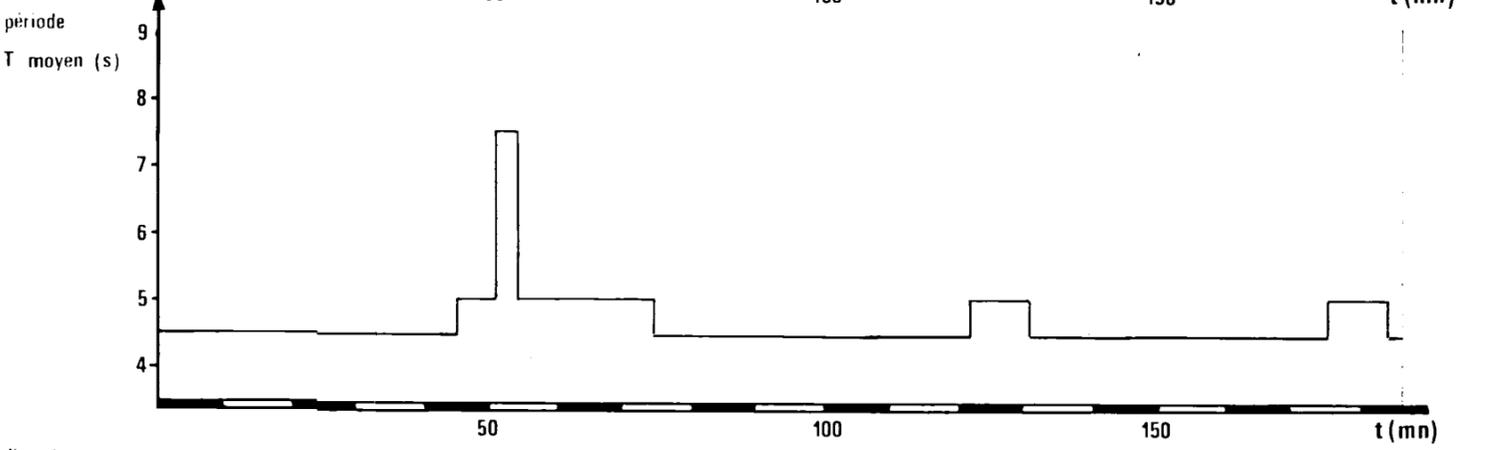
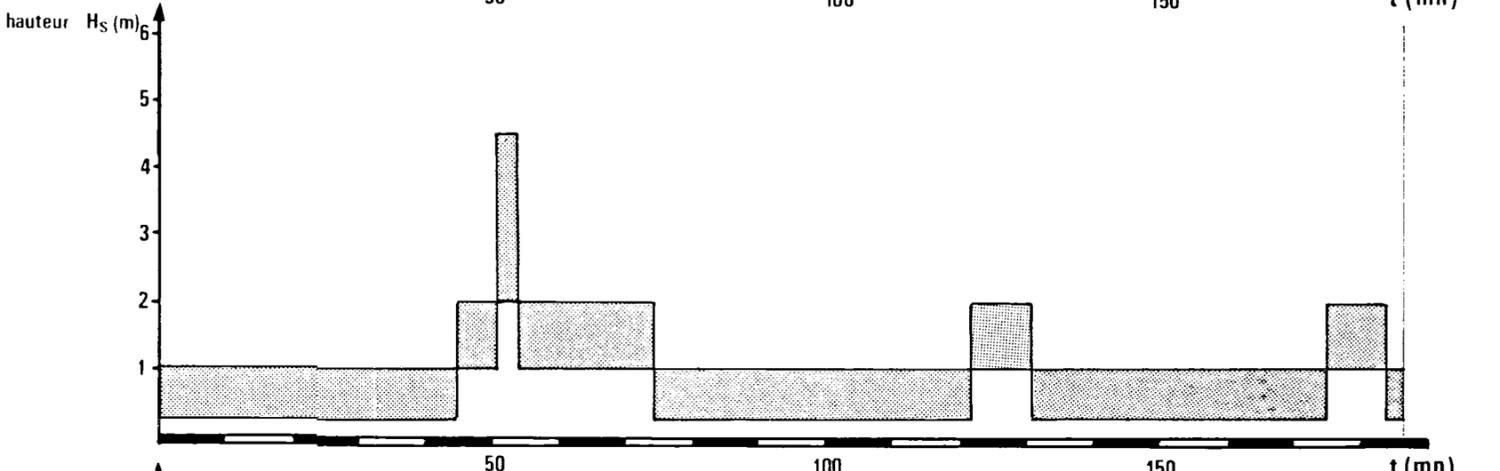
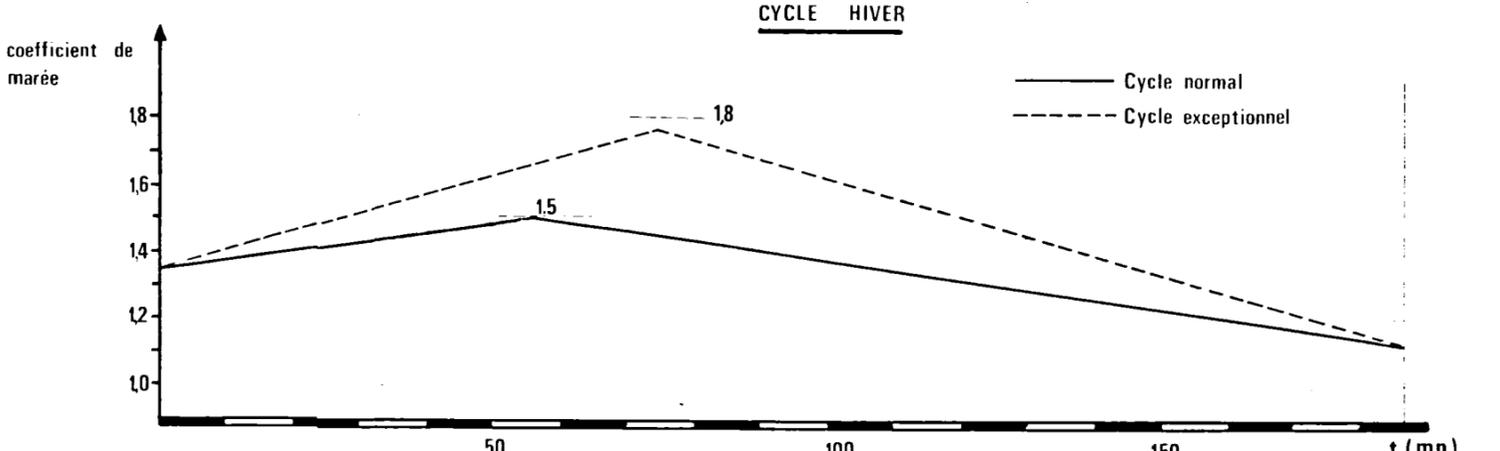
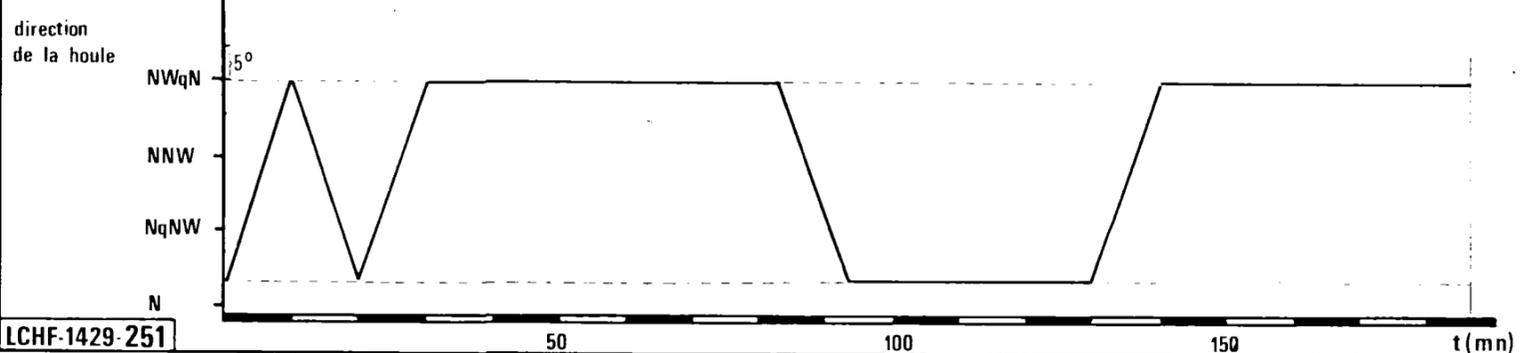
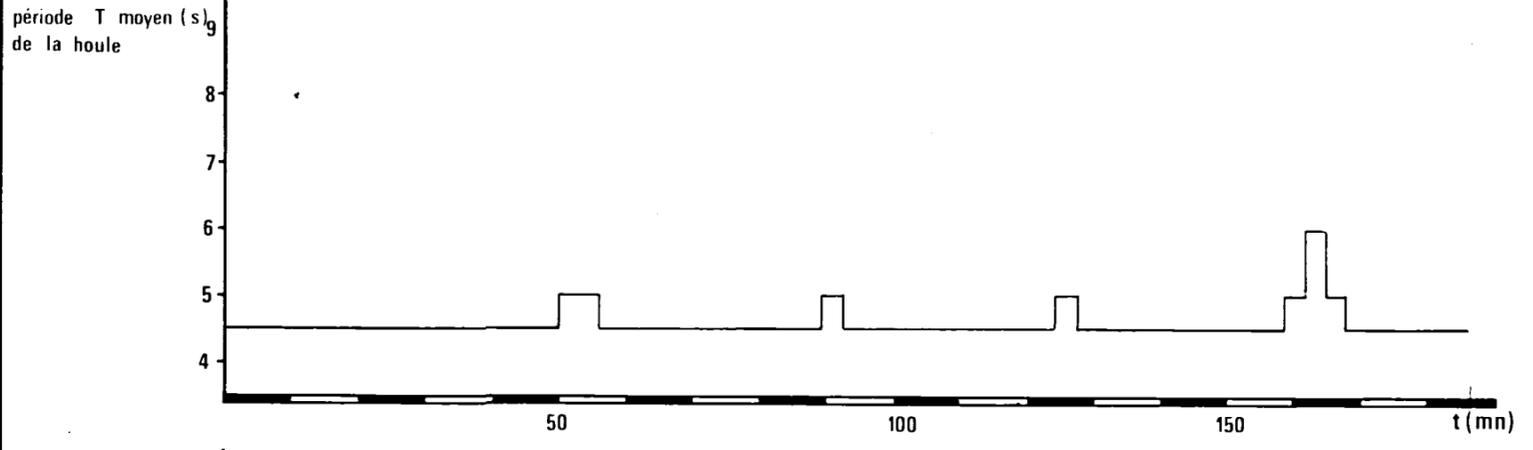
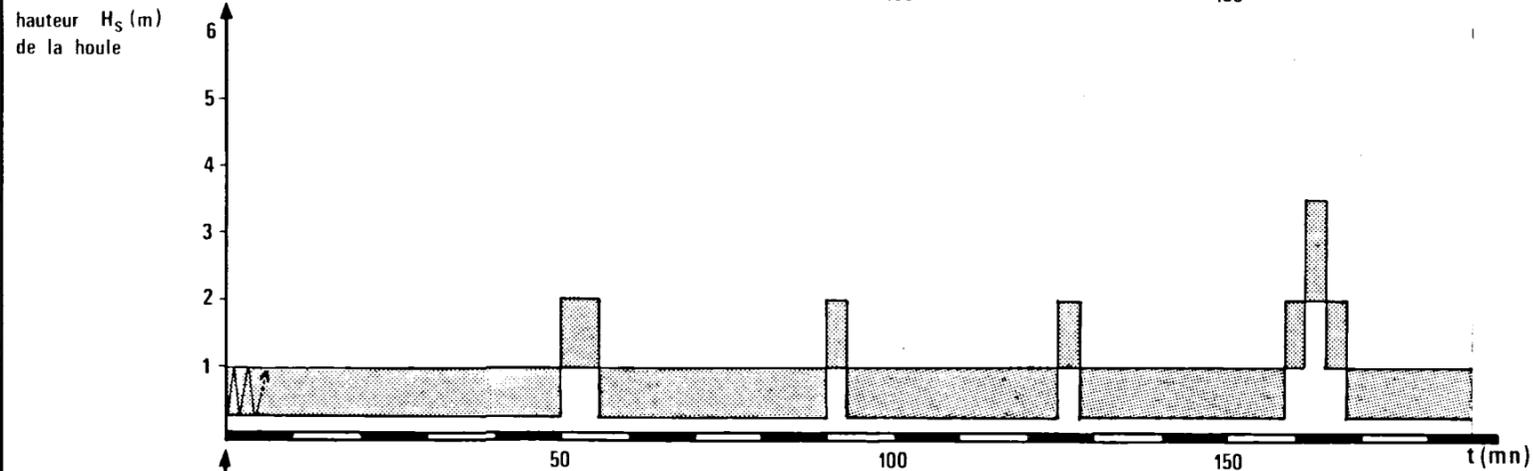
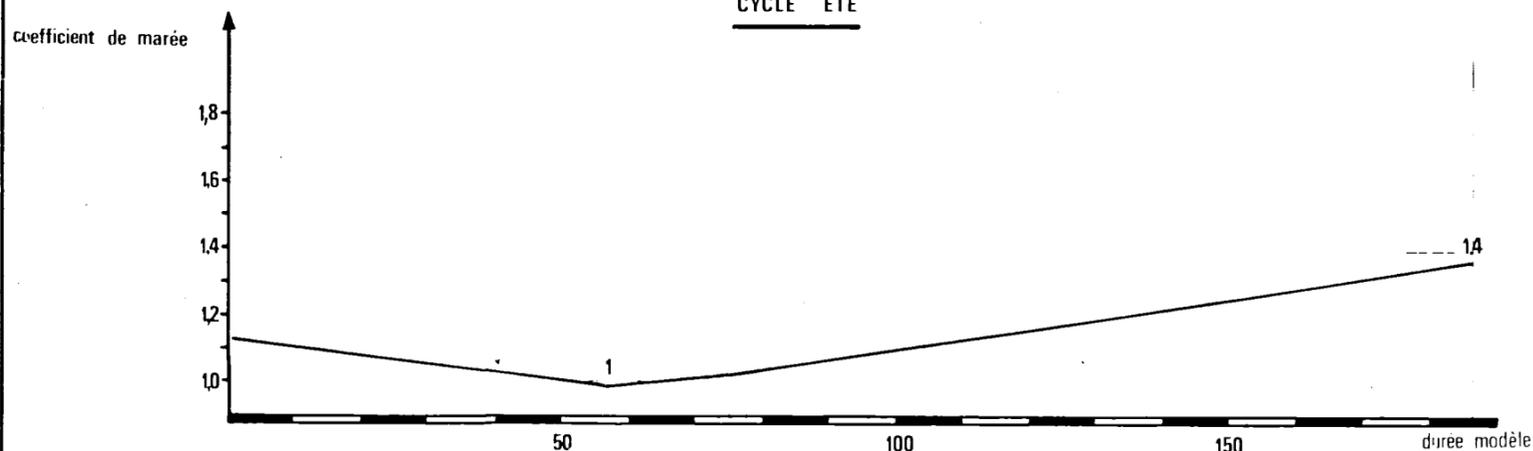


Cycles de houles et de marées

Durée modèle
10mn 20mn

Temps Nature correspondant
6h40' 13h20'

CYCLE ETE



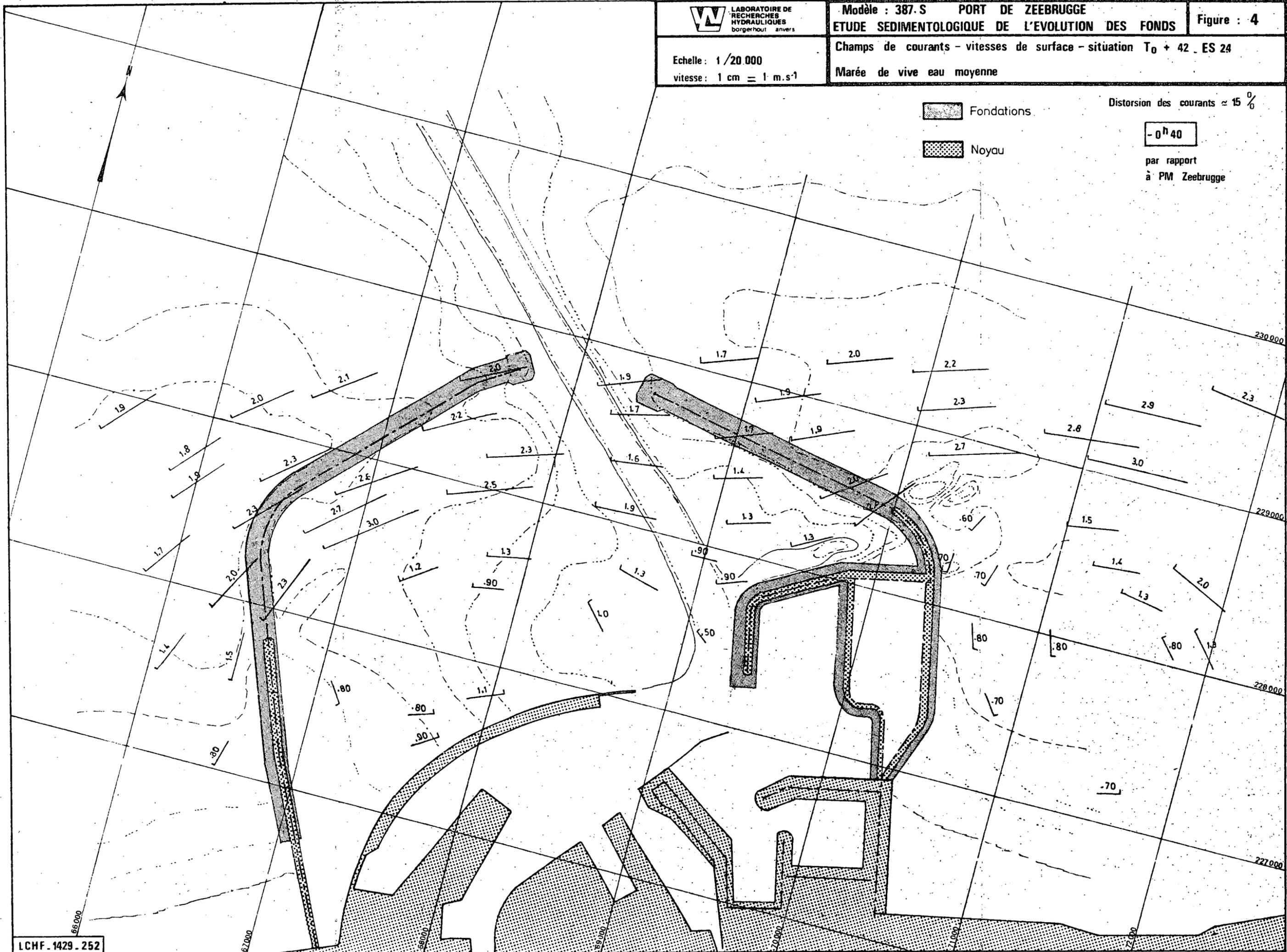
Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 42 ES 24
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %

- 0^h40
par rapport
à PM Zeebrugge

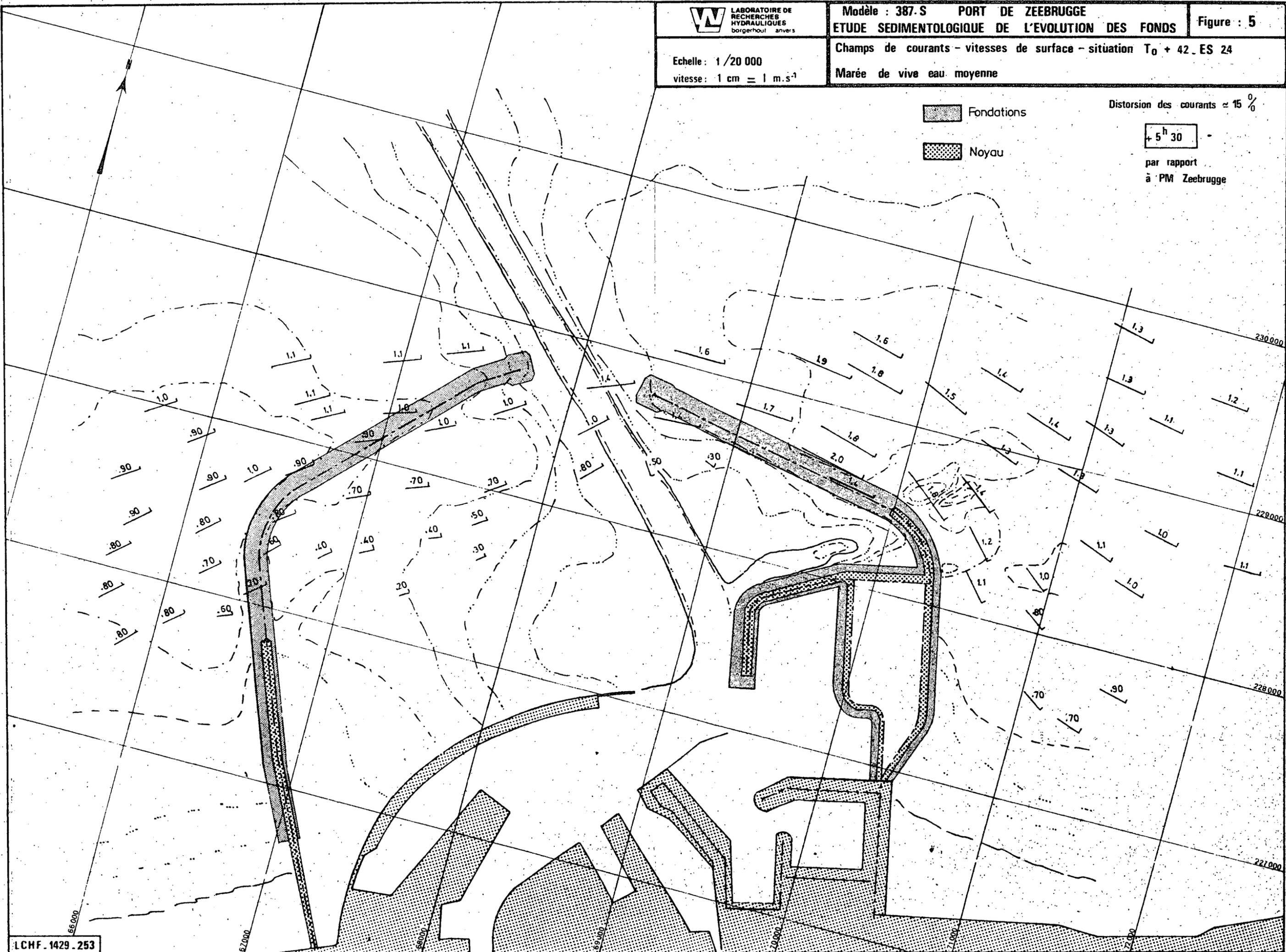


Echelle : 1 / 20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 42 ES 24
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %
+ 5^h 30
par rapport à PM Zeebrugge



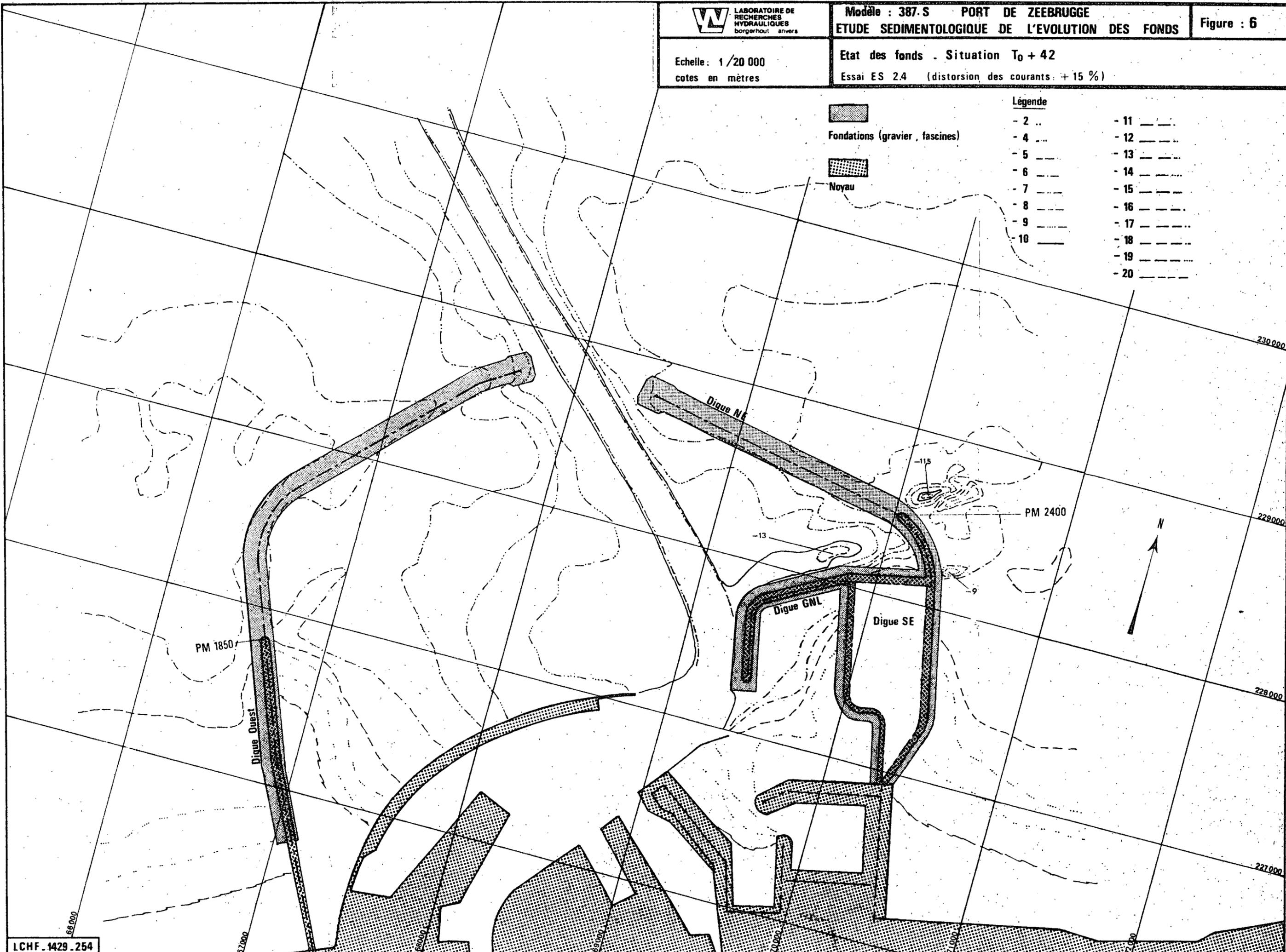
Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation T₀ + 42

Essai ES 2.4 (distorsion des courants : + 15 %)

Légende

- | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
|  | - 2 .. | - 11 _____ |
| Fondations (gravier, fascines) | - 4 | - 12 _____ |
|  | - 5 _____ | - 13 _____ |
| Noyau | - 6 _____ | - 14 _____ |
| | - 7 _____ | - 15 _____ |
| | - 8 _____ | - 16 _____ |
| | - 9 _____ | - 17 _____ |
| | - 10 _____ | - 18 _____ |
| | | - 19 _____ |
| | | - 20 _____ |



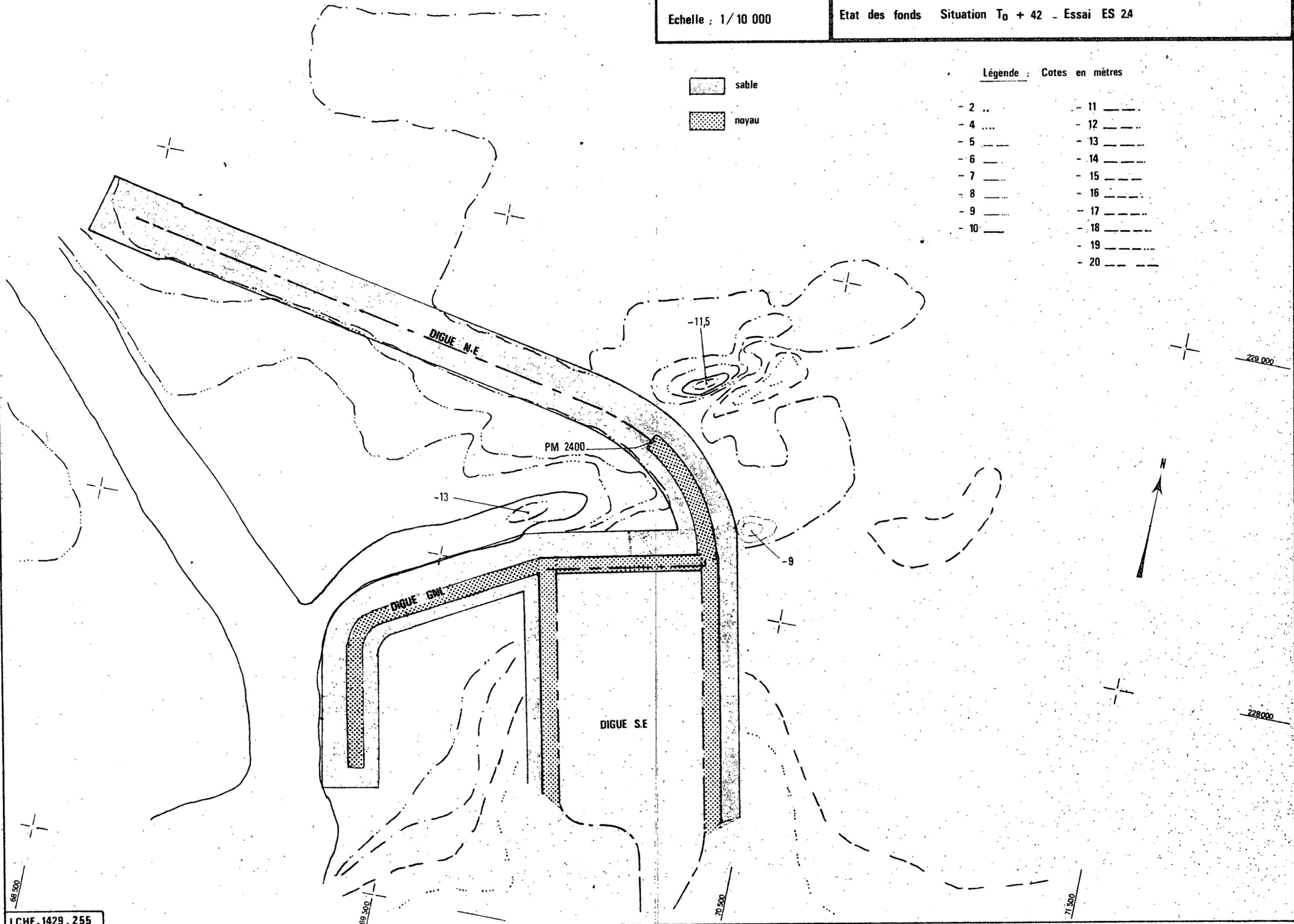
Echelle : 1/10 000

Etat des fonds Situation T₀ + 42 - Essai ES 24

 sable
 noyau

Légende : Cotes en mètres

| | |
|------------|------------|
| - 2 .. | - 11 _____ |
| - 4 | - 12 _____ |
| - 5 _____ | - 13 _____ |
| - 6 _____ | - 14 _____ |
| - 7 _____ | - 15 _____ |
| - 8 _____ | - 16 _____ |
| - 9 _____ | - 17 _____ |
| - 10 _____ | - 18 _____ |
| | - 19 _____ |
| | - 20 _____ |



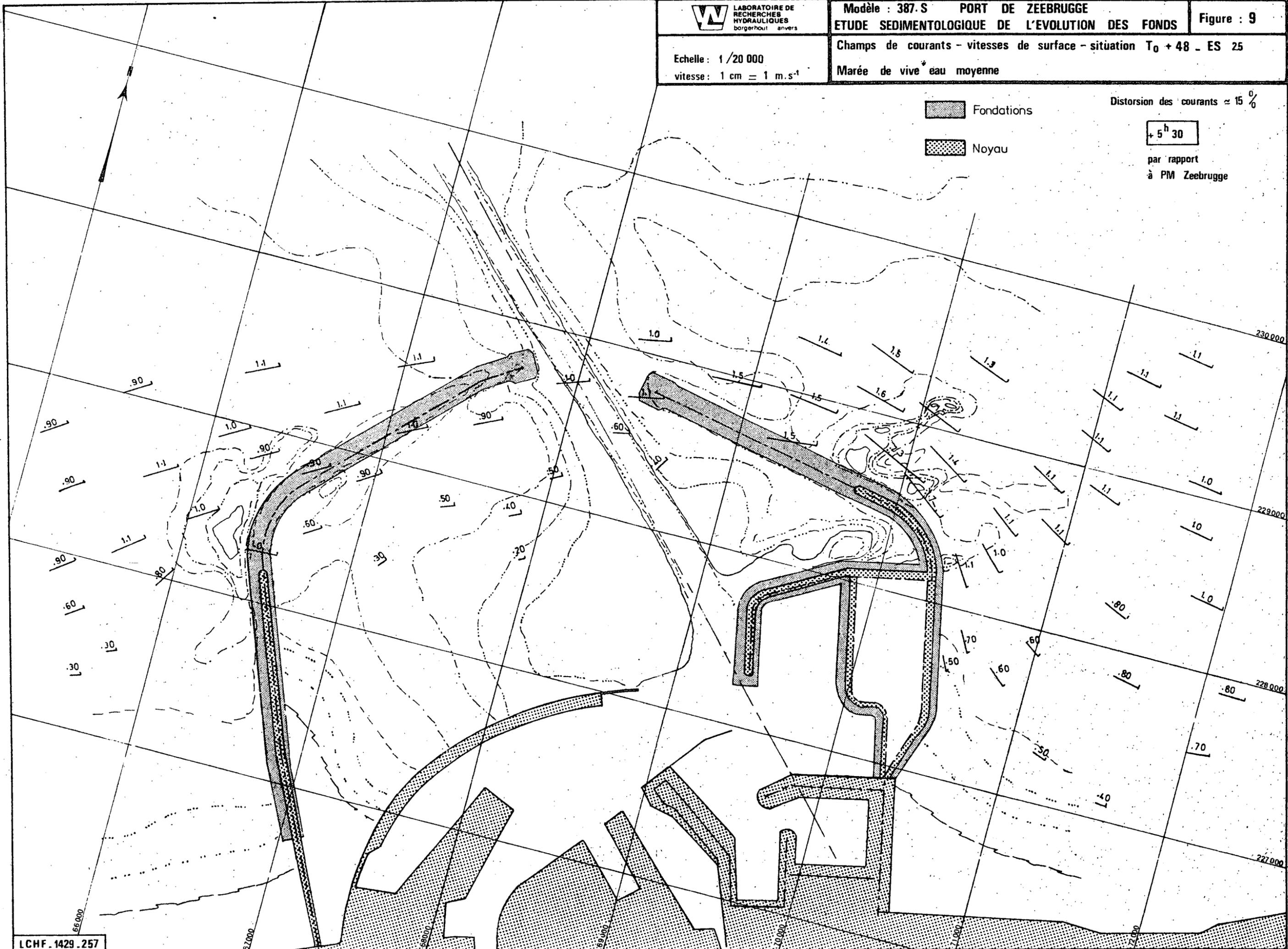
Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 48 - ES 25
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %

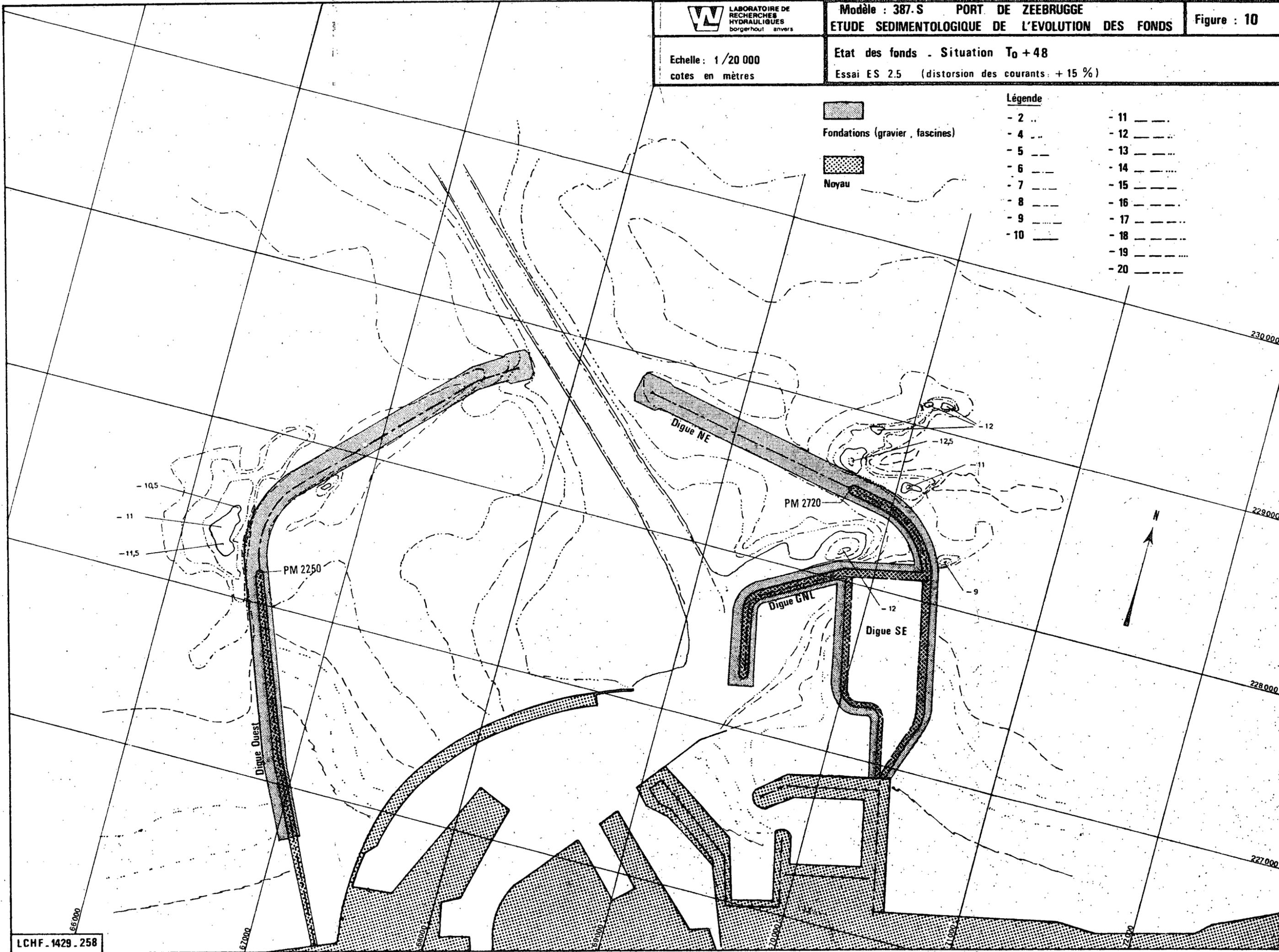
+ 5^h 30
par rapport
à PM Zeebrugge



Echelle : 1 / 20 000
 cotes en mètres

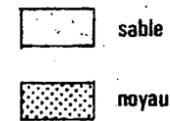
Etat des fonds - Situation T₀ + 48
 Essai ES 2.5 (distorsion des courants : + 15 %)

| Légende | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|  | - 2 .. |
|  | - 4 .. |
| | - 5 .. |
| | - 6 .. |
| | - 7 .. |
| | - 8 .. |
| | - 9 .. |
| | - 10 .. |
| | - 11 .. |
| | - 12 .. |
| | - 13 .. |
| | - 14 .. |
| | - 15 .. |
| | - 16 .. |
| | - 17 .. |
| | - 18 .. |
| | - 19 .. |
| | - 20 .. |



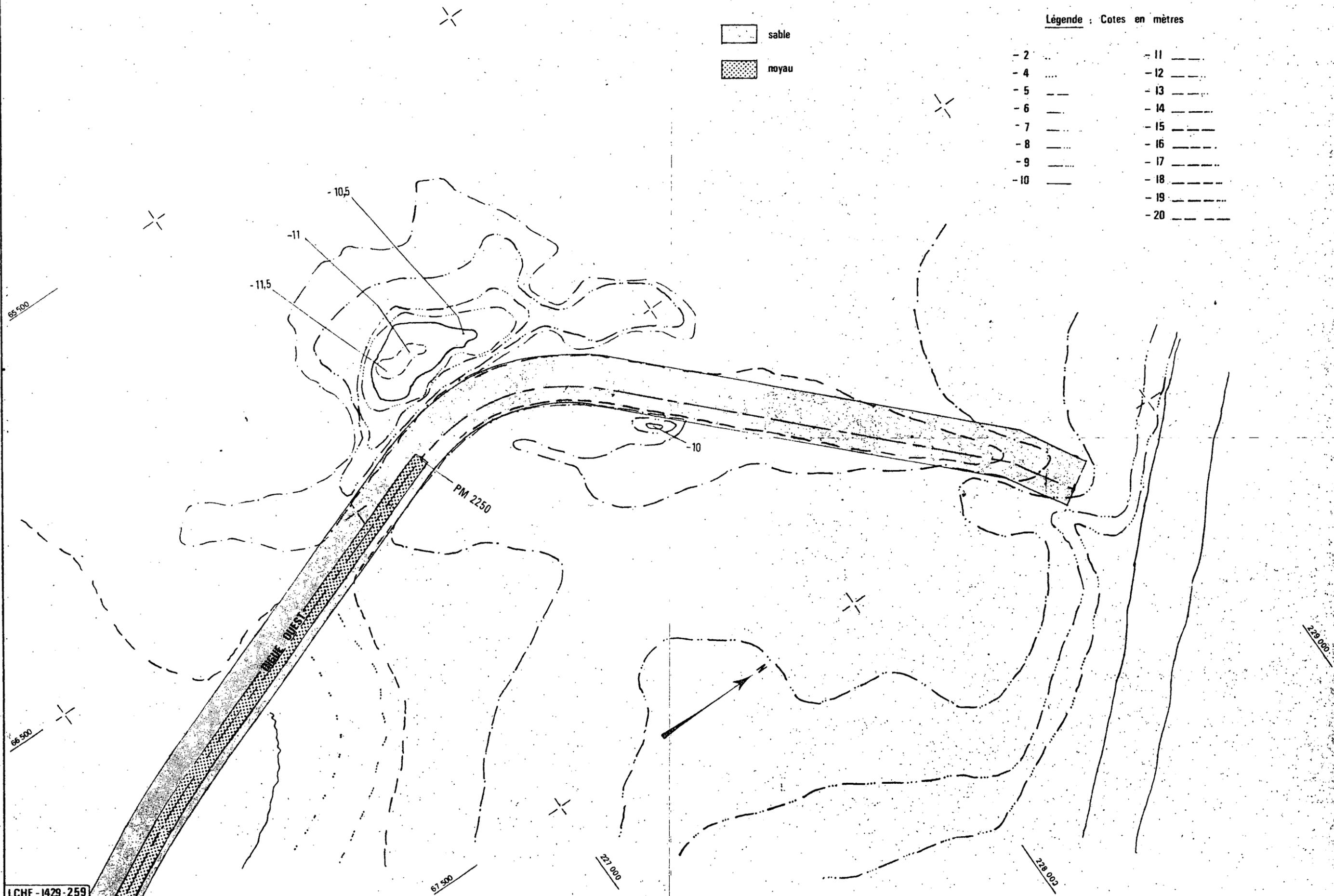
Echelle : 1/10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 48 - Essai ES 25



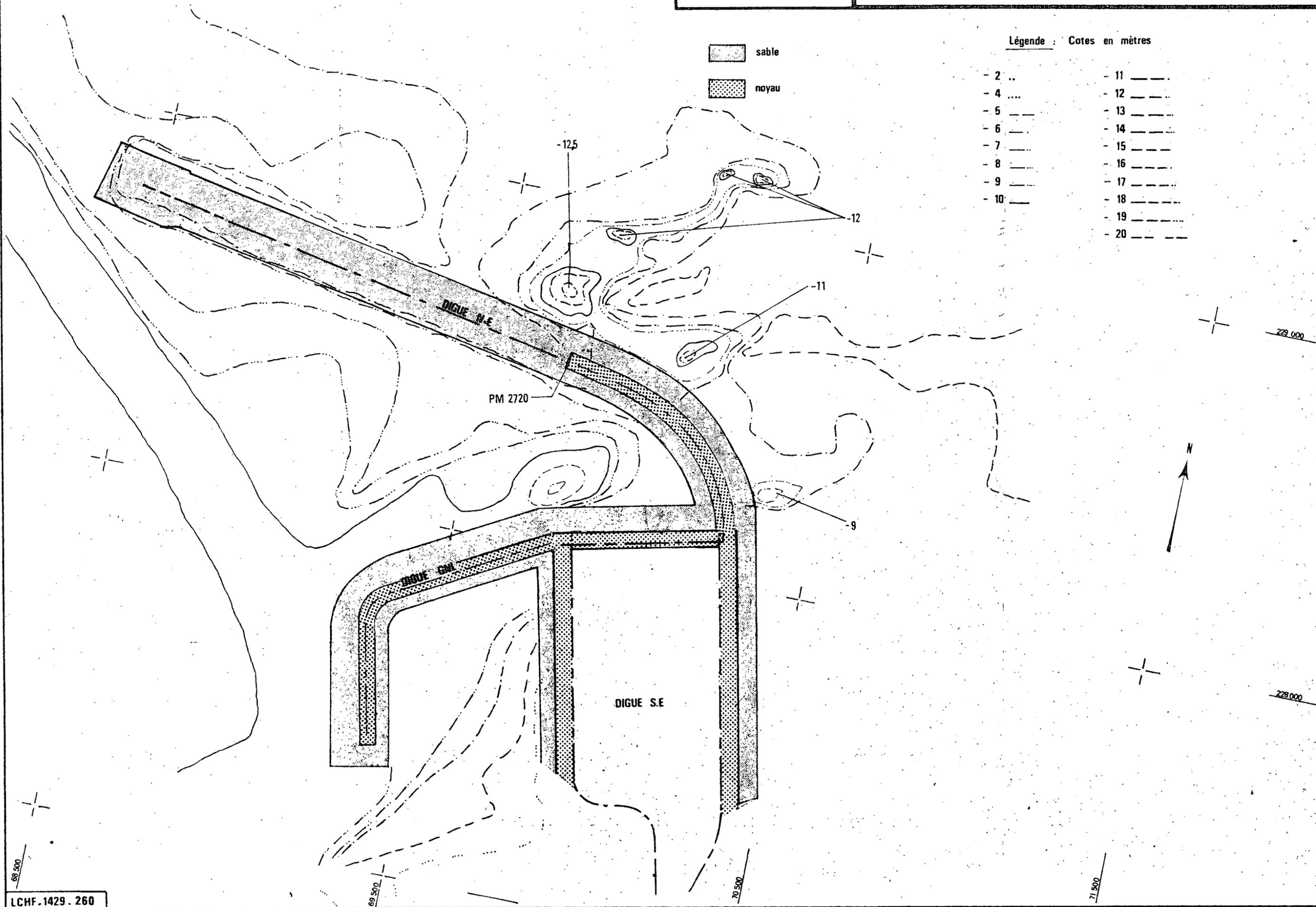
Légende : Cotes en mètres

| | | | |
|------|------|------|------|
| - 2 | ---- | - 11 | ---- |
| - 4 | ---- | - 12 | ---- |
| - 5 | ---- | - 13 | ---- |
| - 6 | ---- | - 14 | ---- |
| - 7 | ---- | - 15 | ---- |
| - 8 | ---- | - 16 | ---- |
| - 9 | ---- | - 17 | ---- |
| - 10 | ---- | - 18 | ---- |
| | | - 19 | ---- |
| | | - 20 | ---- |



Echelle : 1/10 000

Etat des fonds Situation T₀ + 48 - Essai ES 25



Légende : Cotes en mètres

- | | |
|-----------|------------|
| - 2 .. | - 11 _____ |
| - 4 | - 12 _____ |
| - 5 ____ | - 13 _____ |
| - 6 ____ | - 14 _____ |
| - 7 ____ | - 15 _____ |
| - 8 ____ | - 16 _____ |
| - 9 ____ | - 17 _____ |
| - 10 ____ | - 18 _____ |
| | - 19 _____ |
| | - 20 _____ |

Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 54 - ES 26
Marée de vive eau moyenne

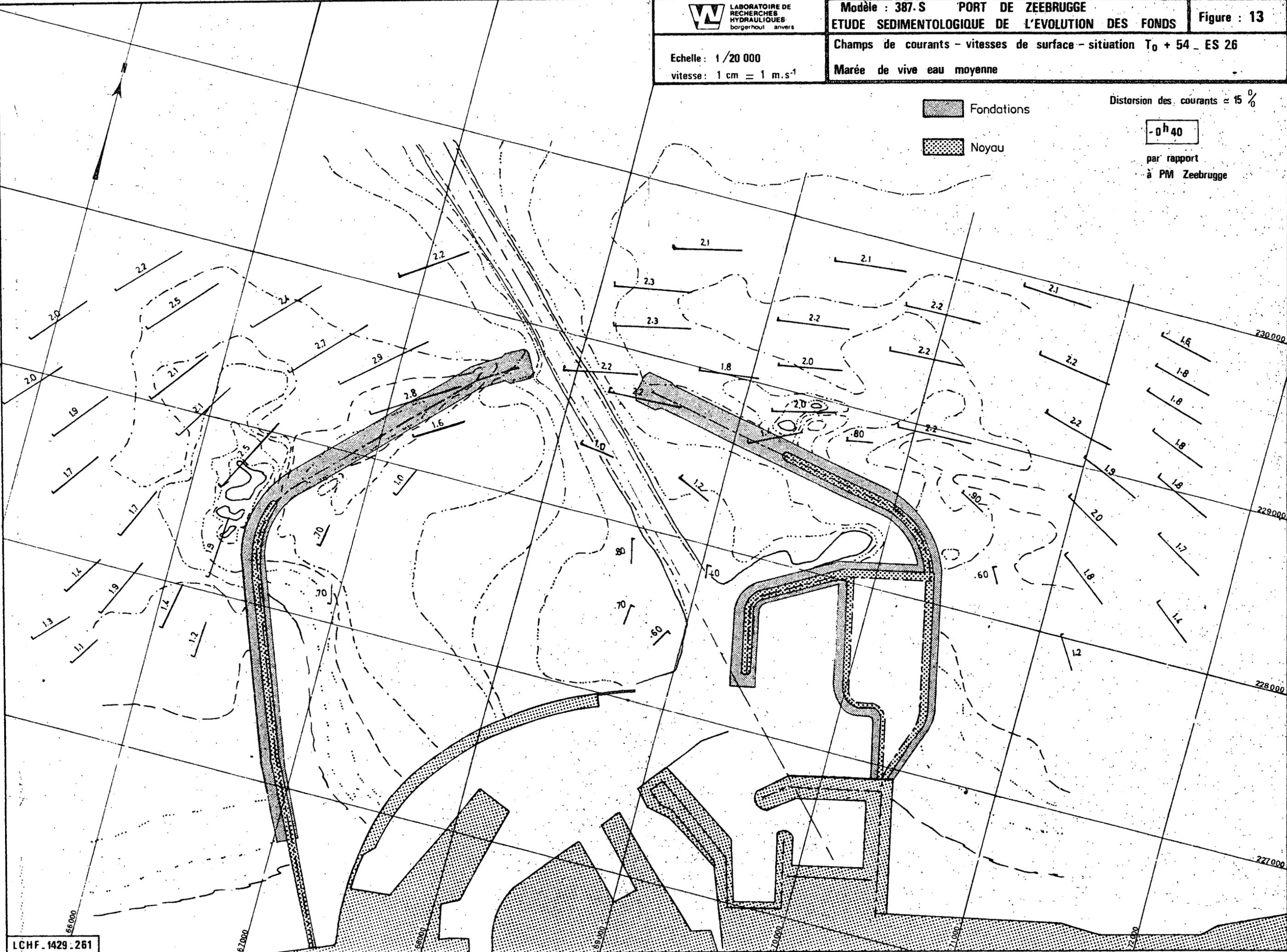
Fondations

Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %

- 0 h 40

par rapport
à PM Zeebrugge



Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 54 - ES 2.6

Marée de vive eau moyenne

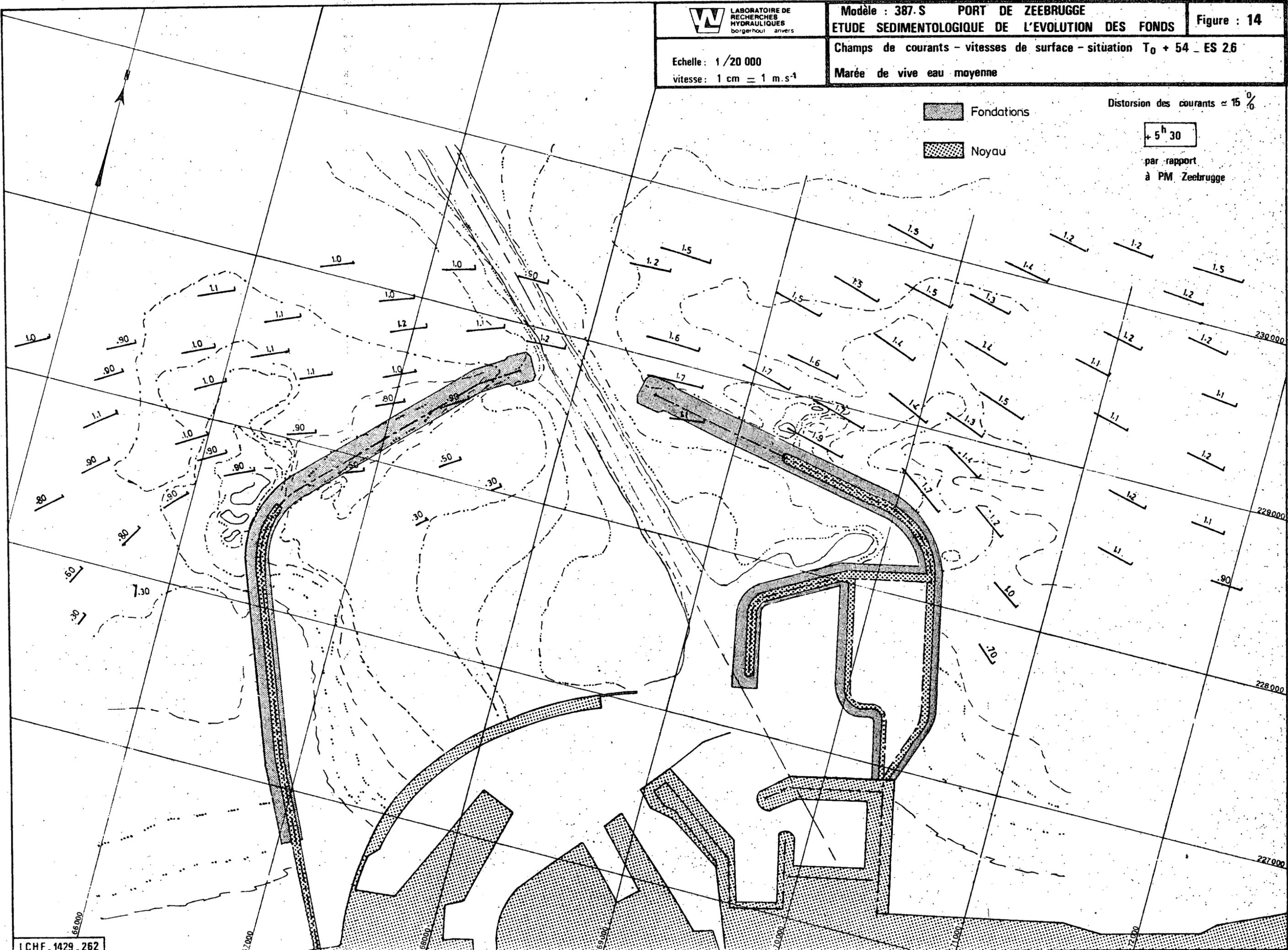
Fondations

Noyau

Distorsion des courants = 15 %

+ 5^h 30

par rapport à PM Zeebrugge



Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds . Situation T₀ + 54
Essai ES 2.6 (distorsion des courants : + 15 %)

Légende

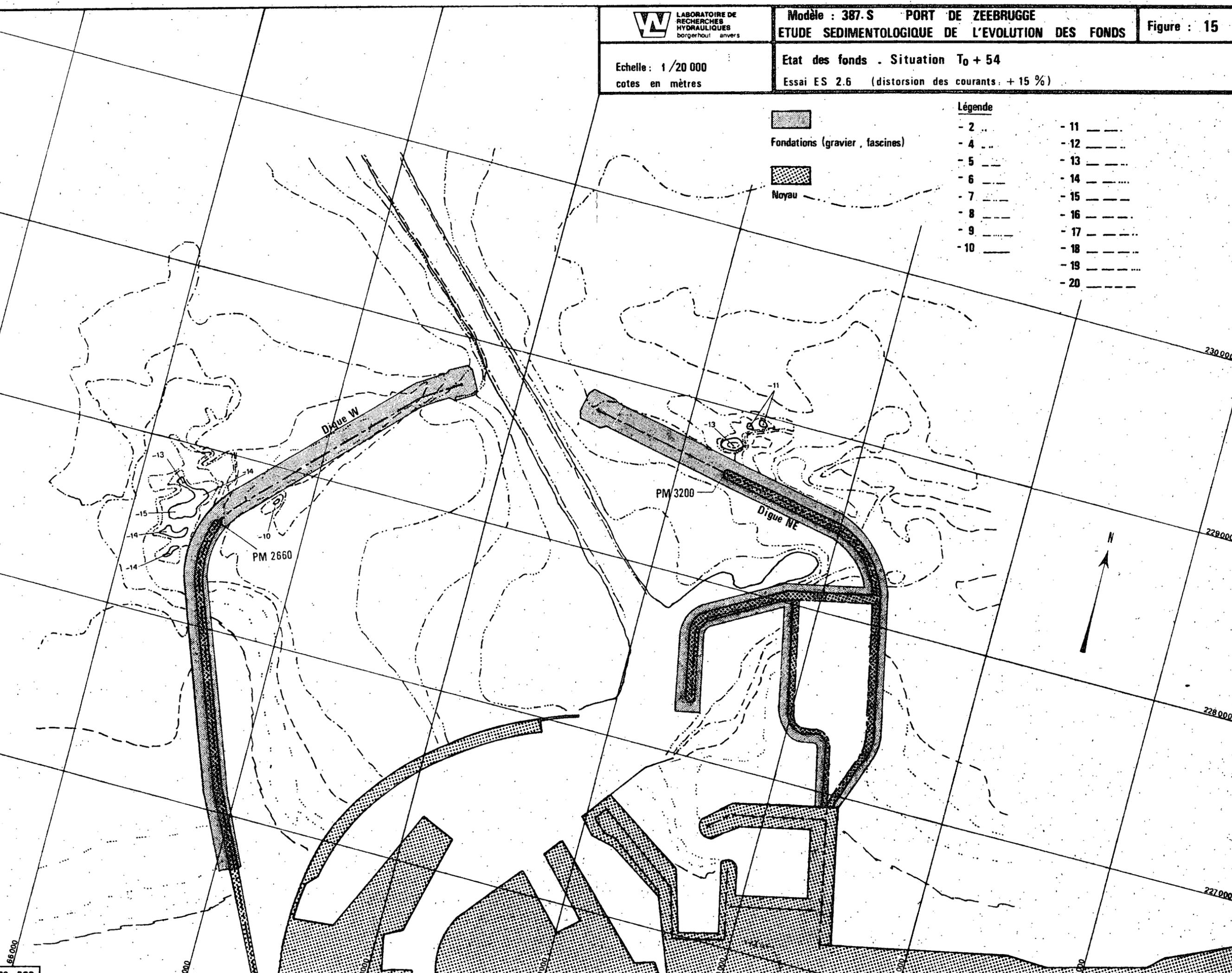


Fondations (gravier, fascines)



Noyau

- | | |
|----------|------|
| - 2 .. | - 11 |
| - 4 ... | - 12 |
| - 5 --- | - 13 |
| - 6 --- | - 14 |
| - 7 --- | - 15 |
| - 8 --- | - 16 |
| - 9 --- | - 17 |
| - 10 --- | - 18 |
| | - 19 |
| | - 20 |



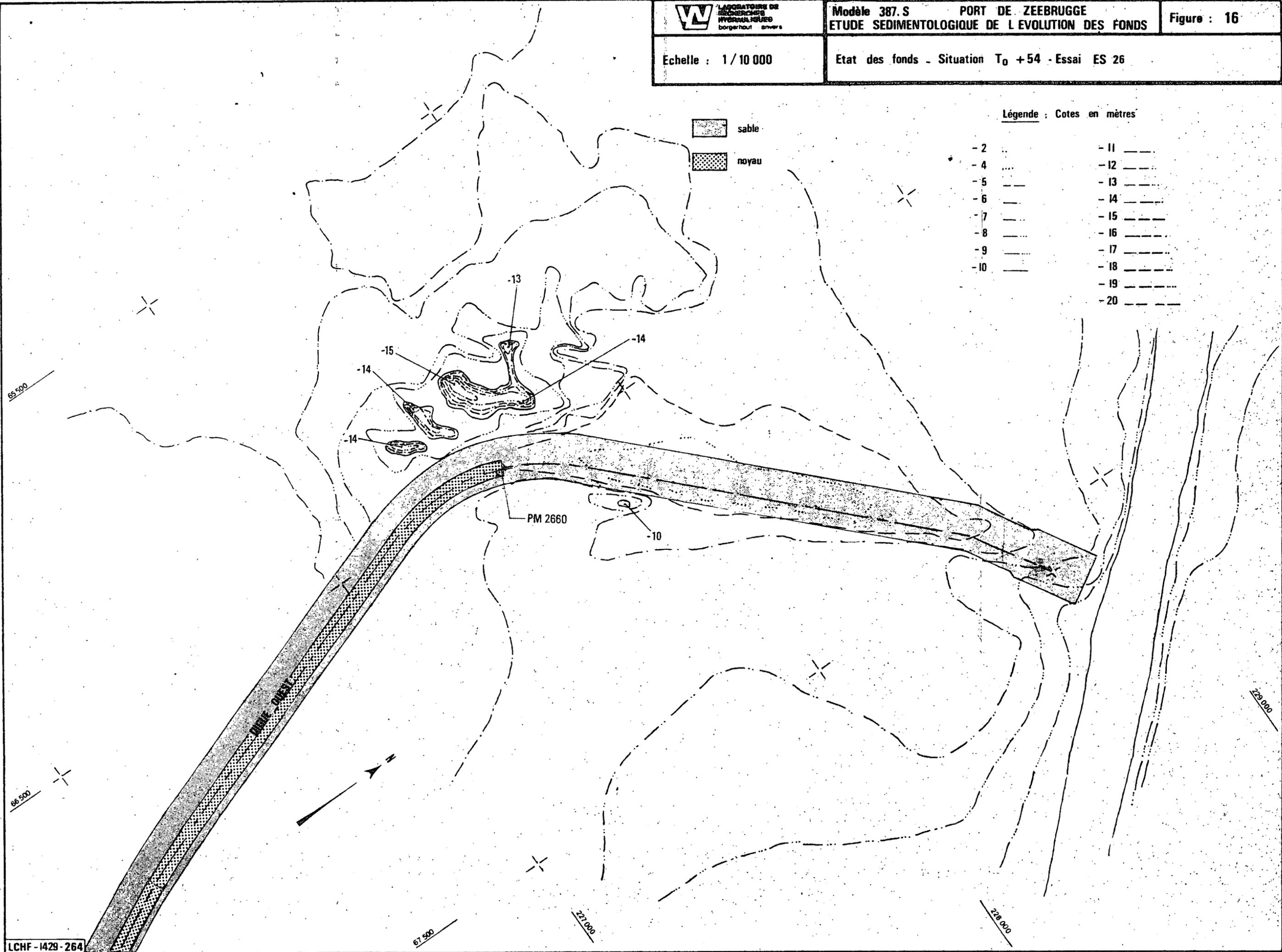
Echelle : 1/10 000

Etat des fonds - Situation T₀ +54 - Essai ES 26

Légende : Cotes en mètres

 sable
 noyau

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| - 2 | ..... | - 11 | ----- |
| - 4 | ..... | - 12 | ----- |
| - 5 | ----- | - 13 | ----- |
| - 6 | ----- | - 14 | ----- |
| - 7 | ----- | - 15 | ----- |
| - 8 | ----- | - 16 | ----- |
| - 9 | ----- | - 17 | ----- |
| - 10 | ----- | - 18 | ----- |
| | | - 19 | ----- |
| | | - 20 | ----- |



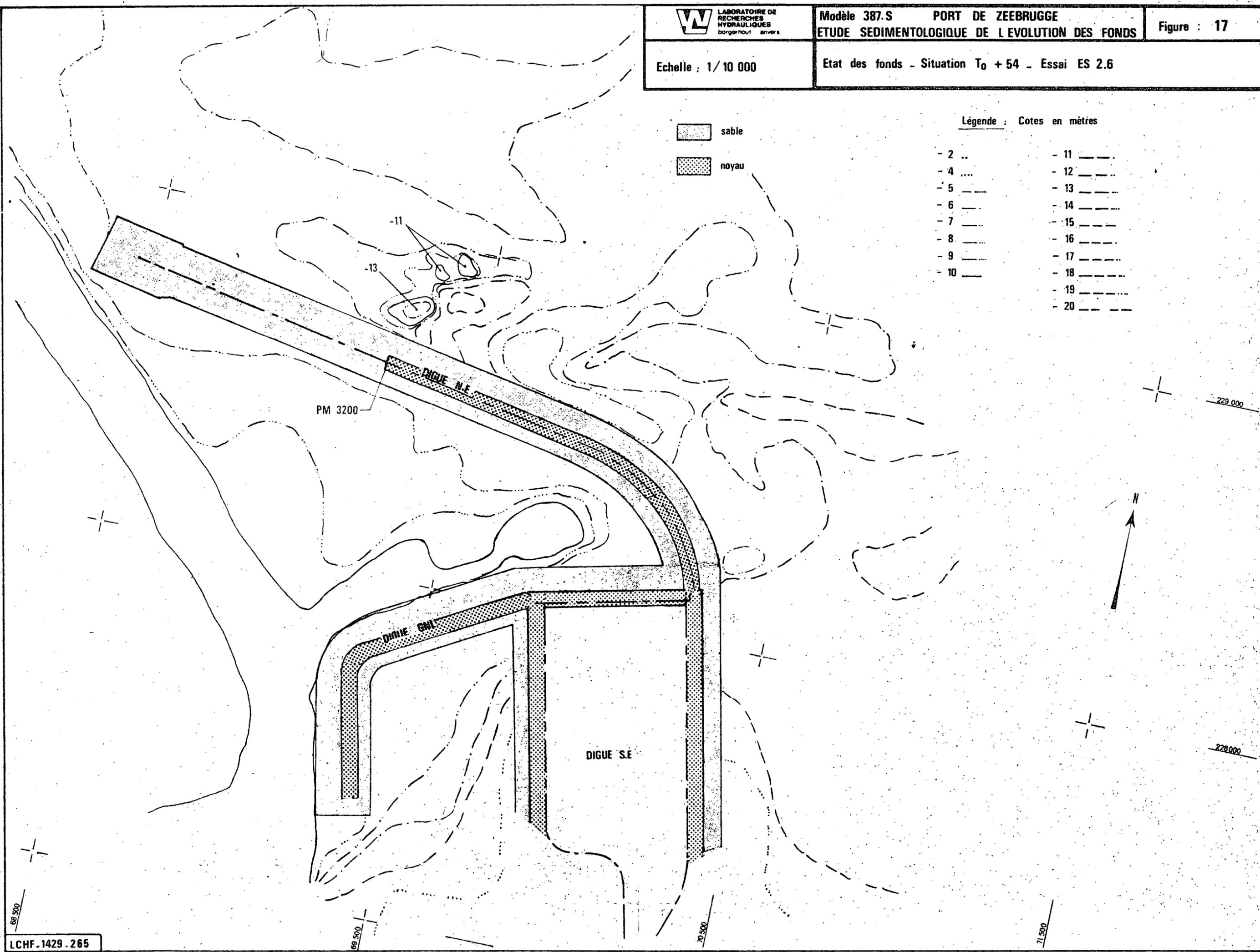
Echelle : 1/10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 54 - Essai ES 2.6

Légende : Cotes en mètres

| | |
|------------|------------|
| - 2 .. | - 11 _____ |
| - 4 | - 12 _____ |
| - 5 _____ | - 13 _____ |
| - 6 _____ | - 14 _____ |
| - 7 _____ | - 15 _____ |
| - 8 _____ | - 16 _____ |
| - 9 _____ | - 17 _____ |
| - 10 _____ | - 18 _____ |
| | - 19 _____ |
| | - 20 _____ |

 sable
 noyau

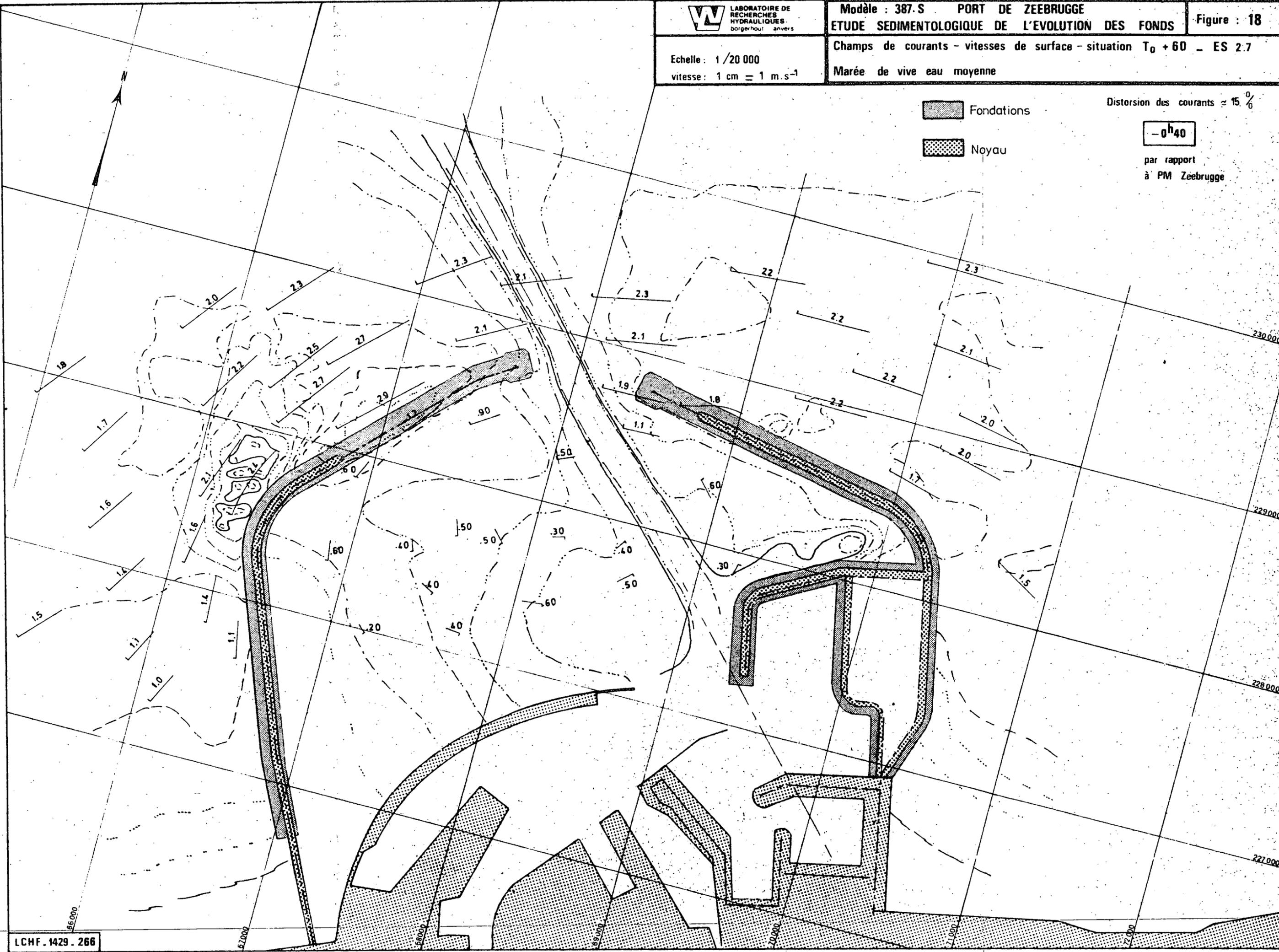


Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 60 - ES 2.7
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

Distorsion des courants ≈ 15%
-0^h40
par rapport à PM Zeebrugge

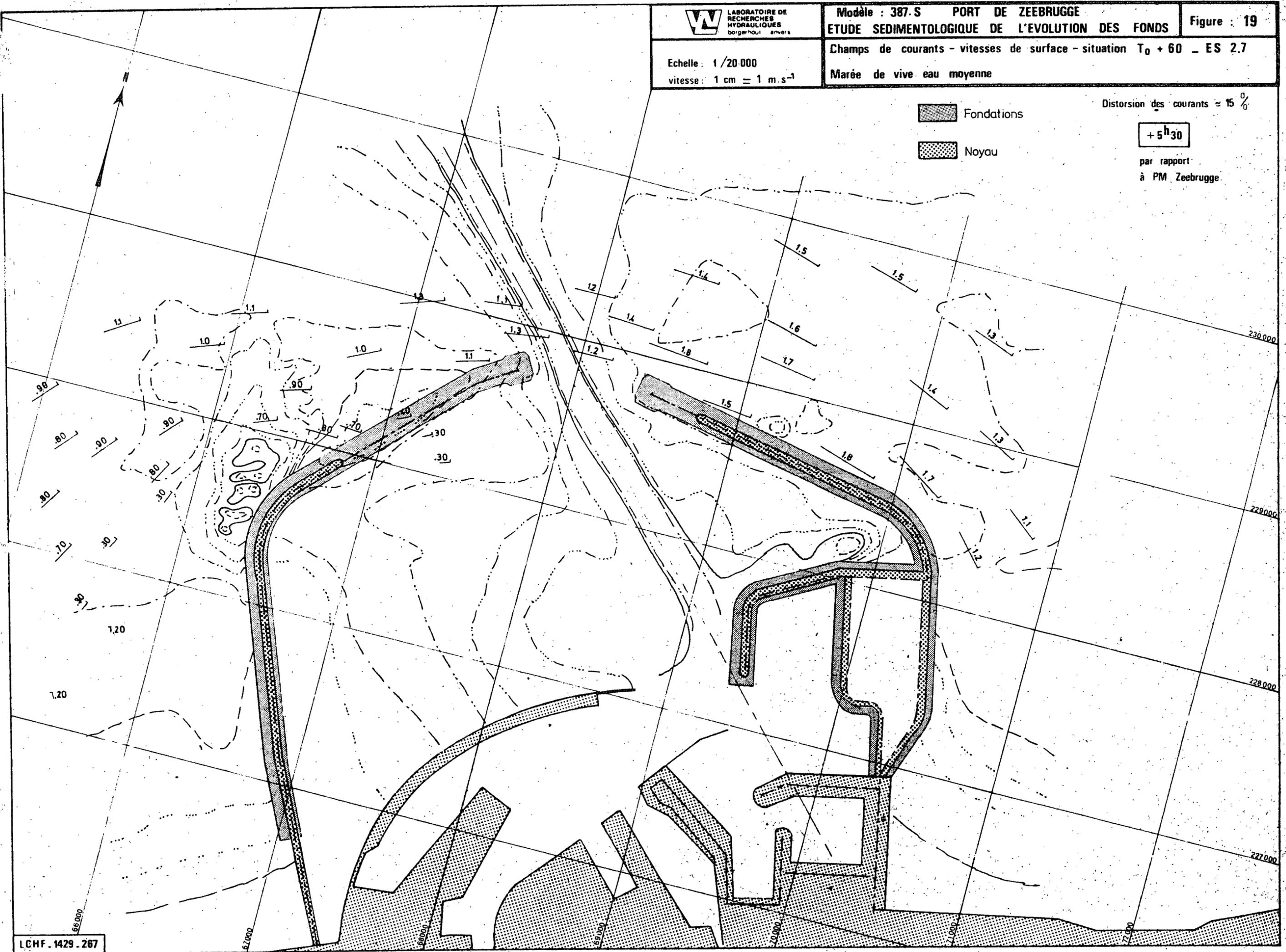


Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 60 - ES 2.7
Marée de vive eau moyenne

 Fondations
 Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %
+ 5^h30
par rapport à PM Zeebrugge



Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation T₀ + 60
Essai ES 2.7 (distorsion des courants : + 15 %)

Légende

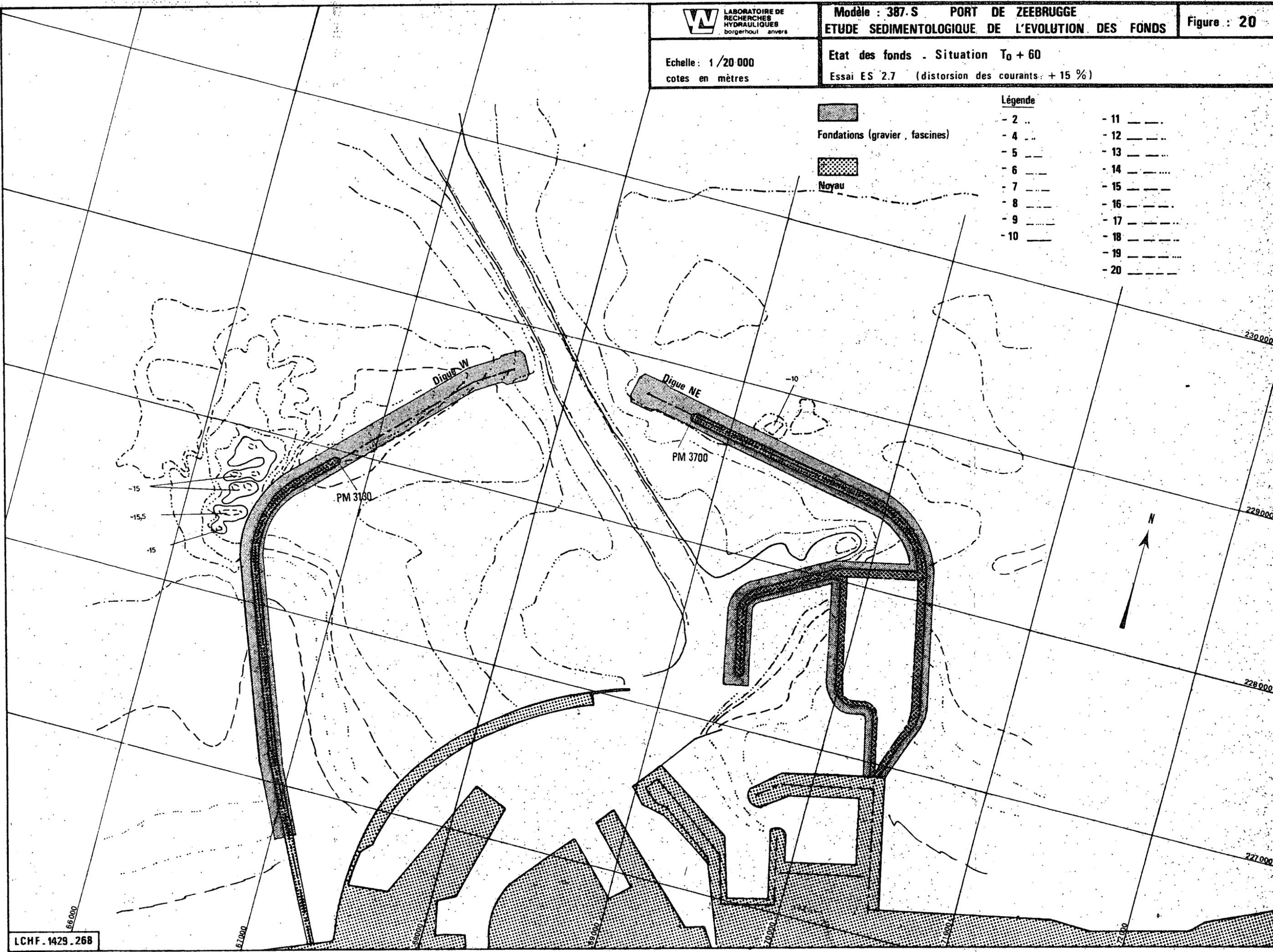


Fondations (gravier, fascines)



Noyau

- | | |
|----------|------|
| - 2 .. | - 11 |
| - 4 ... | - 12 |
| - 5 --- | - 13 |
| - 6 --- | - 14 |
| - 7 --- | - 15 |
| - 8 --- | - 16 |
| - 9 --- | - 17 |
| - 10 --- | - 18 |
| | - 19 |
| | - 20 |



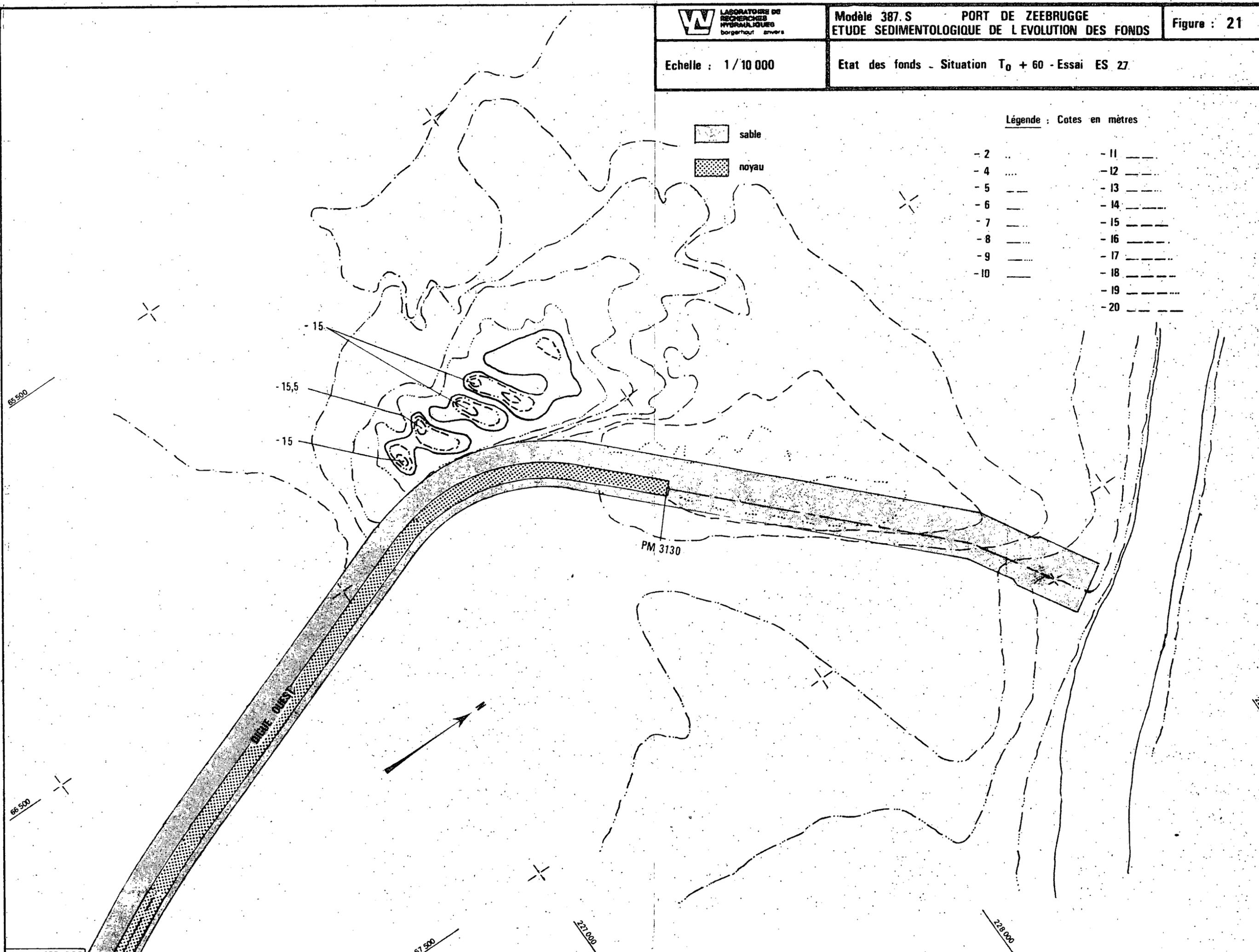
Echelle : 1 / 10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 60 - Essai ES 27

Légende : Cotes en mètres

 sable
 noyau

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| - 2 | ..... | - 11 | ..... |
| - 4 | ..... | - 12 | ..... |
| - 5 | ..... | - 13 | ..... |
| - 6 | ..... | - 14 | ..... |
| - 7 | ..... | - 15 | ..... |
| - 8 | ..... | - 16 | ..... |
| - 9 | ..... | - 17 | ..... |
| - 10 | ..... | - 18 | ..... |
| | | - 19 | ..... |
| | | - 20 | ..... |



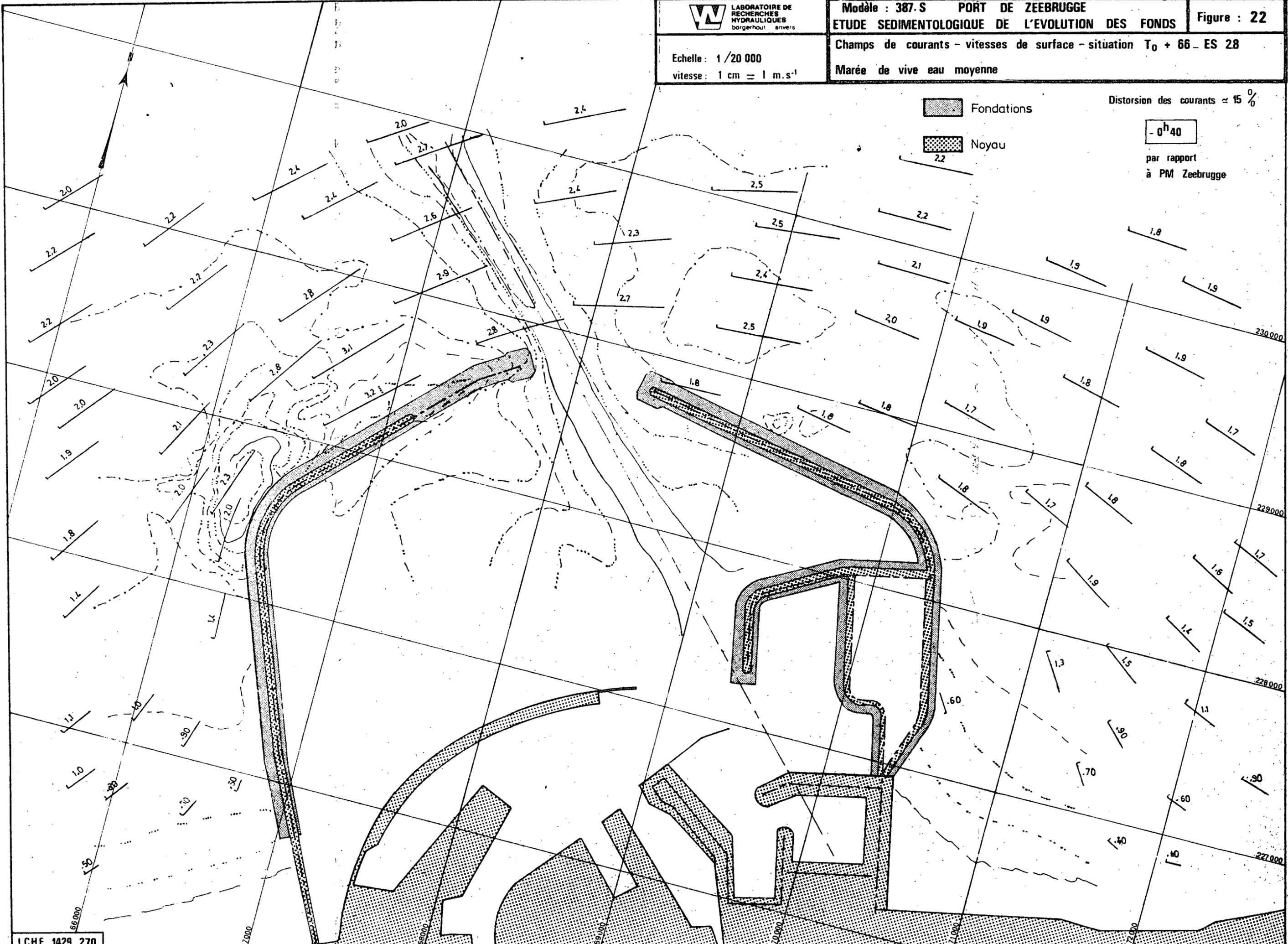
Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 66 - ES 28
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %

- 0^h40
par rapport
à PM Zeebrugge

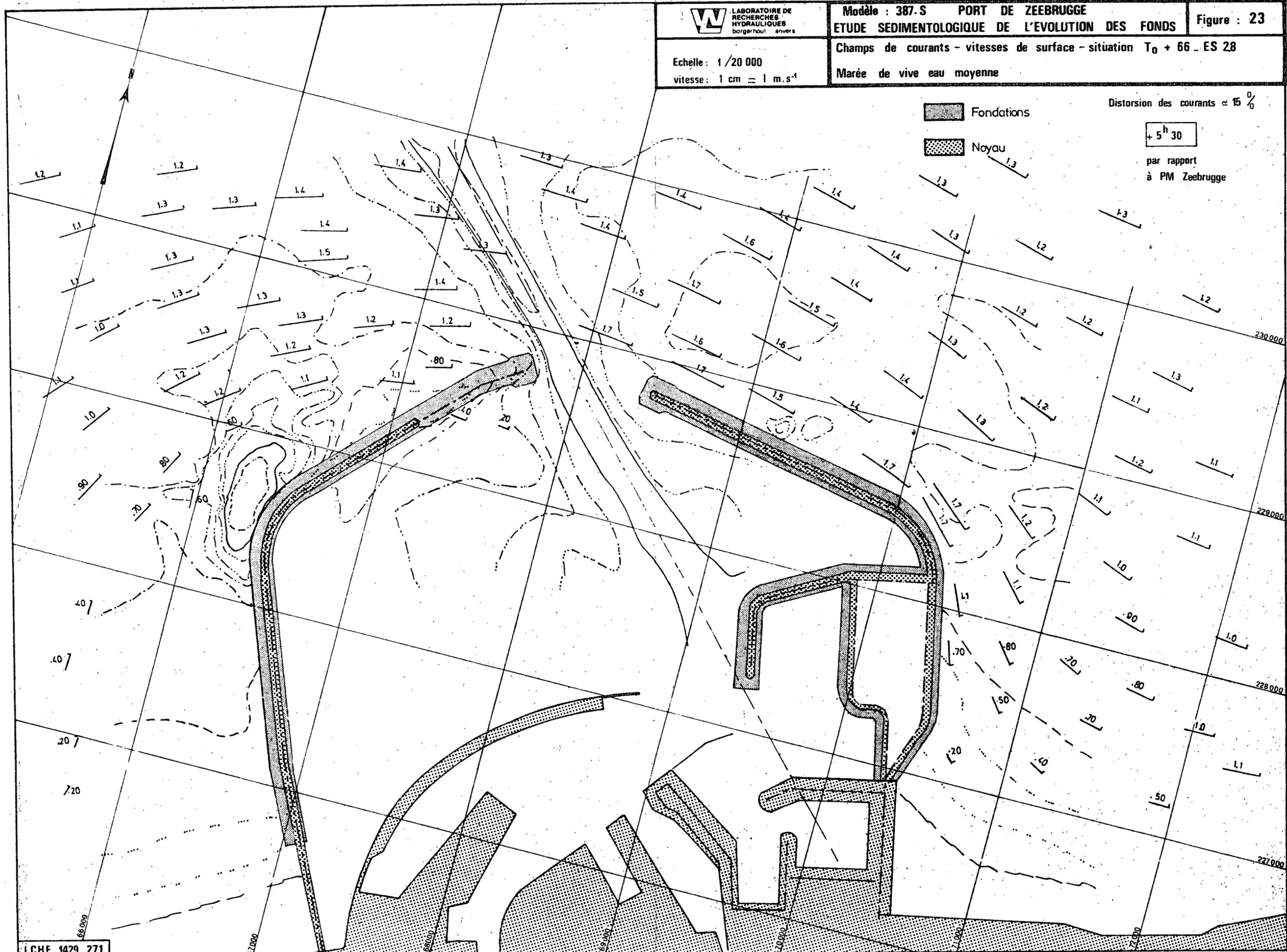


Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 66 - ES 28
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

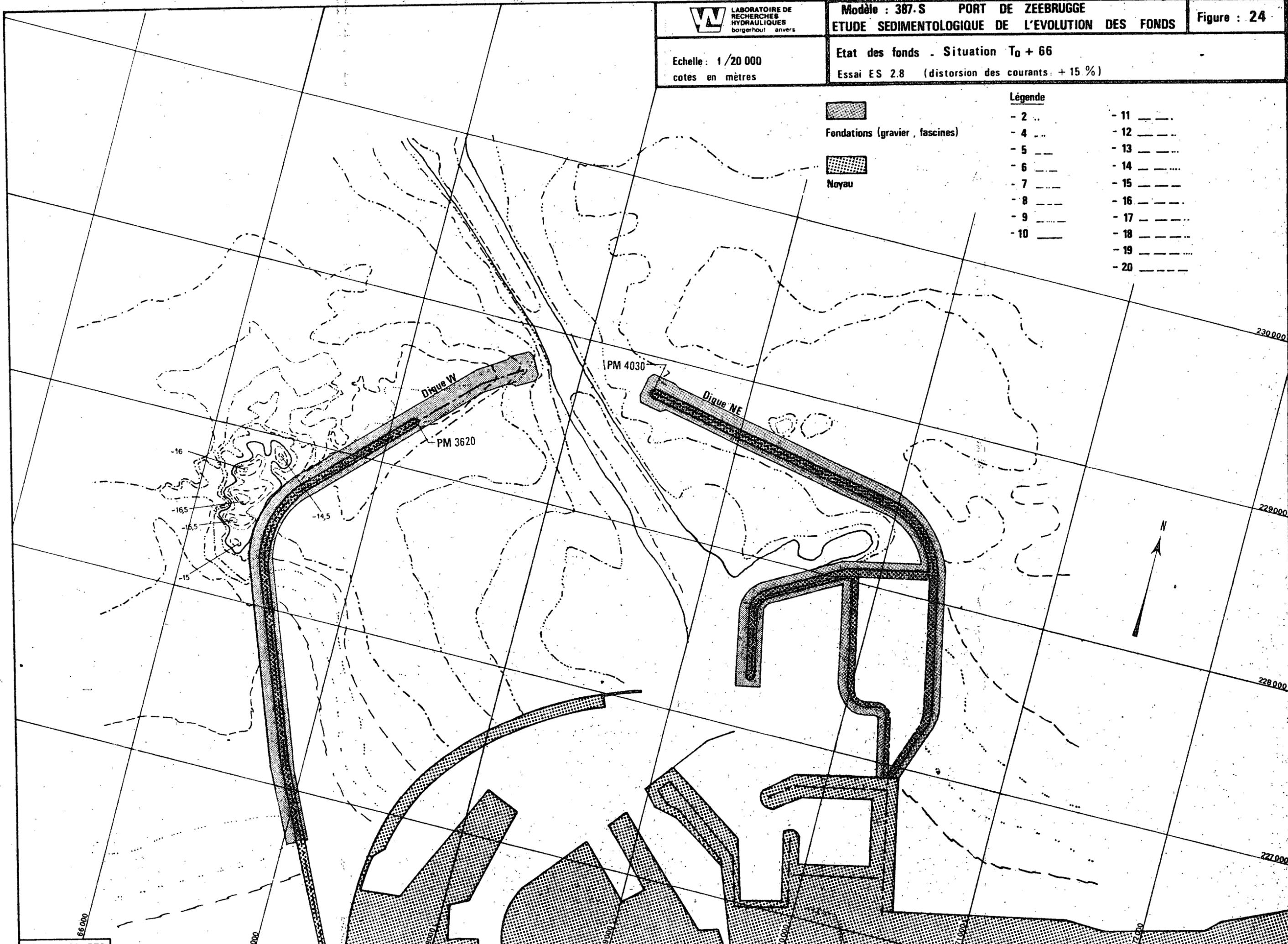
Distorsion des courants ≈ 15 %
+ 5^h 30
par rapport à PM Zeebrugge



Echelle : 1/20 000
 cotes en mètres

Etat des fonds - Situation T₀ + 66
 Essai ES 2.8 (distorsion des courants : + 15 %)

| Légende | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|  | - 2 .. |
| Fondations (gravier, fascines) | - 4 ... |
|  | - 5 --- |
| Noyau | - 6 --- |
| | - 7 - - - - |
| | - 8 - - - - |
| | - 9 - - - - |
| | - 10 - - - - |
| | - 11 - - - - |
| | - 12 - - - - |
| | - 13 - - - - |
| | - 14 - - - - |
| | - 15 - - - - |
| | - 16 - - - - |
| | - 17 - - - - |
| | - 18 - - - - |
| | - 19 - - - - |
| | - 20 - - - - |



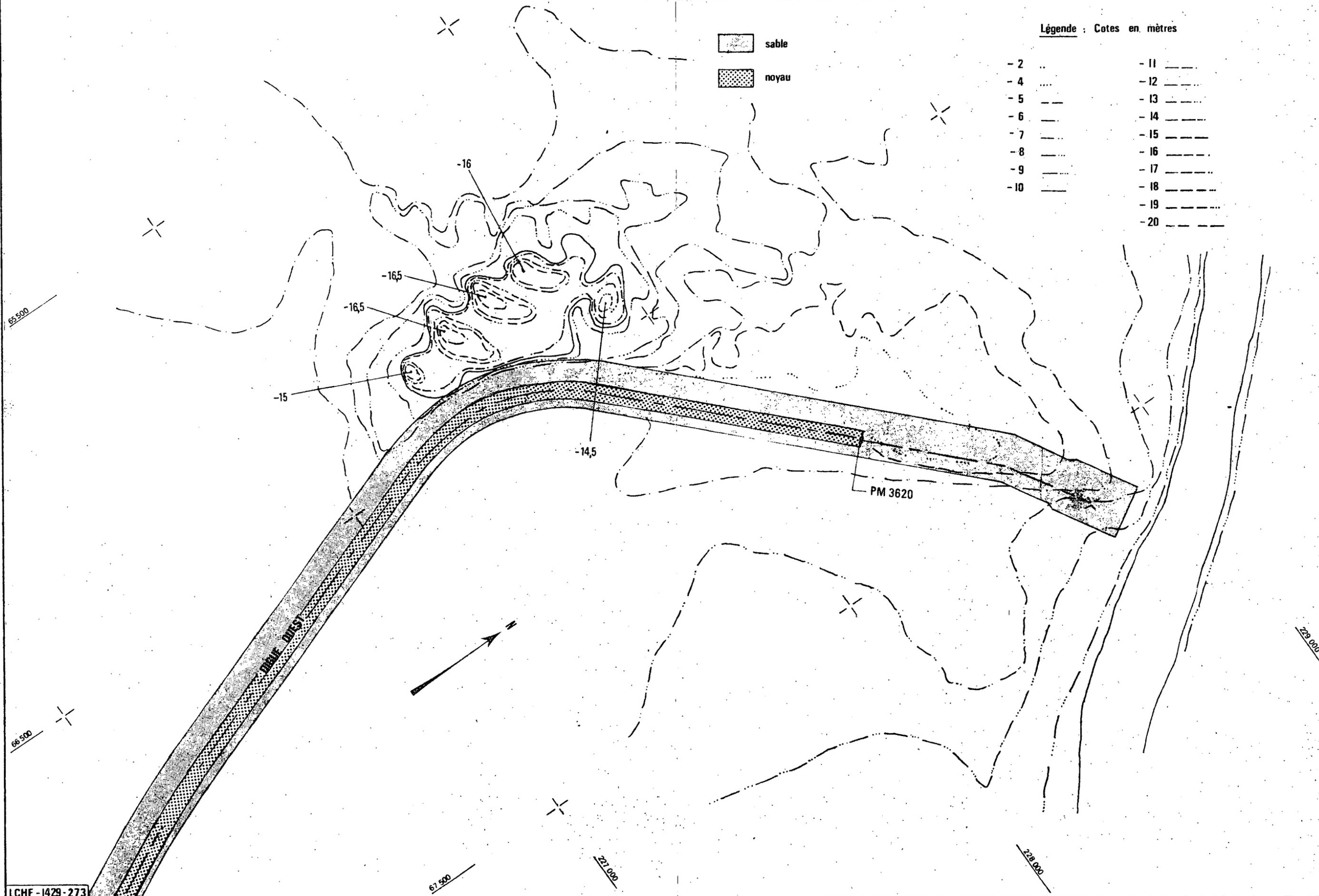
Echelle : 1/10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 66 - Essai ES 28

Légende : Cotes en mètres

sable
noyau

| | | | |
|------|-----|------|-----|
| - 2 | --- | - 11 | --- |
| - 4 | --- | - 12 | --- |
| - 5 | --- | - 13 | --- |
| - 6 | --- | - 14 | --- |
| - 7 | --- | - 15 | --- |
| - 8 | --- | - 16 | --- |
| - 9 | --- | - 17 | --- |
| - 10 | --- | - 18 | --- |
| | | - 19 | --- |
| | | - 20 | --- |



Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 72 - ES 29

Marée de vive eau moyenne

Nota: les intensités sont sujettes à caution, suite à un mauvais calage de la prise de vue

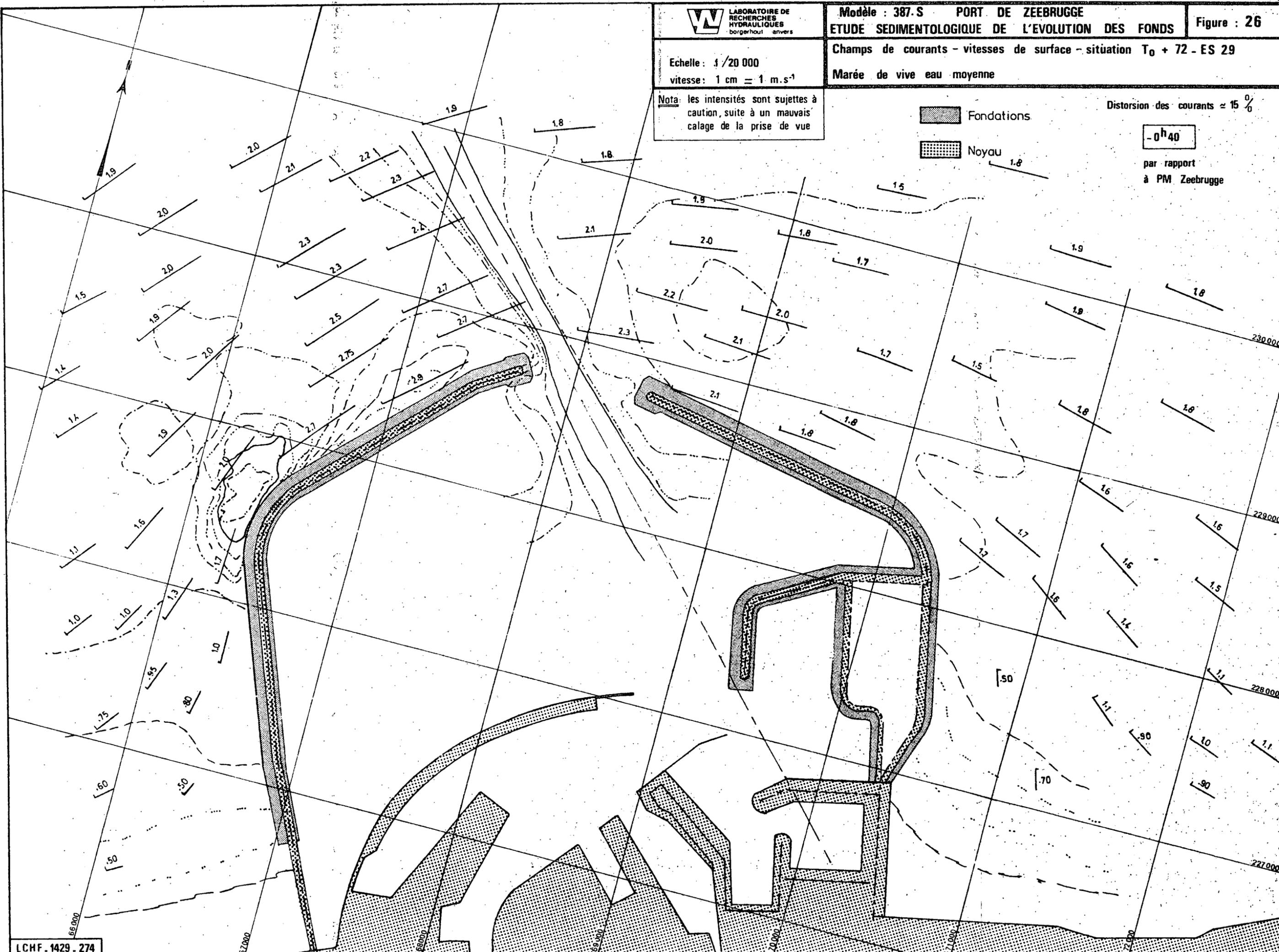
Fondations

Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %

-0h40

par rapport à PM Zeebrugge



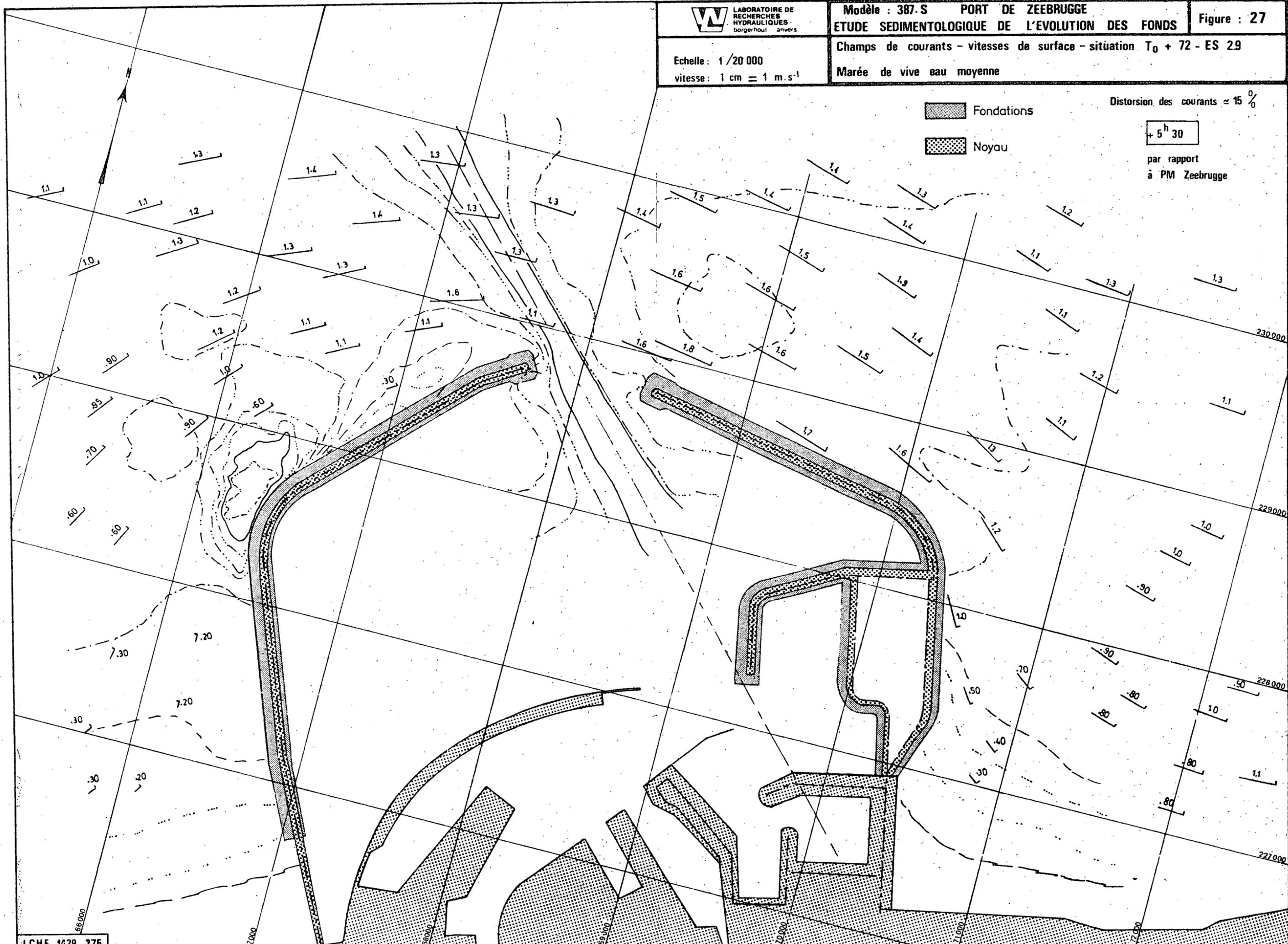
Echelle : 1/20 000
vitesse : 1 cm = 1 m.s⁻¹

Champs de courants - vitesses de surface - situation T₀ + 72 - ES 29
Marée de vive eau moyenne

Fondations
Noyau

Distorsion des courants ≈ 15 %

+ 5^h 30
par rapport à PM Zeebrugge



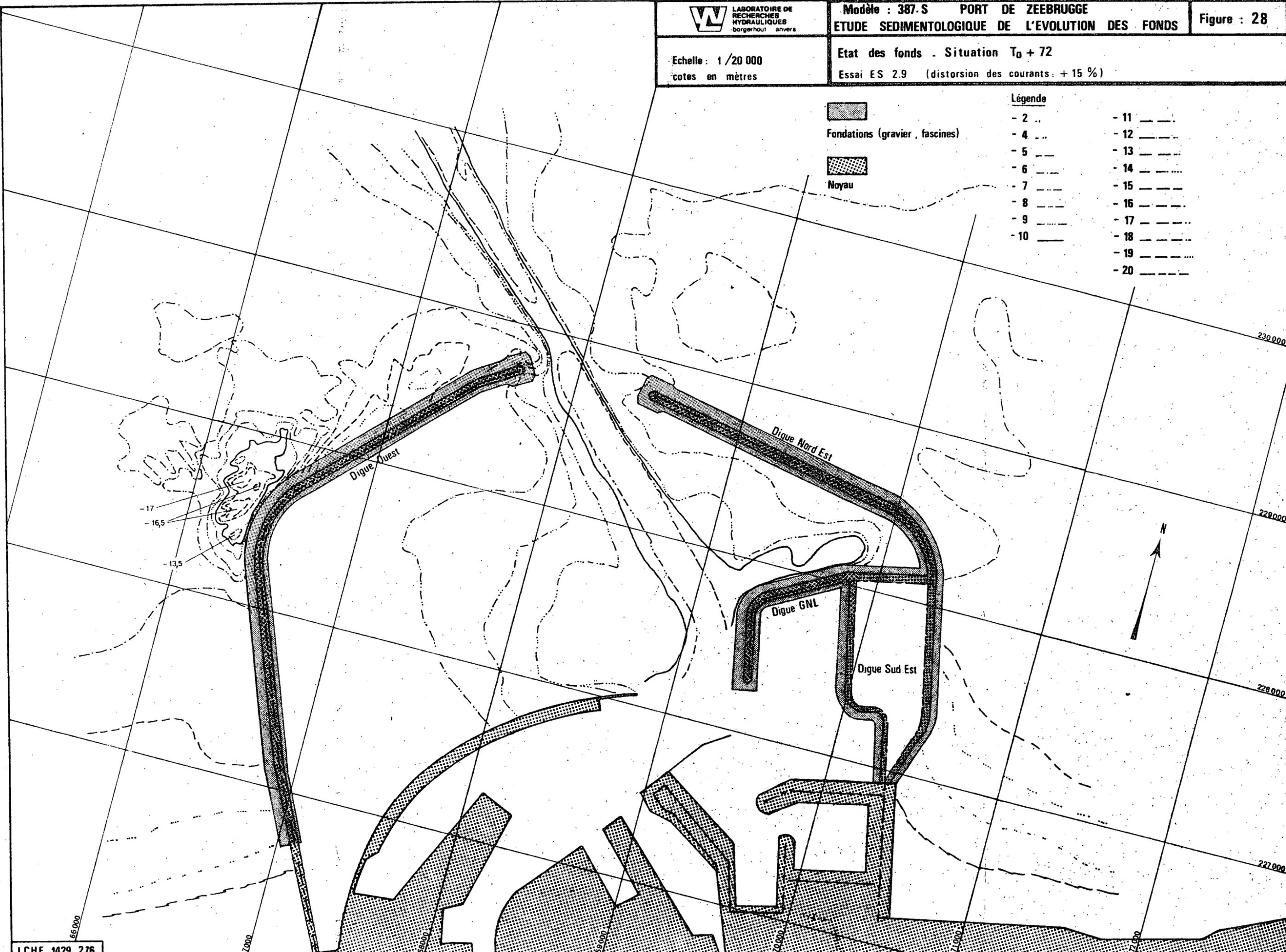
Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation T₀ + 72
Essai ES 2.9 (distorsion des courants : + 15 %)

 Fondations (gravier, fascines)
 Noyau

Légende

| | |
|------------|------|
| - 2 .. | - 11 |
| - 4 ... | - 12 |
| - 5 --- | - 13 |
| - 6 - - - | - 14 |
| - 7 - - - | - 15 |
| - 8 - - - | - 16 |
| - 9 - - - | - 17 |
| - 10 - - - | - 18 |
| | - 19 |
| | - 20 |



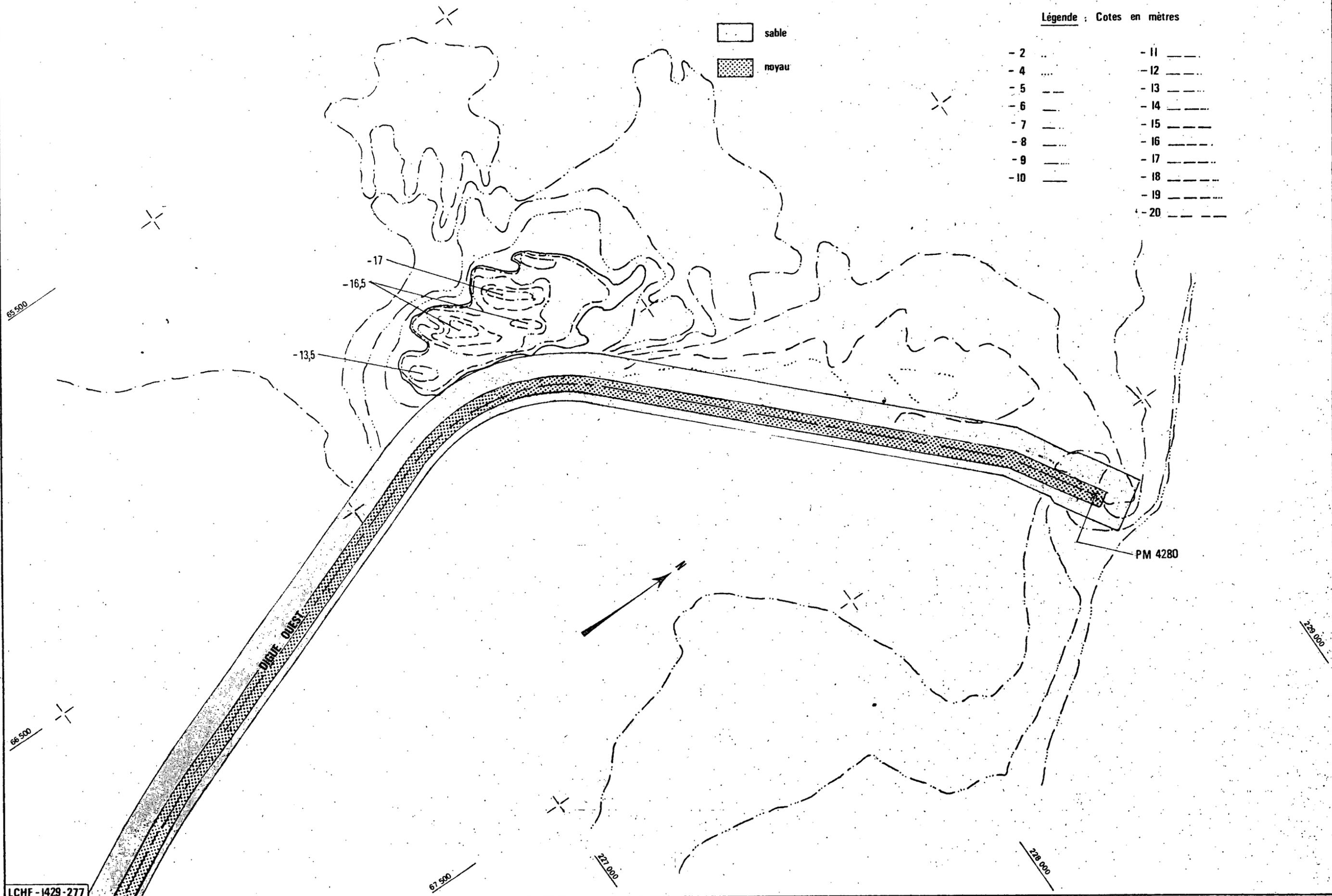
Echelle : 1 / 10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 72 - Essai ES 29

Légende : Cotes en mètres

 sable
 noyau

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| - 2 | ---- | - 11 | ----- |
| - 4 | ..... | - 12 | ----- |
| - 5 | ----- | - 13 | ----- |
| - 6 | ----- | - 14 | ----- |
| - 7 | ----- | - 15 | ----- |
| - 8 | ----- | - 16 | ----- |
| - 9 | ----- | - 17 | ----- |
| - 10 | ----- | - 18 | ----- |
| | | - 19 | ----- |
| | | - 20 | ----- |





LABORATOIRE DE
RECHERCHES
HYDRAULIQUES
borgerhout anvers

Modèle 387.S

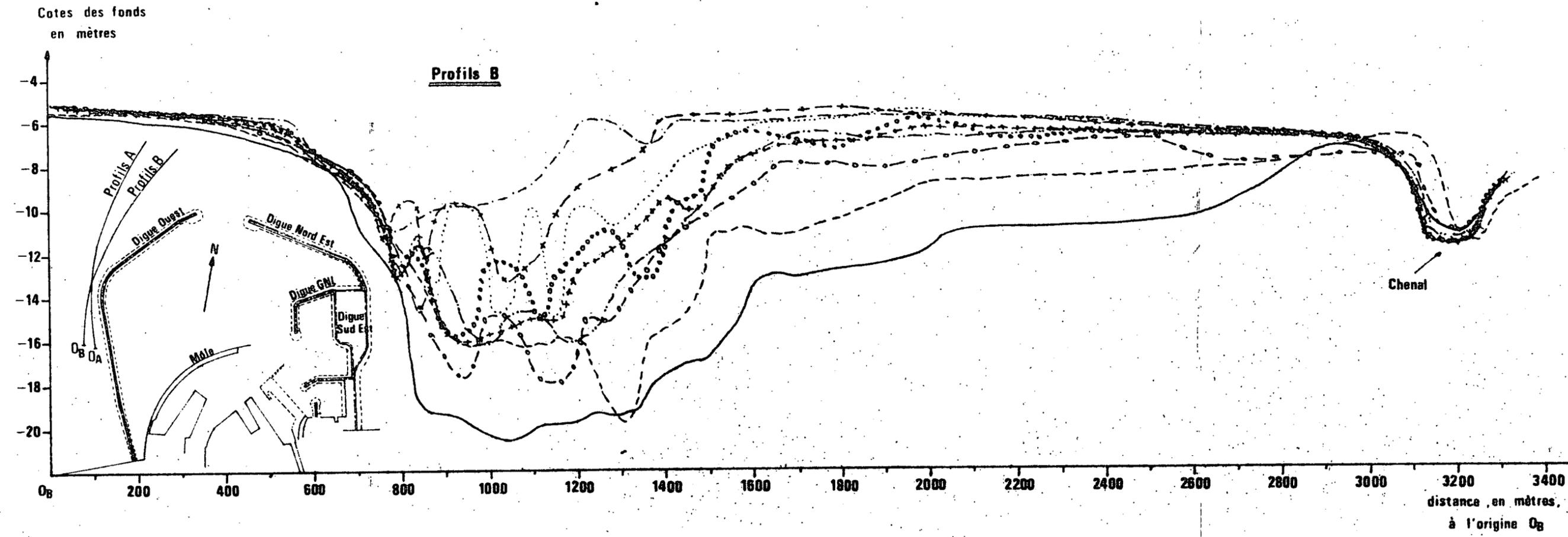
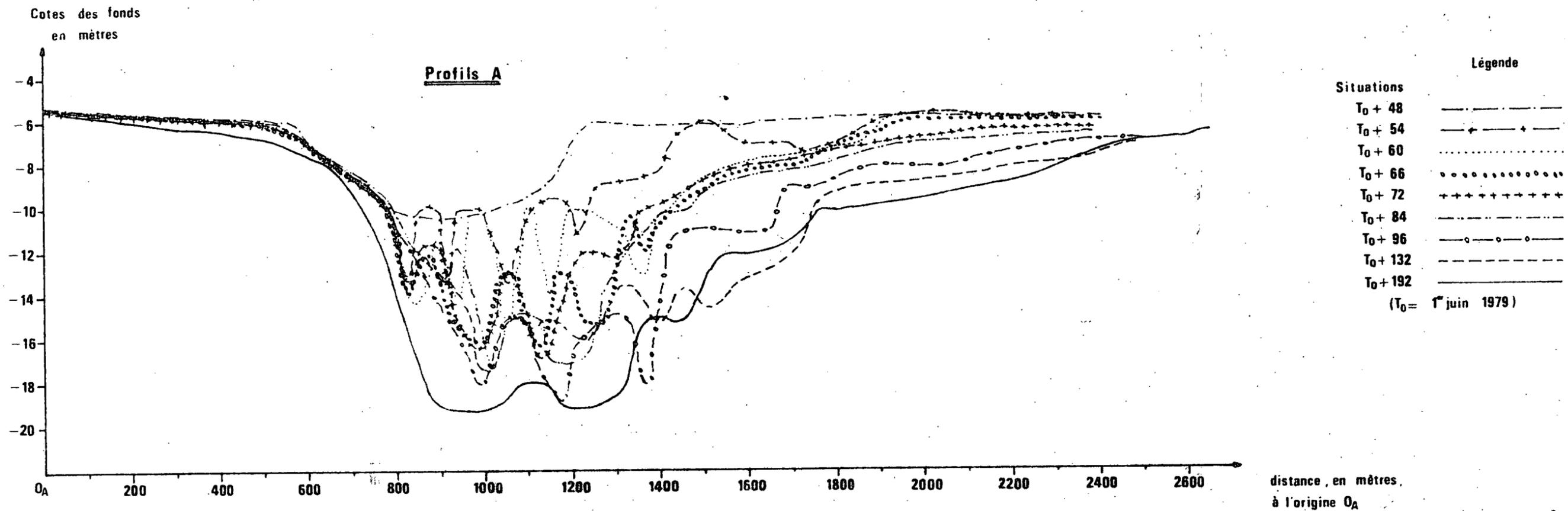
PORT DE ZEEBRUGGE

Figure 30

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DE L'EVOLUTION DES FONDS

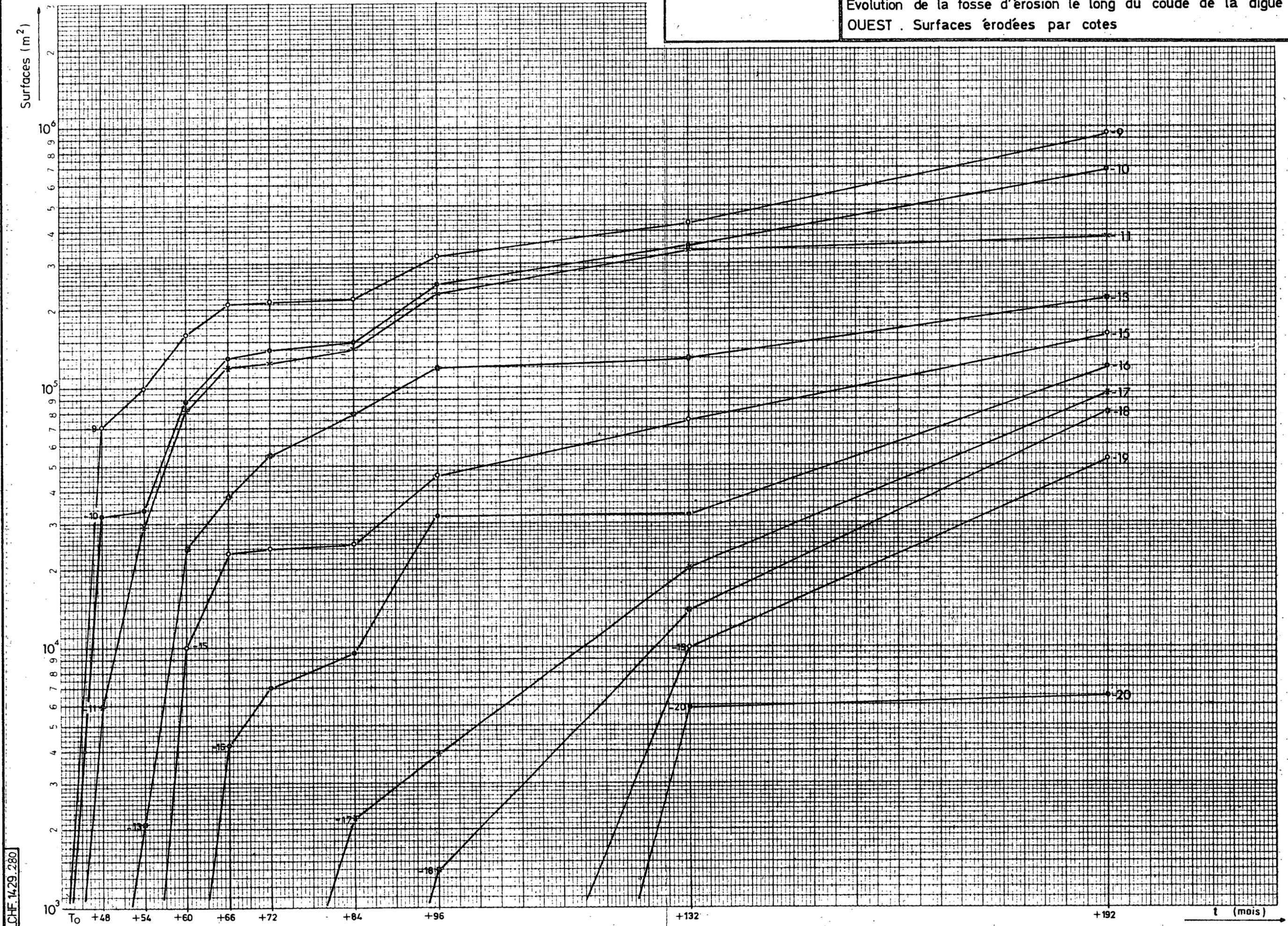
Evolution de la fosse au droit du coude de la digue NW

Profils en long





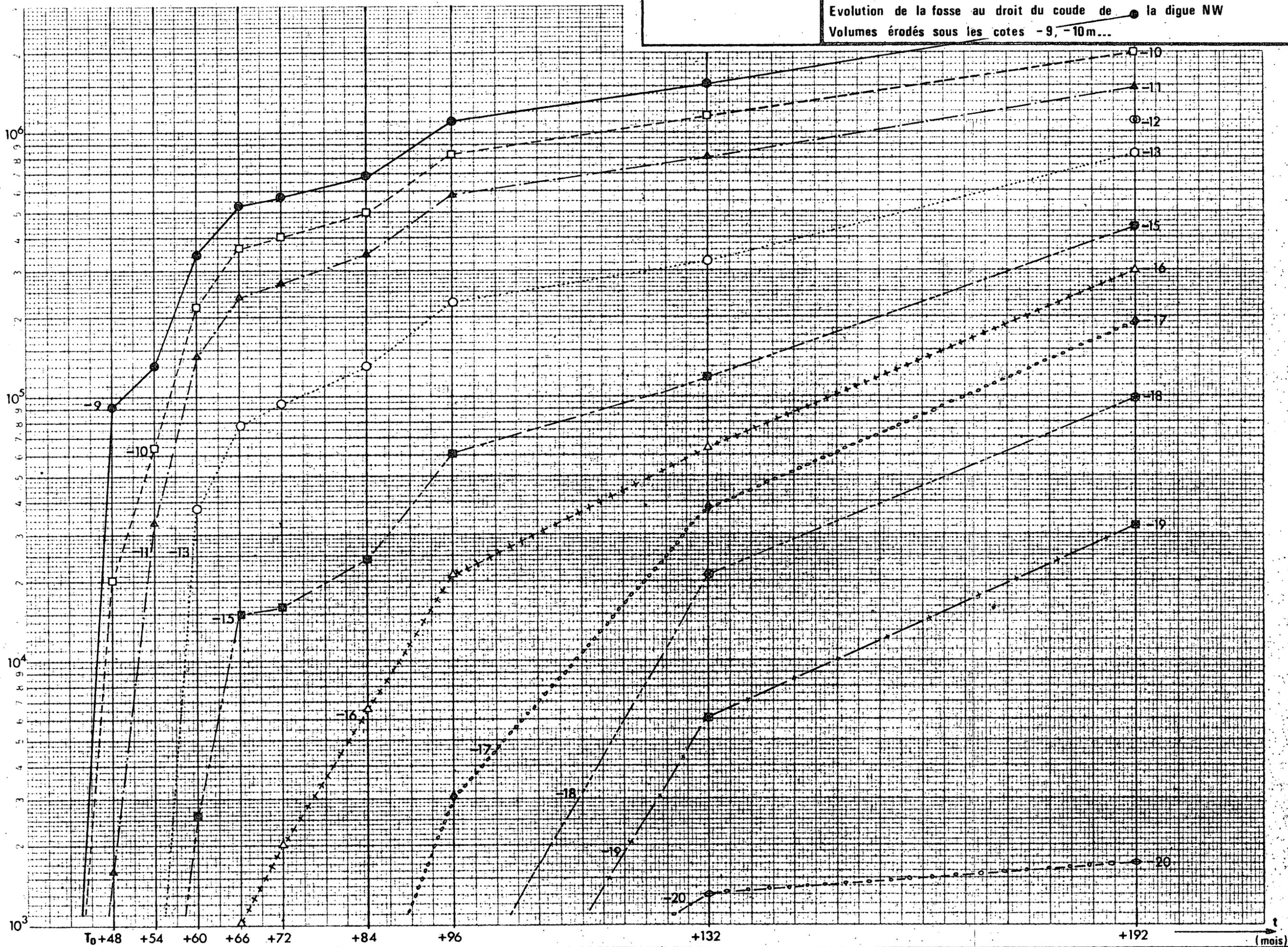
Evolution de la fosse d'érosion le long du coude de la digue
OUEST. Surfaces érodées par cotes





Evolution de la fosse au droit du coude de la digue NW
Volumes érodés sous les cotes -9, -10m...

Volume (m³)

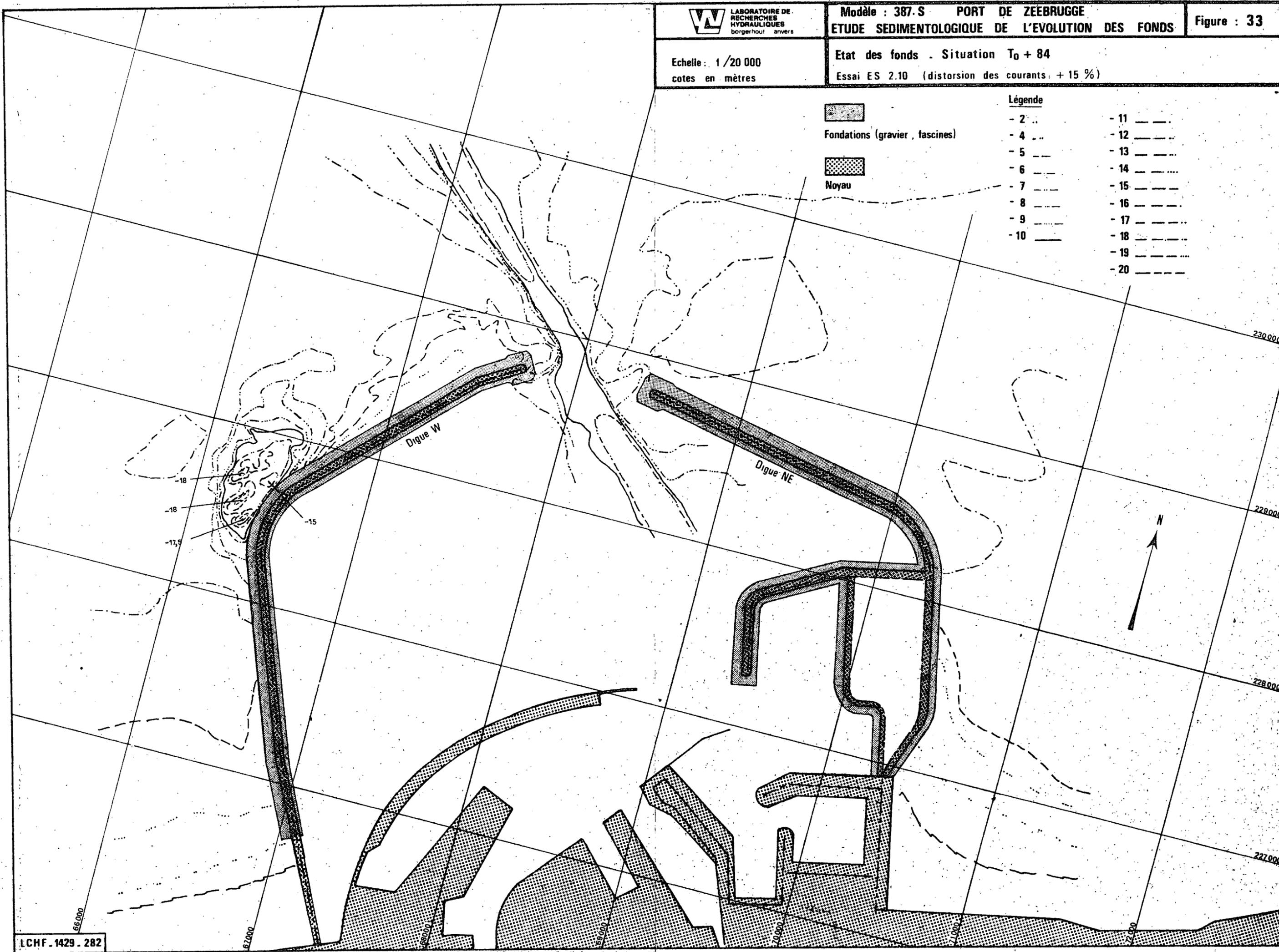


Echelle : 1 / 20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation $T_0 + 84$
Essai ES 2.10 (distorsion des courants : + 15 %)

Légende

- | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
|  | - 2 .. | - 11 --- |
| Fondations (gravier, fascines) | - 4 ... | - 12 --- |
|  | - 5 --- | - 13 --- |
| Noyau | - 6 --- | - 14 --- |
| | - 7 --- | - 15 --- |
| | - 8 --- | - 16 --- |
| | - 9 --- | - 17 --- |
| | - 10 --- | - 18 --- |
| | | - 19 --- |
| | | - 20 --- |



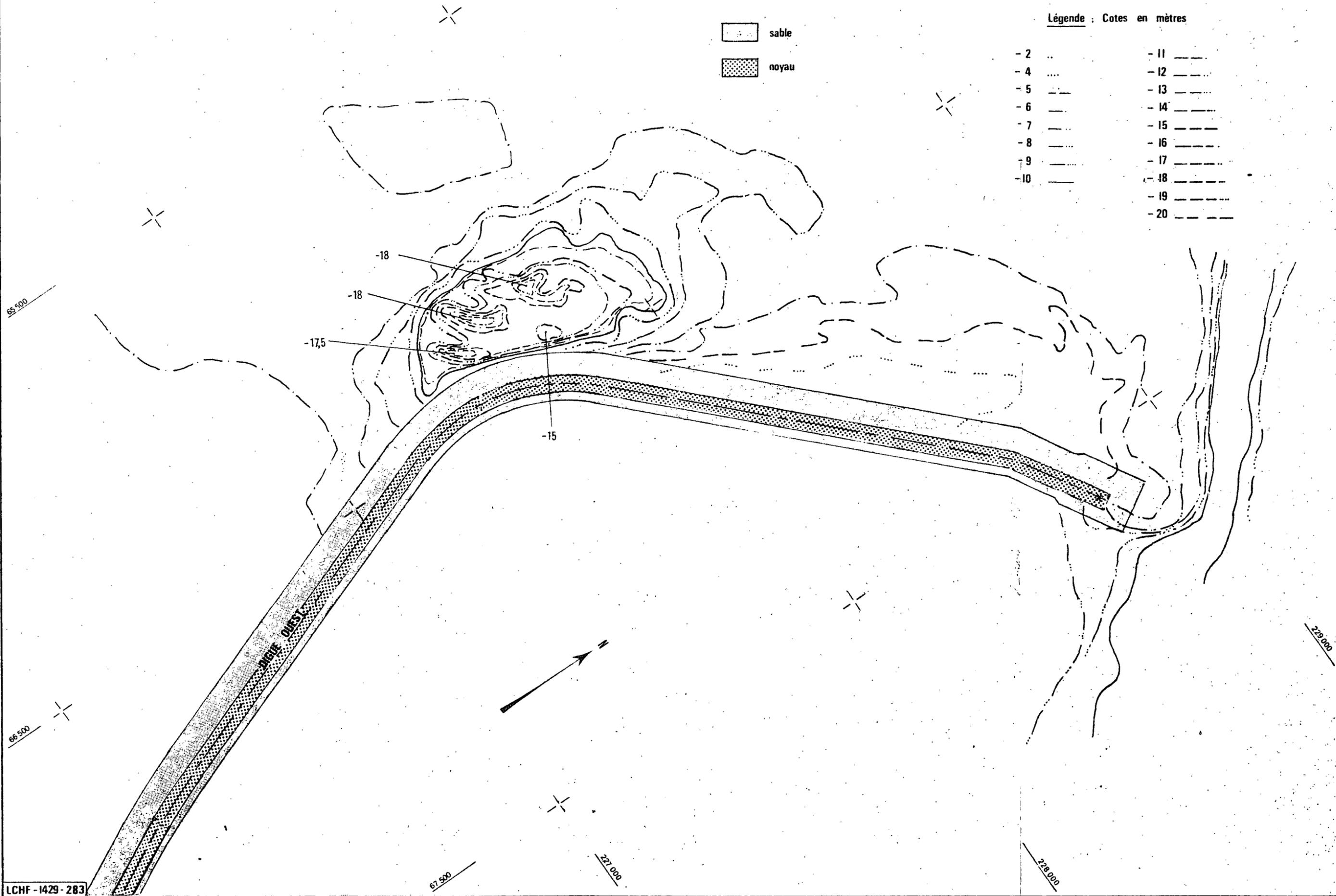
Echelle : 1 / 10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 84 - Essai ES 210

Légende : Cotes en mètres

 sable
 noyau

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| - 2 | --- | - 11 | --- |
| - 4 | ---- | - 12 | ---- |
| - 5 | ----- | - 13 | ----- |
| - 6 | ----- | - 14 | ----- |
| - 7 | ----- | - 15 | ----- |
| - 8 | ----- | - 16 | ----- |
| - 9 | ----- | - 17 | ----- |
| - 10 | ----- | - 18 | ----- |
| | | - 19 | ----- |
| | | - 20 | ----- |



Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation T₀ + 96

Essai ES 2.11 (distorsion des courants : + 15 %)

Zones draguées en fin de cycle, à T₀ + 96

- chenal à -12 m.

zone extérieure 830 000 m³

zone intérieure 250 000 m³

- retour aux fonds initiaux

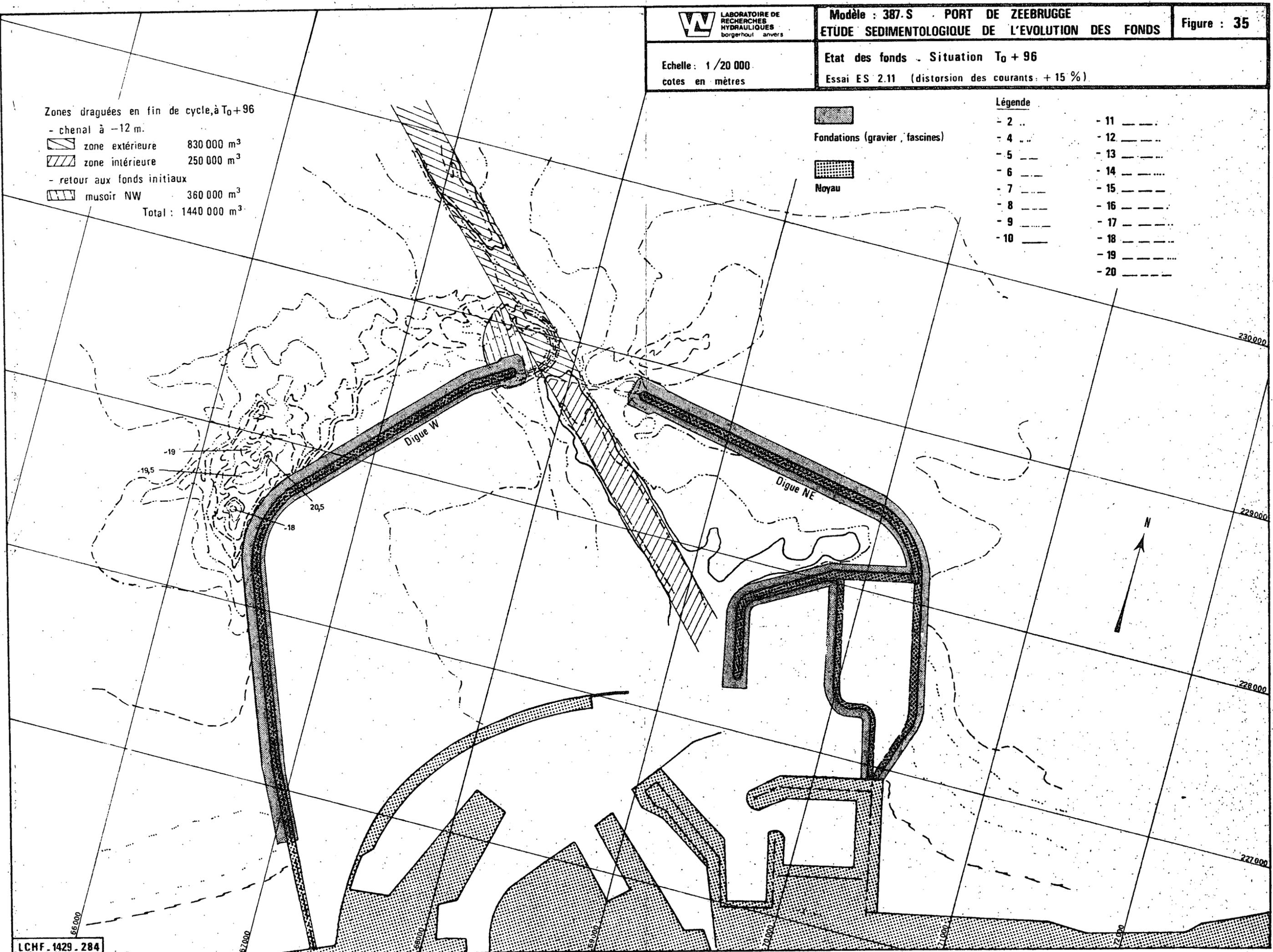
musoir NW 360 000 m³

Total : 1440 000 m³

Fondations (gravier, fascines)
Noyau

Légende

- | | |
|----------|------|
| - 2 .. | - 11 |
| - 4 ... | - 12 |
| - 5 --- | - 13 |
| - 6 --- | - 14 |
| - 7 --- | - 15 |
| - 8 --- | - 16 |
| - 9 --- | - 17 |
| - 10 --- | - 18 |
| | - 19 |
| | - 20 |



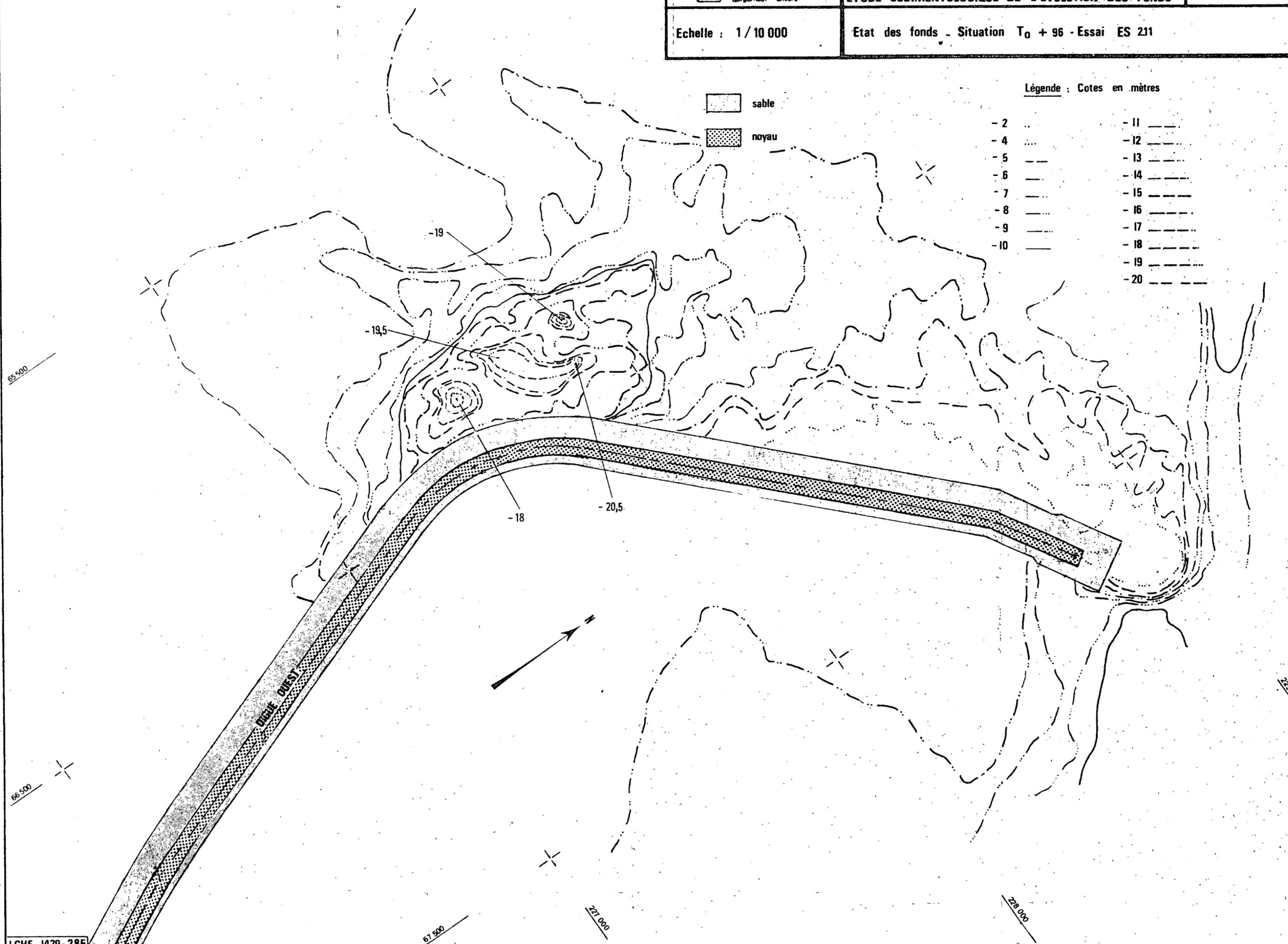
Echelle : 1 / 10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 96 - Essai ES 211

Légende : Cotes en mètres

 sable
 noyau

| | | | |
|------|-------|------|-------|
| - 2 | ..... | - 11 | ..... |
| - 4 | ..... | - 12 | ..... |
| - 5 | ..... | - 13 | ..... |
| - 6 | ..... | - 14 | ..... |
| - 7 | ..... | - 15 | ..... |
| - 8 | ..... | - 16 | ..... |
| - 9 | ..... | - 17 | ..... |
| - 10 | ..... | - 18 | ..... |
| | | - 19 | ..... |
| | | - 20 | ..... |



Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

Etat des fonds - Situation $T_0 + 132$

Essai ES 2.12 (distorsion des courants : +15 %)

Zones draguées à la fin du cycle, à $T_0 + 132$

- chenal à -12m.

▨ partie extérieure

- retour aux fonds initiaux

1200000 m³

▨ musoir NE

▨ musoir NW



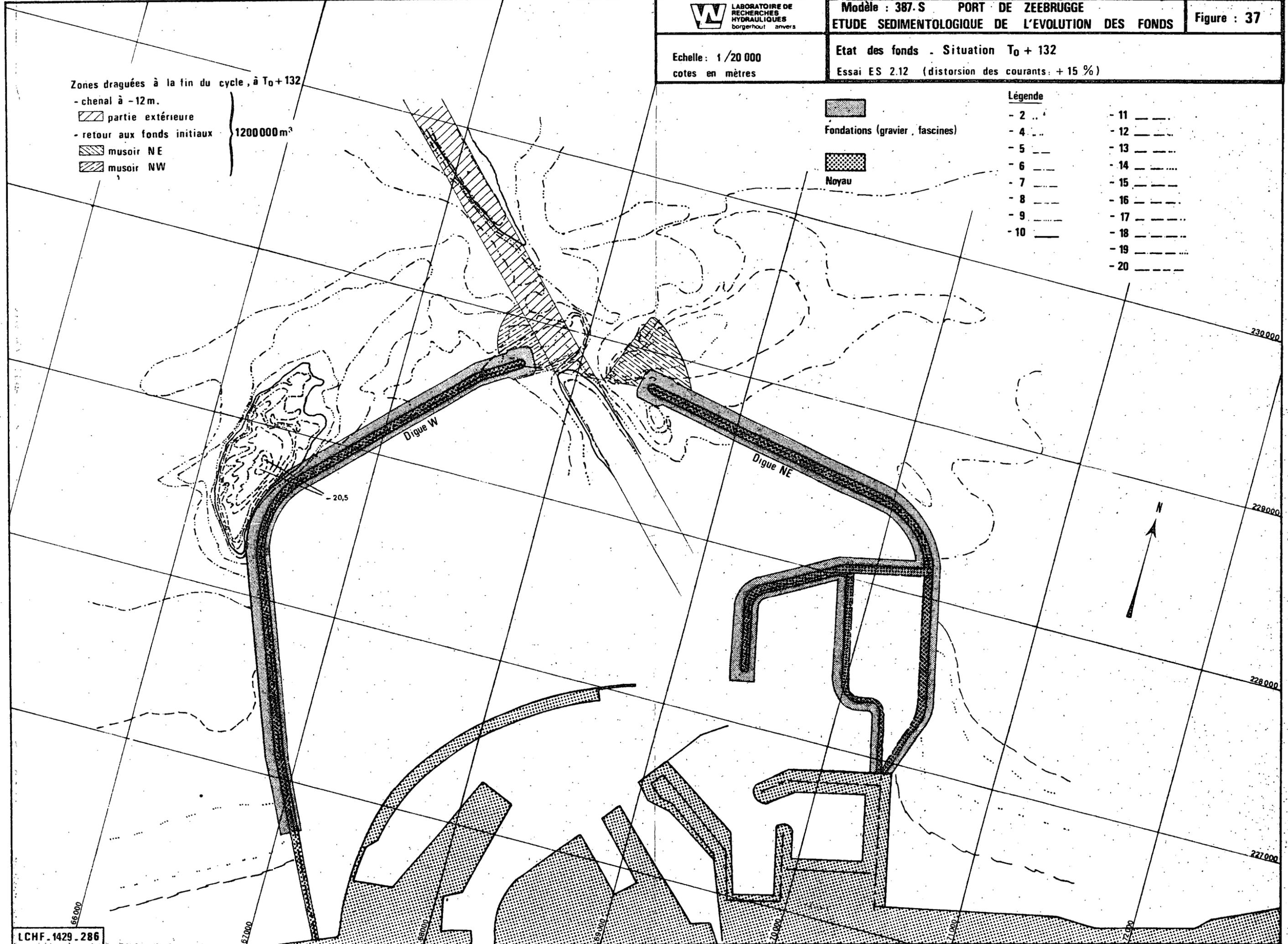
Fondations (gravier, fascines)



Noyau

Légende

- | | |
|------|------|
| - 2 | - 11 |
| - 4 | - 12 |
| - 5 | - 13 |
| - 6 | - 14 |
| - 7 | - 15 |
| - 8 | - 16 |
| - 9 | - 17 |
| - 10 | - 18 |
| | - 19 |
| | - 20 |



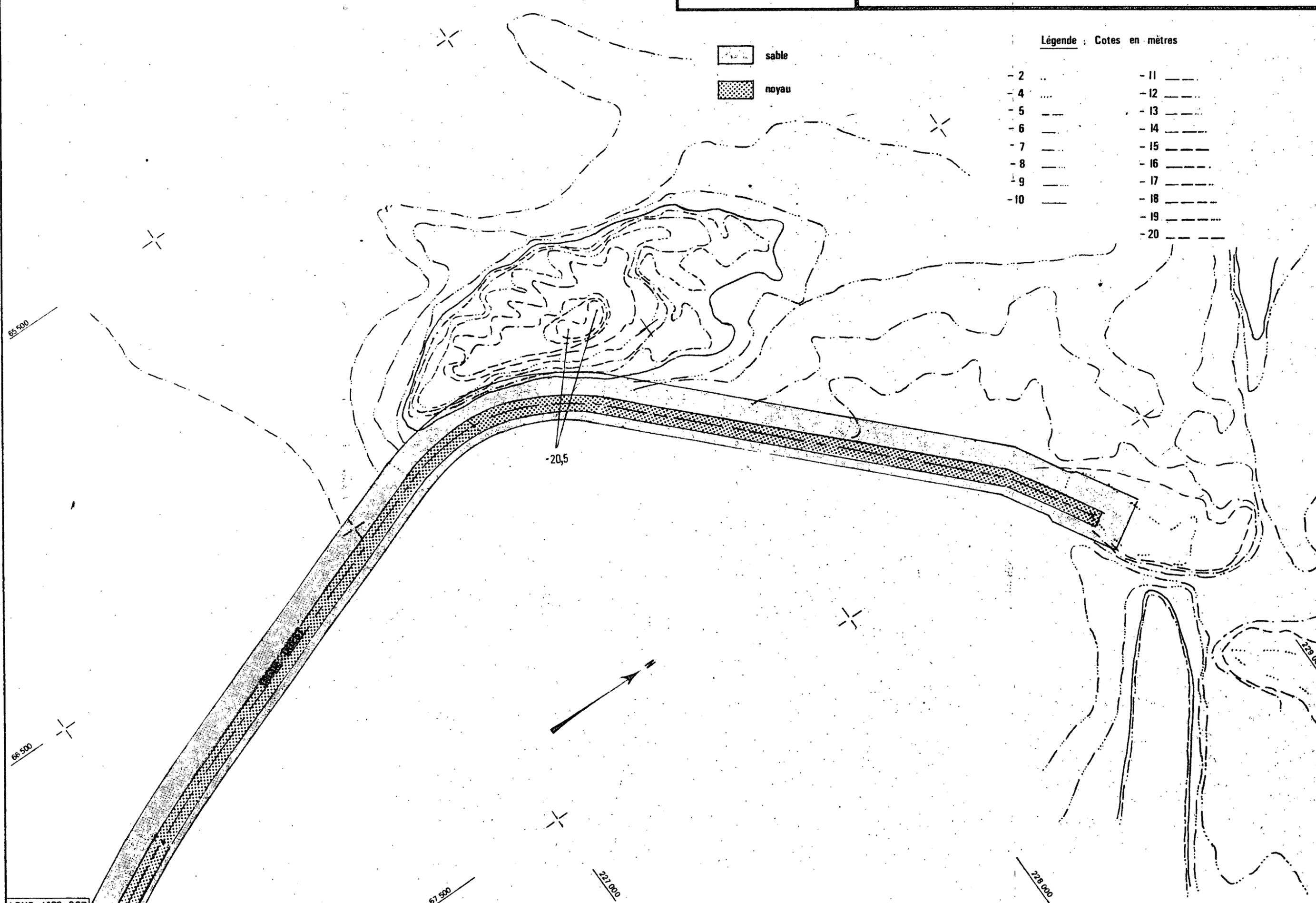
Echelle : 1 / 10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 132 - Essai ES 212

Légende : Cotes en mètres

 sable
 noyau

- | | | | |
|------|-----|------|-----|
| - 2 | --- | - 11 | --- |
| - 4 | --- | - 12 | --- |
| - 5 | --- | - 13 | --- |
| - 6 | --- | - 14 | --- |
| - 7 | --- | - 15 | --- |
| - 8 | --- | - 16 | --- |
| - 9 | --- | - 17 | --- |
| - 10 | --- | - 18 | --- |
| | | - 19 | --- |
| | | - 20 | --- |



Echelle : 1/20 000
cotes en mètres

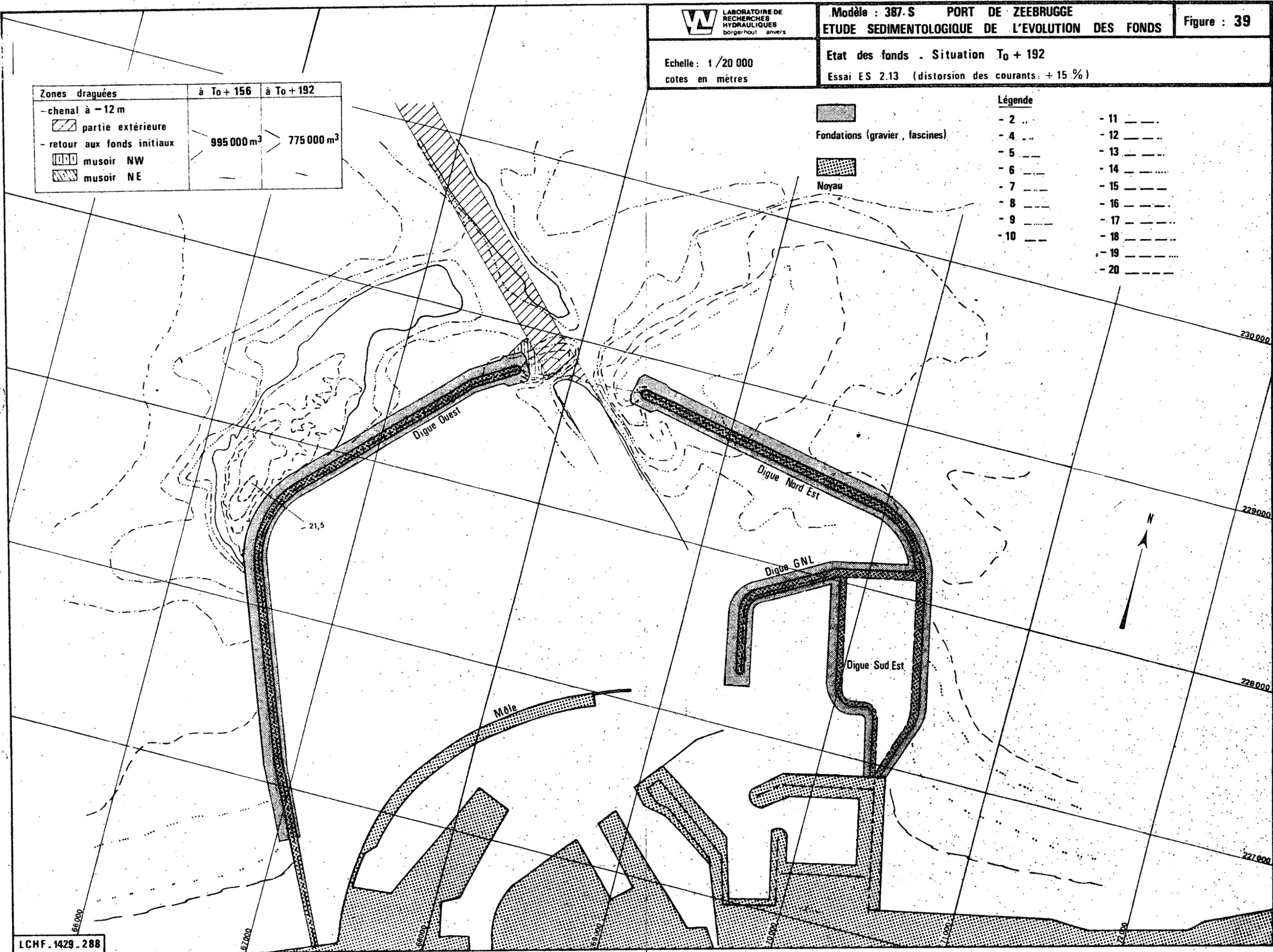
Etat des fonds . Situation To + 192
Essai ES 2.13 (distorsion des courants : + 15 %)

| Zones draguées | à To+156 | à To+192 |
|----------------------------|------------------------|------------------------|
| -chenal à -12 m | | |
| -partie extérieure | | |
| -retour aux fonds initiaux | 995 000 m ³ | 775 000 m ³ |
| -musoir NW | | |
| -musoir NE | | |

Fondations (gravier, fascines)
Noyau

Légende

| | |
|----------|------------|
| - 2 .. | - 11 |
| - 4 ... | - 12 |
| - 5 --- | - 13 |
| - 6 --- | - 14 |
| - 7 --- | - 15 |
| - 8 --- | - 16 |
| - 9 --- | - 17 |
| - 10 --- | - 18 |
| | - 19 |
| | - 20 |



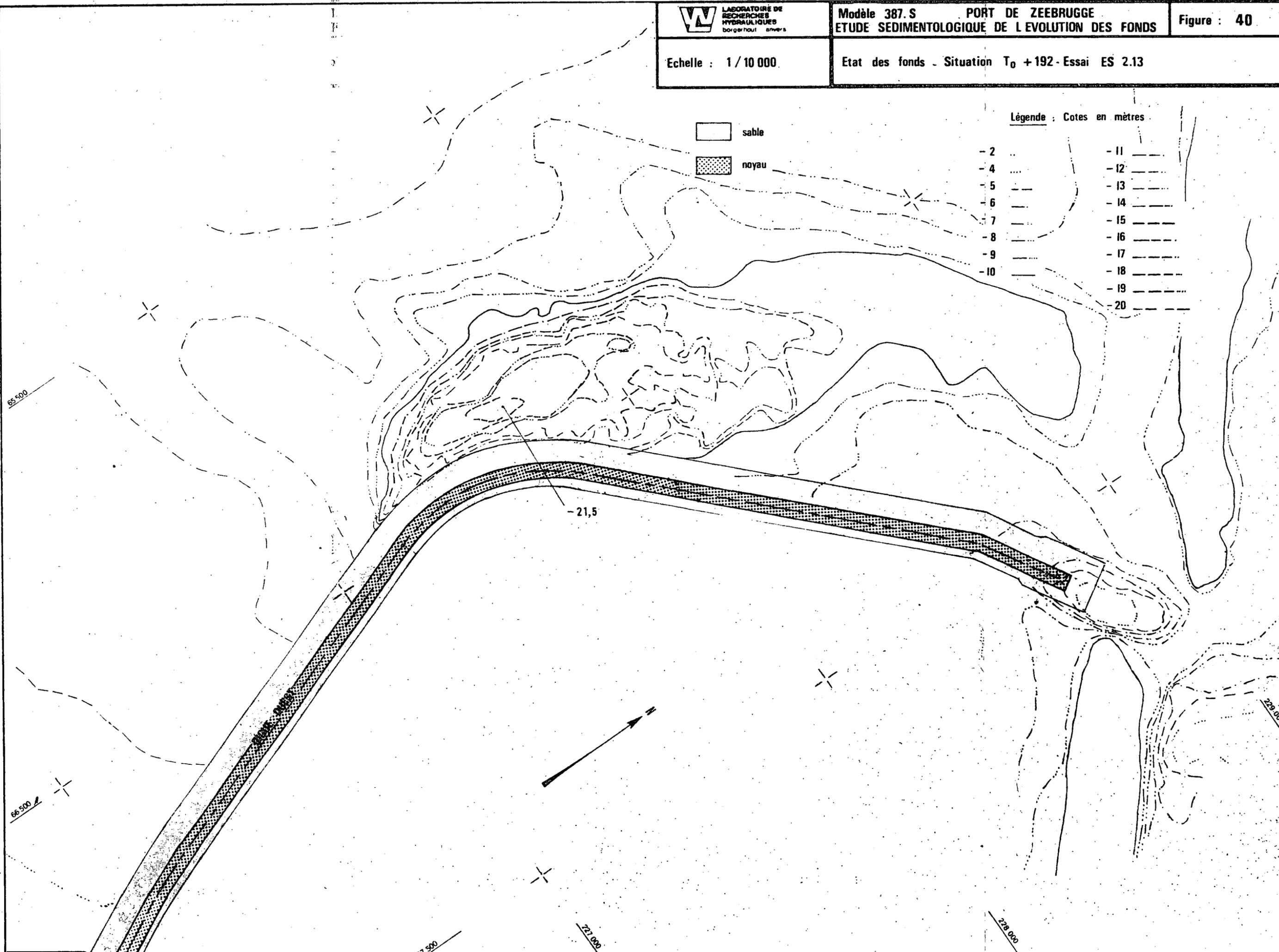
Echelle : 1 / 10 000

Etat des fonds - Situation T₀ + 192 - Essai ES 2.13

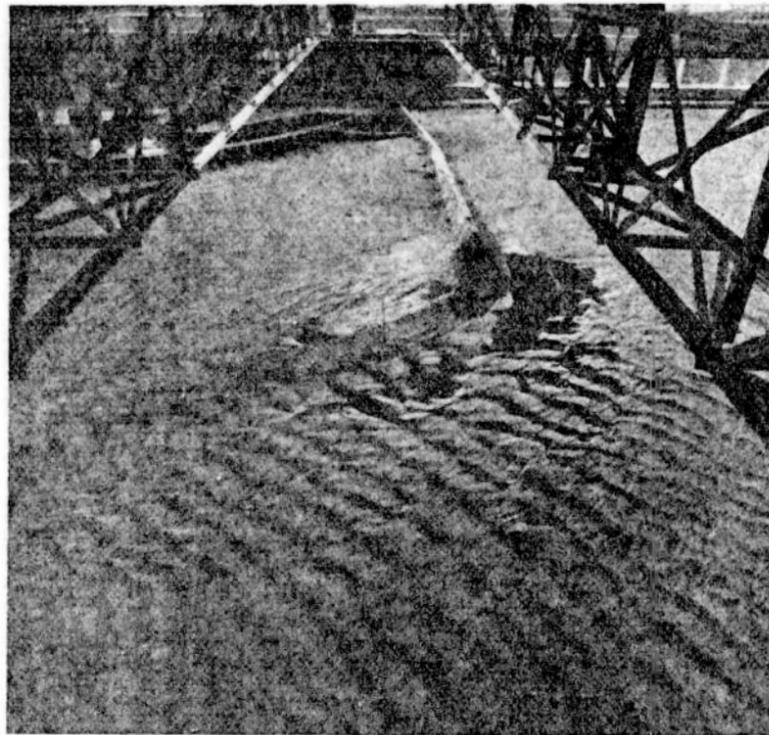
Légende : Cotes en mètres

□ sable
▨ noyau

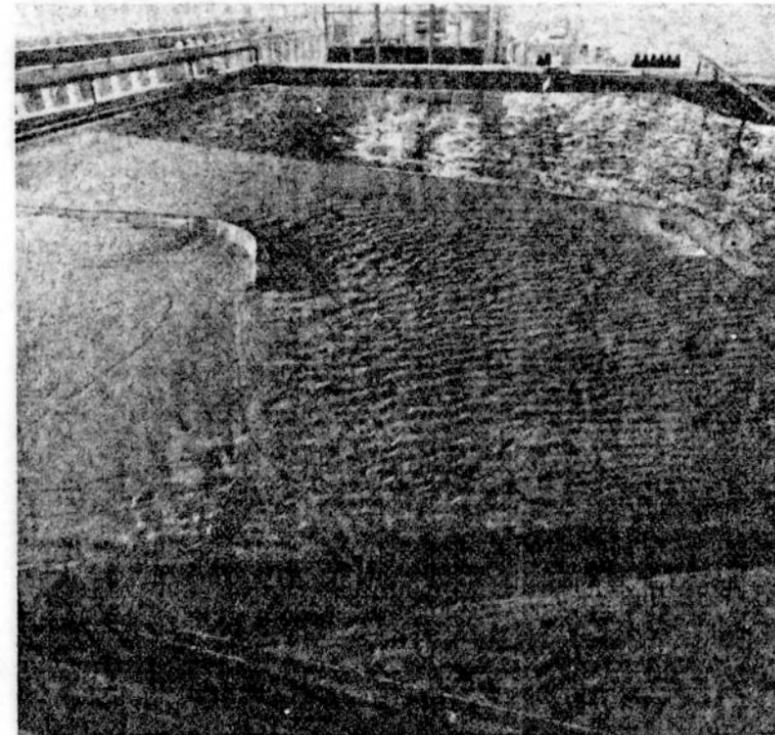
- | | | | |
|------|-----|------|-----|
| - 2 | --- | - 11 | --- |
| - 4 | --- | - 12 | --- |
| - 5 | --- | - 13 | --- |
| - 6 | --- | - 14 | --- |
| - 7 | --- | - 15 | --- |
| - 8 | --- | - 16 | --- |
| - 9 | --- | - 17 | --- |
| - 10 | --- | - 18 | --- |
| | | - 19 | --- |
| | | - 20 | --- |



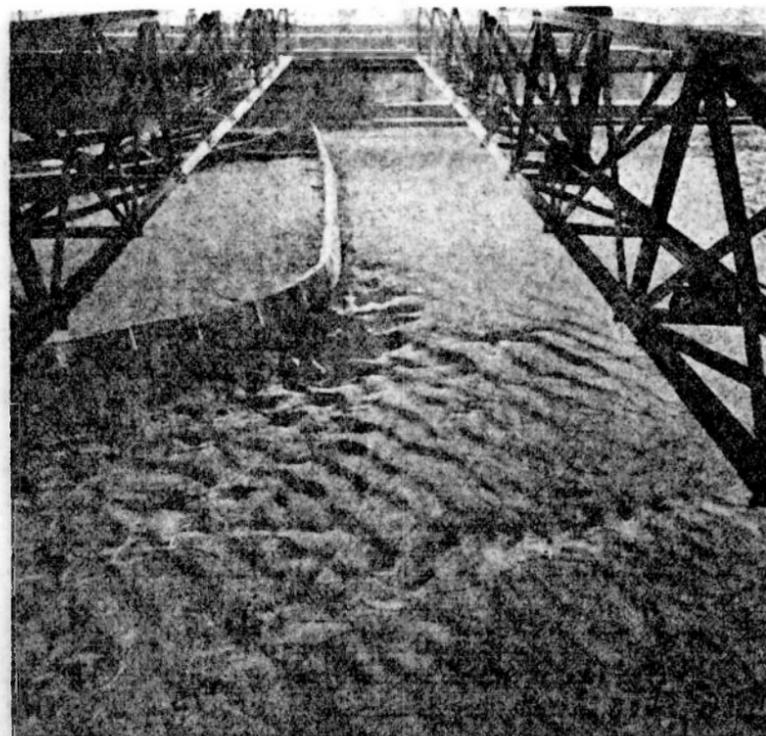
Evolution des fonds - Phase finale d'extension du port
Distorsion des courants : + 15 %



a) Situation $T_0 + 48$ - Erosion le long du coude de la digue Ouest

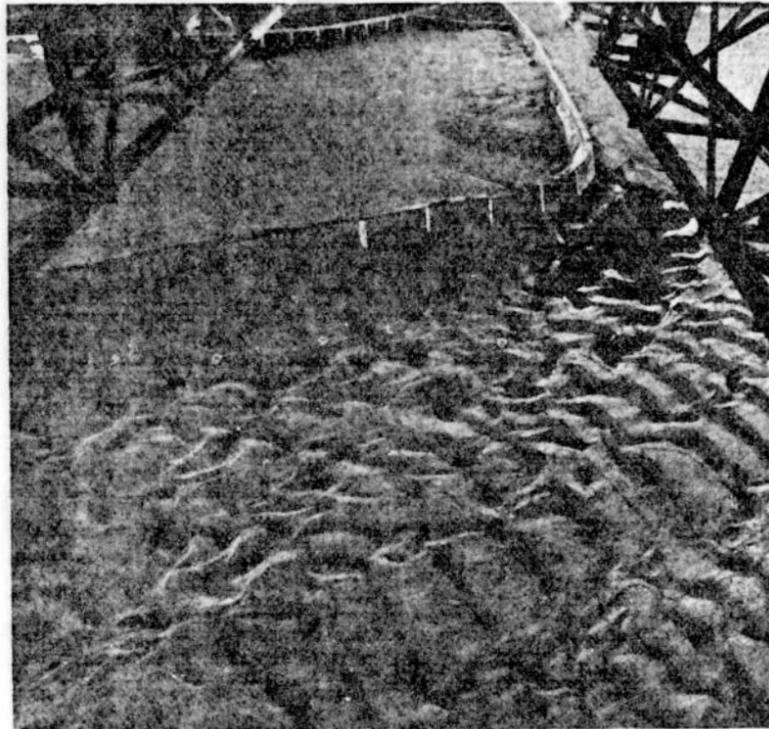


b) Situation $T_0 + 60$ - Etat des fonds aux abords de la digue Ouest

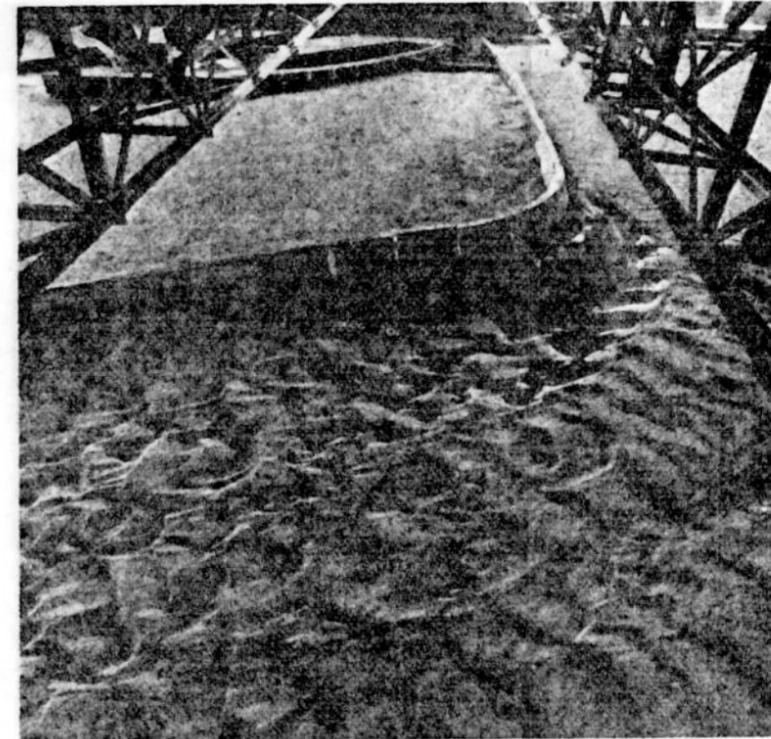


c) Situation $T_0 + 72$ (Port achevé)
Erosion au droit du coude de la digue Ouest

Evolution des fonds après achèvement du port (T_a)
Distorsion des courants : + 15 %



a) Situation $T_0 + 96$ ($T_a + 2$ ans)
Etat des fonds au droit de la digue Ouest



b) Situation $T_0 + 132$ ($T_a + 5$ ans)
Etat des fonds au droit de la digue Ouest

*Ta: Situation
port construit*



c) Situation $T_0 + 192$ ($T_a + 10$ ans)
Etat général des fonds - Vue d'ensemble

édition LABORATOIRE DE RECHERCHES
HYDRAULIQUES

BERCHEMLEI 115
2200 BORGERHOUT
BELGIQUE
TELEPHONE: 031/36.18.50.

