

danish hydraulic institute



affiliated to
The Danish Academy of Technical Sciences

Agern Allé 5, DK-2970 Horsholm, Denmark · Telephone: 02-86 80 33 · Telegram: Hydroinstitute · Telex: 37402 dhicph dk

2610



BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE
SWAN WOOSTER

OMVS - Etude des ports et escales
Rapport final sur l'étude des
vagues extrêmes
Mars 1983

10612

82-986 MNR/MFH/MR4

LISTE DU CONTENU

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION	1
2. RESUME ET CONCLUSIONS	2
2.1 Conditions des vents	2
2.2 Conditions de la houle	2
3. CONDITIONS DU VENT	4
3.1 Généralités	4
3.2 Analyse statistique	9
3.3 Détermination des tempêtes artificielles pour le modèle "hindcast"	11
3.3.1 Généralités	11
3.3.2 Formes des tempêtes	11
3.3.3 Classification et tracés des tempêtes	14
4. CONDITIONS DE LA HOULE	15
4.1 Général	15
4.2 Courte description du modèle mathématique	16
4.3 Préparation du modèle	16
4.4 Vérification du modèle	17
4.4.1 Introduction	17
4.4.2 Champ des pressions et des vents	18
4.4.3 Résultats de la vérification	20
4.5 Résultats des prédictions des états de la mer (hindcast)	23
5. REFERENCES	26

APPENDICE A

APPENDICE B

LISTE DES FIGURES

- 3.1 Pressions atmosphériques moyennes mensuelles (mb) et la zone de convergence inter-tropicale (I.T.C.Z), janvier.
- 3.2 Pressions atmosphériques moyennes mensuelles (mb) et la zone de convergence inter-tropicale (I.T.C.Z), juillet.
- 3.3 Quelques tracés des dépressions de l'Atlantique (période 1955 à 1960).
- 3.4 Direction et constance des vents dominants - janvier, Réf /1/.
- 3.5 Direction et constance des vents dominants - juillet, Réf /1/.
- 3.6 Gale (force 7) - Répartition des fréquences, janvier, Réf /1/.
- 3.7 Gale (force 7) - Répartition des fréquences, juillet Réf /1/.
- 4.1 Cartes des pressions à 00 heures durant la période de vérification du 2 au 7 février 1972 (Servicio Meterologico Nationale, Spain).
- 4.2 Spectre de l'énergie calculé et mesuré à 6:00 heures, le 6 février 1972 à Saint Louis

LISTE DES TABLEAUX

- 3.1 Vitesses et directions du vent spécifiques aux probabilités de dépassement données en fonction de la latitude et de la longitude.
- 2.1 Hauteurs significatives, H_s , au sommet de la tempête et périodes moyennes, T_z , pour les 12 dépressions synthétiques.
- 4.1
- 4.2 Angle d'incidence α_0 , coefficient de réfraction et de "shoaling", et hauteurs significatives maximales de la houle à Saint Louis (profondeur 14m). ($H_{s, \text{near}} = H_{s, \text{nearshore}}$).

LISTE DES PLANS

- 3.1 Carreaux où l'étude statistique des vents est réalisée
- 3.2 Diagramme sur les probabilités de dépassement pour les carreaux compris entre le 35°N et le 40°N
- 3.3 Diagramme sur les probabilités de dépassement pour les carreaux compris entre le 30°N et le 35°N
- 3.4 Diagramme sur les probabilités de dépassement pour les carreaux compris entre le 25°N et le 30°N
- 3.5 Diagramme sur les probabilités de dépassement pour les carreaux compris entre le 20°N et le 25°N
- 3.6 Champ des dépressions pour une dépression centenaire le long du 27½°N
- 3.7 Champ des vents pour une dépression centenaire le long du 27°N
- 3.8 Traçés des tempêtes synthétiques
- 4.1 Maille du modèle
- 4.2 Carte synoptique, 5 février 1972 à 00 heures.
- 4.3 Champ des vents générés par une dépression artificielle, 5 février 1972 à 00 heures.
- 4.4 Conditions des houles calculées au large de Saint Louis durant la période de vérification (vitesse maximale du vent: 20 m/s).

- 4.5 Condition des houles calculées au large de Saint Louis durant la période de vérification (vitesse maximale du vent: 17 m/s).
- 4.6 Comparaison des conditions de la houle mesurées et calculées à Saint Louis durant la période de vérification (y compris réfraction et "shoaling").
- 4.7 Conditions des houles calculées au large de Saint Louis pour une dépression centenaire le long du $27\frac{1}{2}^{\circ}$ N.
- 4.8 Conditions des houles calculées au large de Saint Louis pour une dépression cinquantaire le long du $27\frac{1}{2}^{\circ}$ N.
- 4.9 Conditions des houles calculées au large de Saint Louis pour une dépression une fois en 20 ans le long du $27\frac{1}{2}^{\circ}$ N.
- 4.10 Relation entre la période principale et la hauteur significative des houles à Saint Louis.
- 4.11 Courbe donnant les hauteurs significatives en fonction des probabilités de dépassement.

1. INTRODUCTION

L'étude des conditions de la houle au large de Saint Louis, au Sénégal, présentée dans ce rapport a été entreprise par l'Institut Danois d'Hydraulique (IDH) pour les sociétés Beauchemin Beaton-Lapointe et Swan Wooster Engineering Ltd (BBL-SW). La base du programme d'étude proposé par IDH le 16 avril 1982 et corrigé le 3 juin 1982 a été présenté dans le contrat daté du 27 janvier 1983 entre BBL-SW et IDH.

Le but de cette étude a été de déterminer la hauteur de la vague centenaire au large qui servira de base pour les études des constructions près des côtes de Saint Louis. Comme très peu d'informations sur les hauteurs des houles extrêmes ont été enregistrées, il a été décidé d'utiliser le modèle mathématique élaboré par IDH en se basant sur les données des pressions atmosphériques et des champs des vents pour déterminer les conditions de la houle.

2. RESUME, RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

2.1 Conditions des vents

Les phénomènes climatiques les plus importants capables de générer les houles extrêmes au large de Saint Louis au Sénégal sont créés par les dépressions migratoires de l'Atlantique Nord.

Afin de déterminer les dépressions synthétiques, la statistique des vents pour la zone comprise entre le 20°N, 40°N, 10°O et le 35°O a été établie (voir tableau no. 3.1).

Des cartes météorologiques, la dimension des dépressions les plus sévères, leurs vitesses de propagation ainsi que leurs tracés ont été analysés. L'élaboration des dépressions synthétiques, représentant les données fondamentales du modèle d'IDH, a été faite d'après l'ensemble statistique des vents et l'analyse des paramètres désignés.

Douze dépressions artificielles ont ainsi été générées d'après leurs tracés (voir plan no. 3.8) et leurs périodes de retour (100, 50, 20 ans).

2.2 Conditions de la houle

Le modèle d'IDH a été utilisé pour prédire l'état de la mer (hind-cast) provoqué par les 12 dépressions générées artificiellement. Les résultats sont montrés au tableau no. 2.1.

Période de retour		LATITUDE			
		37½°N	32½°N	27½°N	22½°N
100 ans	H _s m	3.4	3.9	4.4	3.3
	T _z s	15.8	14.5	14.5	12.0
50 ans	H _s m	3.2	3.3	4.0	3.3
	T _z s	15.6	14.2	14.0	11.9
20 ans	H _s m	2.9	3.0	3.7	3.0
	T _z s	15.0	13.8	13.3	11.5

Tableau no. 2.1: Hauteurs significatives, H_s, au sommet de la tempête et périodes moyennes, T_z, pour les 12 dépressions synthétiques.

Un test a été conduit pour contrôler si les résultats varient d'une manière significative lors de l'utilisation des différentes vitesses de propagation des dépressions. Aucune différence significative entre les hauteurs de la houle n'a été trouvée lors de ce test.

Afin de vérifier le modèle, une dépression causant des vitesses du vent jusqu'à 20 m/s passant dans la partie nord du modèle a été simulée. A cause du manque de données disponibles pour la préparation du champ des pressions, il a été décidé de préparer des dépressions synthétiques. Les résultats de la vérification sont présentés au plan no. 4.6. On peut conclure que le modèle est capable de reproduire avec précision les mesures de la houle sur site.

Hoersholm, Danemark, le 30 mars 1983



Torben Soerensen,
Directeur Général



M. Rugbjerg,
Chef du projet

3. CONDITIONS DU VENT

3.1 Généralités

Au large de l'océan Atlantique, loin des régions côtières de l'Afrique de l'Ouest, on trouve une large gamme de climats allant du climat atlantique des Açores au climat tropical des Moussons près de l'équateur. Le climat des Açores reflète le temps variable de l'ouest de l'Atlantique avec ses grandes et rapides variations allant des conditions stables de l'anticyclone aux violentes tempêtes en relation avec les vacillements des fronts et des dépressions. A l'autre extrême, près de l'équateur et plus au sud, on rencontre un climat tropical avec très peu de variations journalières.

Toute la zone est sous l'influence de différents systèmes de pressions:

- La zone subtropicale de hautes pressions qui s'étend de l'est et de l'ouest aux environs de la latitude des Açores (anticyclone des Açores),
- Les dépressions des zones de migration de l'hémisphère nord qui se dirige généralement vers l'est sur le flanc nord des anticyclones des Açores.
- La zone tropicale de dépressions (zone de calme) qui se trouve entre la zone de hautes pressions de l'hémisphère nord et la zone correspondante de l'hémisphère sud.

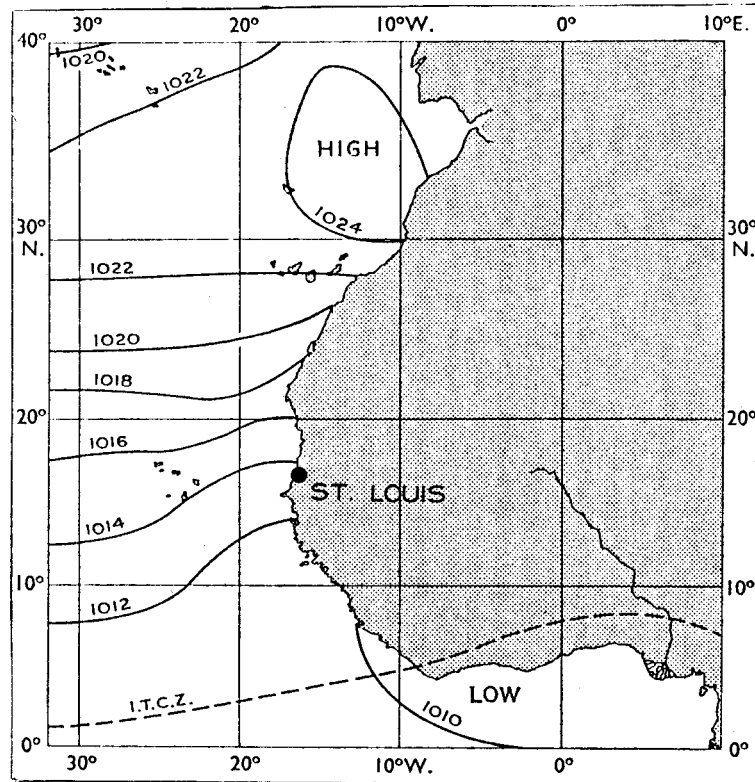


Figure no. 3.1: Pressions atmosphériques moyennes mensuelles (mb) et la zone de convergence inter-tropicale (I.T.C.Z.), janvier. Ref /1/.

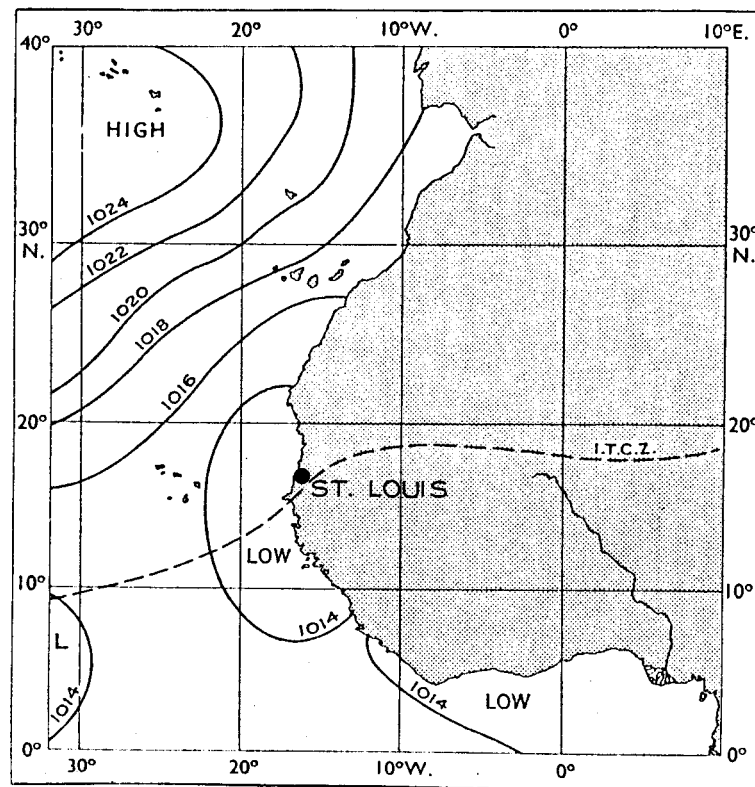


Figure no. 3.2: Pressions atmosphériques moyennes mensuelles (mb) et la zone de convergence inter-tropicale (I.T.C.Z.), juillet. Ref /1/.

Bien que le centre de l'anticyclone des Açores montre très peu de variations de sa position moyenne au sud ou au sud-ouest des Açores durant l'année, la partie de l'anticyclone qui s'étend vers l'Europe en une bande de hautes pressions subit une variation saisonnière de sa position (voir figures nos. 3.1 et 3.2).

L'axe de cette bande de hautes pressions s'étend du sud des Açores aux environs de Gibraltar du mois de décembre au mois de février. Au milieu de l'été, cet axe change sa position vers une ligne allant des Açores au sud de la France. Au nord de ces hautes pressions se trouvent les zones de migration des dépressions. Cependant, la zone de migration peut quelquefois se déplacer vers le sud jusqu'à 20°N (voir figure no. 3.3).

Plus au sud se trouve la zone de convergence intertropicale (zone de calme) c'est-à-dire la zone qui divise les systèmes des vents des hémisphères nord et sud. Sa variation saisonnière est montrée sur les figures nos. 3.1 et 3.2.

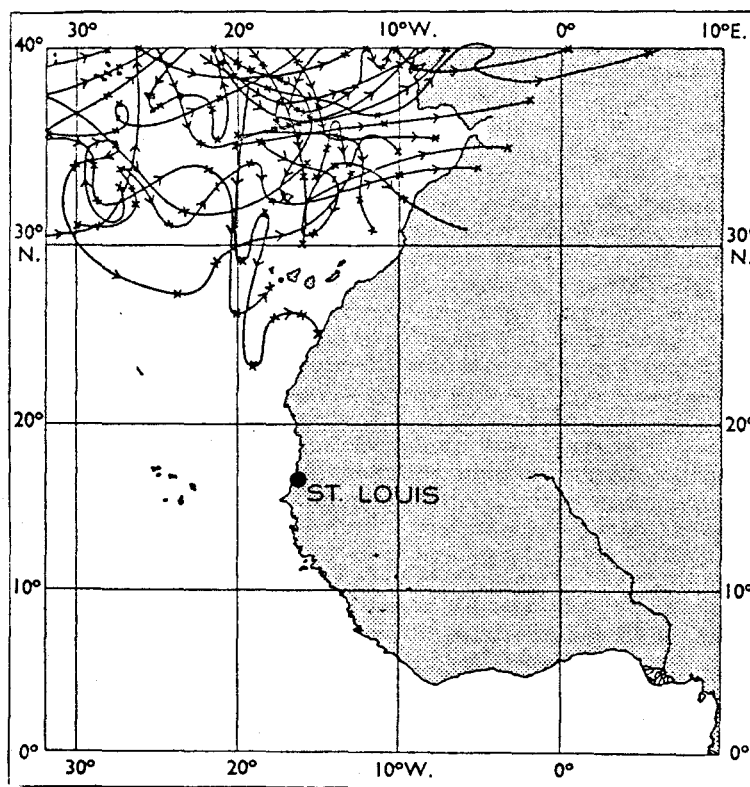


Figure no. 3.3 : Quelques tracés des dépressions de l'Atlantique (période 1955 à 1960). Ref /1/.

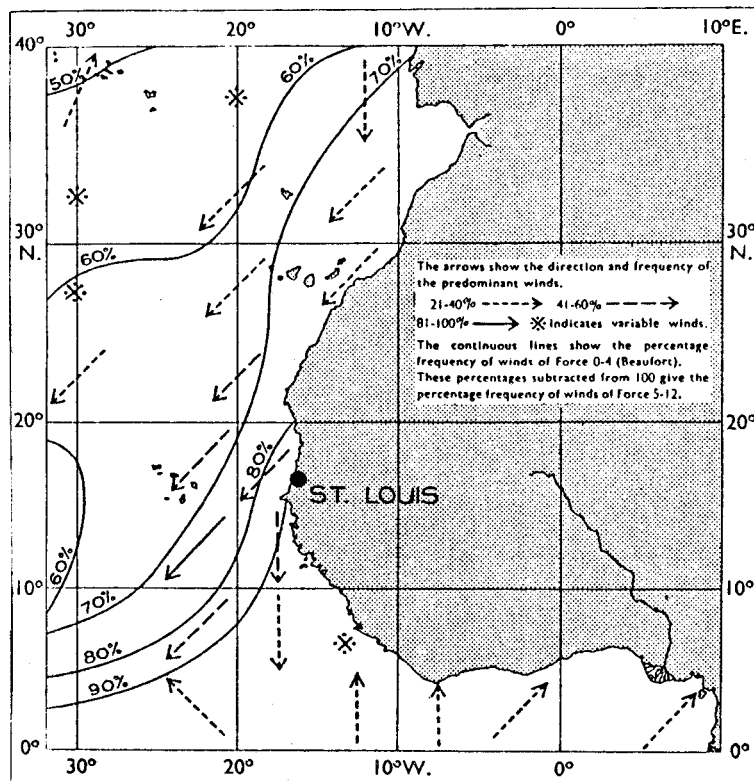


Figure no. 3.4: Direction et constance des vents dominants, janvier, Ref /1/.

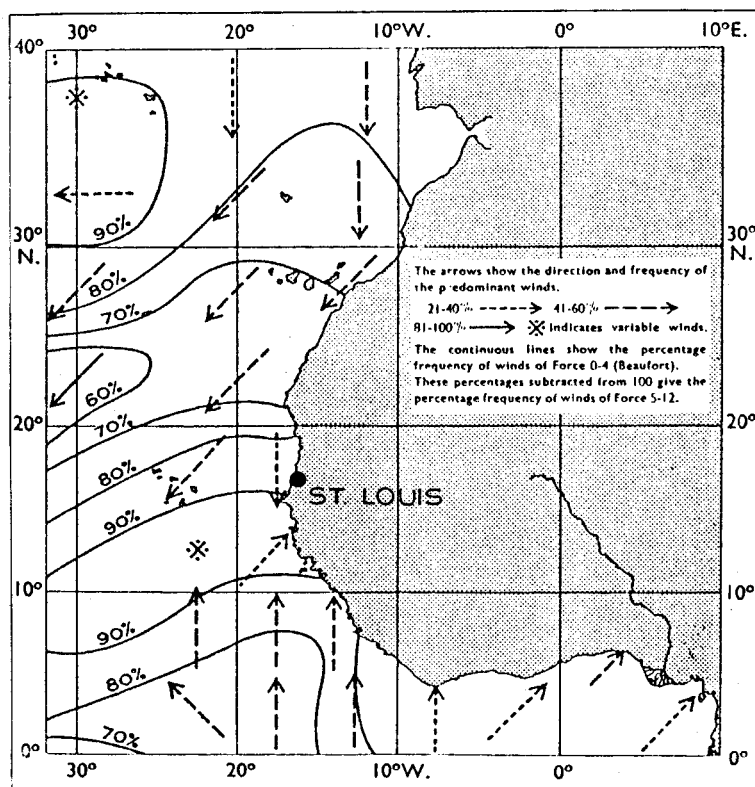


Figure no. 3.5: Direction et constance des vents dominants, juillet, Ref /1/.

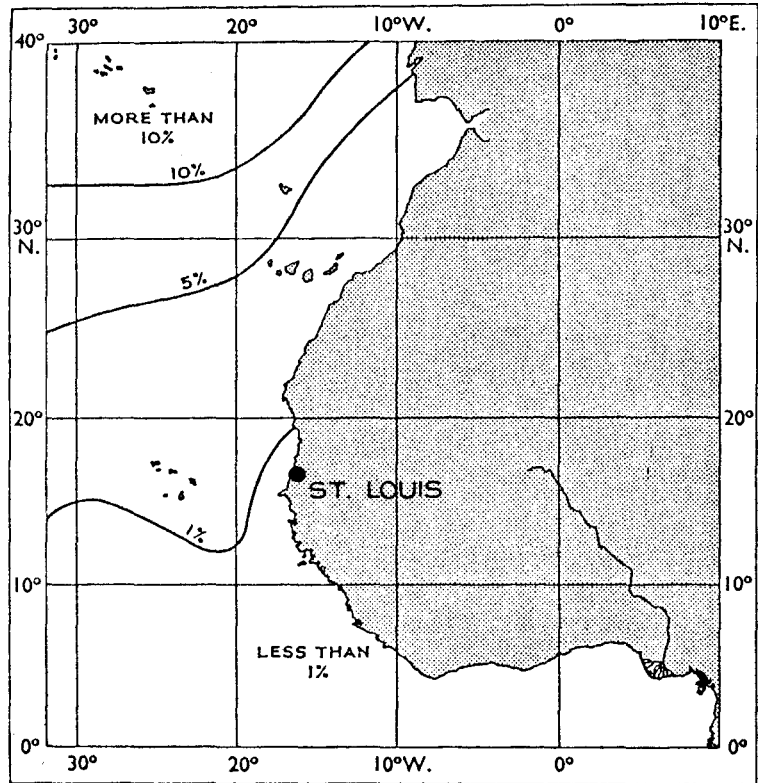


Figure no. 3.6: Gale (force 7), répartition des fréquences, janvier, Ref /1/.

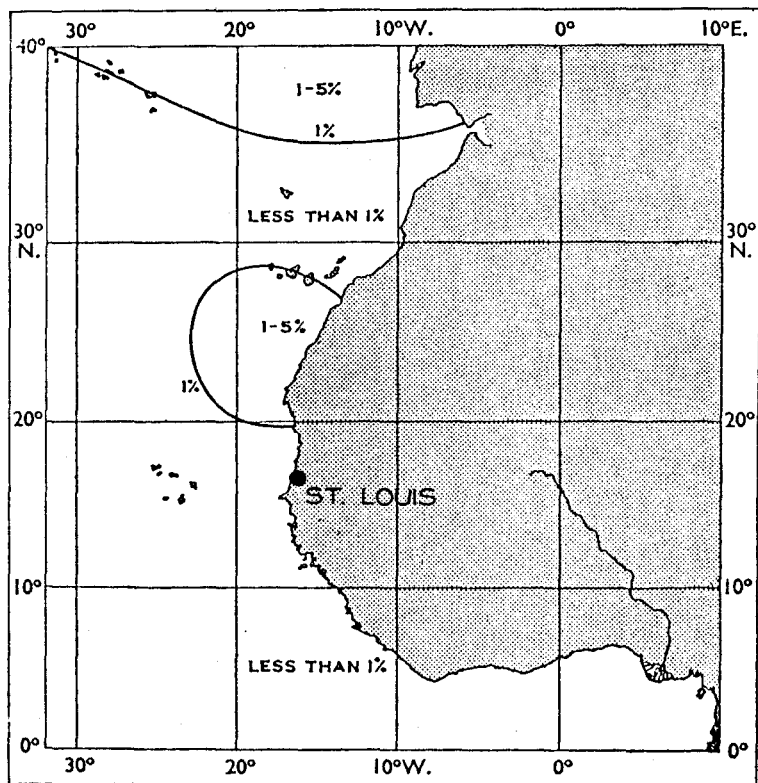


Figure no. 3.7: Gale (force 7), répartition des fréquences, juillet, Ref /1/.

Les vents prédominants causés par les systèmes de pressions décrits ci-dessus sont présentés sur les figures nos. 3.4 à 3.7. Sur ces figures, on peut voir que les vents proches de la côte du Sénégal sont relativement faibles tandis que plus on s'approche des Açores, plus les vents sont forts.

3.2 Analyse statistique

Pour déterminer les fréquences d'occurrence des vents qui dominent la région, une analyse statistique approfondie des données du champ des vents de la zone sud de l'Atlantique Nord a été réalisée. Pour cette analyse, les données suivantes étaient disponibles:

- "Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean. Section IV, Sea and Swell" (ref /2/),
- "Marine Climatological Summary" (ref /3/).

Dans les carreaux de 5 x 5 degrés montrés sur le plan no. 3.1, les fréquences de dépassement ont été calculés pour les 8 directions N, NW, ... NE et les fréquences de dépassement des directions importantes à la génération des houles affectant la côte du Sénégal sont montrés sur les plans nos. 3.2 à 3.5 et dans le tableau no. 3.1.

La vue d'ensemble qui se dégage des diagrammes de ces probabilités de dépassement montre que plus on se dirige vers le sud et vers l'est de la région, plus la vitesse des vents est faible. En se référant au chapitre 3.1, on peut conclure que la migration des dépressions situés au nord et au centre de la région est le phénomène climatique le plus important influençant la génération des houles extrêmes.

Latitude	Longitude	PROBABILITES DE DEPASSEMENT						
		Deg.Ouest	Deg. Nord	3 Heures/ 100 Ans	5 Heures/ 50 Ans	5 Heures/ 20 Ans	10 Heures/ 20 Ans	20 Heures/ 20 Ans
37½	32½		31	29½	27½	27	25½	23
			NO-N	NO-N	NO-N	NO-N	NO-N	NO-N
	22½		28½	27	25	24	23½	21½
			N	N	N	N	N	N
	12½		28	26	24½	23	22	21
			NNO&O	NNO&O	NNO&O	NNO&O	NNO&O	NNO&O
32½	27½		28½	26	24½	23½	22½	21
			NO	NO	NO	NO	NO	NO
	17½		24	22½	21	20½	19½	18½
			N	N	N	N	N	N
27½	32½		25½	24	22½	21½	21	19½
			NO	NO	NO	NO	NO	NO
	22½		21	20	19	18½	18	17
			N	N	N	N	N	N
	12½		23½	22½	21	20½	20	19
			N	N	N	N	N	N
22½	27½		19	18	17½	17	16½	16
			N	N	N	N	N	N
	17½		21½	20	19½	19	18½	17½
			N	N	N	N	N	N

Tableau no. 3.1: Vitesses et directions du vent spécifiques aux probabilités de dépassement données en fonction de la latitude et de la longitude.

3.3 Détermination des tempêtes artificielles pour le modèle "hindcast"

3.3.1 Généralités

Les études de génération de la houle par le vent se basent traditionnellement sur l'une des deux méthodes suivantes dans la détermination des données météorologiques pour le modèle de houle:

- a) Les tempêtes historiques:
Les cartes météorologiques des tempêtes extrêmes sont analysées et les champs des vents de toute la zone du modèle sont déduits.
- b) Les tempêtes artificielles:
La statistique des vents et autres informations sont utilisées dans l'évaluation des tempêtes artificielles.

L'utilisation des tempêtes historiques assure que les "hindcasts" sont tous endéans la gamme d'évènements possibles dans la région en question. D'autre part, il est possible que les parties les plus critiques de cette gamme ne soient pas représentés. Afin d'assurer la couverture de l'entièreté de cette gamme d'évènements, plusieurs années d'enregistrements doivent être rendus disponibles et soigneusement analysés.

Si des données météorologiques suffisantes sur les tempêtes historiques ne sont pas disponibles, la seule autre possibilité consiste à établir des tempêtes artificielles (ou utiliser les tempêtes artificielles standards définies par le "U.S. Weather Bureau").

L'utilisation des tempêtes artificielles implique que la plus grande partie de la transformation des données, des analyses statistiques et de l'évaluation des conditions en nature est réalisée avant les "hindcasts" et non après.

La précision du résultat final ne dépend pas de la méthode choisie mais de la quantité et de la qualité des données disponibles durant l'étude et de l'évaluation précise et correcte des phénomènes physiques dirigeant les conditions du vent.

Peu de données sur les tempêtes historiques ont été rendus disponibles pour cette étude. De ce fait, la méthode des "tempêtes artificielles" a été choisie comme base pour l'étude de génération de la houle.

3.3.2 Formes des tempêtes

Les tempêtes artificielles choisies ont été les dépressions migratoires synthétiques considérées, dans cette étude, comme les phénomènes dominants. Ces dépressions ont eu les caractéristiques suivantes:

- La pression centrale,
- La distance entre les isobares
- L'étendue des dépressions
- Les vitesses de progression des dépressions.

Ces caractéristiques varient avec le temps. Pour un champ de pression donné, la vitesse géostrophique et la direction du vent ont été calculées en utilisant la formule:

$$V_g = \frac{1}{2 \omega \cdot \rho_A \cdot \sin \phi} \cdot \frac{dp}{dn} \quad (3.1)$$

où:

V_g = vitesse géostrophique du vent

ω = $7.292 \cdot 10^{-5}$ radians/s (vitesse angulaire de la terre)

ρ_A = 1.247 kg/m^3 (densité de l'air)

ϕ = latitude

$\frac{dp}{dn}$ = gradient des pressions horizontales.

Cependant, l'utilisation de l'équation 3.1 mène toujours à des vitesses du vent en surface trop élevées. Ceci est dû au fait que l'équation 3.1 ne tient pas compte de la friction dans la couches limites de l'atmosphère. En se basant sur l'analyse statistique des données des vents et des pressions dans la Mer du Nord, Dunn-Christensen, 1975, (ref /4/) et G. S. Rodenhuis et al, 1978, (ref /5/) ont suggéré les corrections sur les vitesses de vent suivantes:

$$\begin{aligned} V &= 0.7 \cdot V_g \text{ pour } V_g < 15 \text{ m/s} \\ V &= 6.82 \sqrt{0.54 \cdot V_g + 1.68} - 11.0 \text{ pour } V_g \geq 15 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (3.2)$$

où:

$$\begin{aligned} V &= \text{vitesse du vent en surface en m/s} \\ V_g &= \text{vitesse géostrophique du vent en m/s} \end{aligned}$$

Les directions des vents observés varient aussi de celles prédites par la théorie des vents géostrophiques. En accord avec cette théorie, la direction du vent est parallèle aux isobares, mais différentes observations ont montré une déviation de 15 degrés vers la zone de dépressions (ref /4/ et /5/).

Connaissant la relation entre la vitesse du vent et le gradient des pressions, uniquement la pression centrale, l'étendue des dépressions et les vitesses de propagation doivent être spécifiés en vue d'établir les dépressions synthétiques. Ces paramètres, évalués à partir des tracés des dépressions d'une durée d'un an, ont été tirées de cartes des pressions de l'Institut Météorologique Allemand. Cette évaluation montre une pression centrale des dépressions les plus sévères de 965 à 955 mb, tandis que la distance entre le centre et les régions ayant une pression de plus de 20 mb par rapport au centre varient entre 450 km et 700 km pour les dépressions les plus sévères. Les vitesses de propagation de ces dépressions varient typiquement entre 20 et 40 km/h.

De la durée du vent tirée des diagrammes de probabilité de dépassement, le champ des pressions et le champ des vents de diverses périodes de retour sont déterminés. Un exemple de la relation entre le champ des pressions et le champ des vents est montré sur les plans nos. 3.6 et 3.7.

3.3.3 Classification et tracés des tempêtes

Afin d'étudier la variation des hauteurs des houles (générées par les dépressions migratoires) à Saint Louis en fonction de la latitude de la dépression, les tracés le long des $37\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$, $32\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$, $27\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$ et $22\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$ ont été retenus. Ensuite, pour chaque tracé de dépression et pour des dépressions ayant une période de retour de 20, 50 et 100 ans, un "hindcast" a été exécuté. Ces tracés sont présentés dans le plan no. 3.8.

Le diamètre de ces dépression est de 1852 km (1000 miles marins) à l'exception de celles le long de $22\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$). Ici le diamètre utilisé est de 1111.2 km (10°). Pour toutes les dépressions la vitesse de propagation utilisée est de 37.04 km/h.

Pour une description plus approfondie de la base sur laquelle les tempêtes artificielles ont été choisies, voir appendice B.

4. CONDITIONS DE LA HOULE

4.1 Général

Les conditions de la houle au large de Saint Louis dans l'Océan Atlantique ont été déterminées à partir des houles d'origines différentes ayant différentes caractéristiques rendant ainsi les états de la mer assez complexes.

Les houles contenant le plus d'énergie sont les houles de périodes longues (swell) provenant de tempêtes lointaines du nord de l'Océan Atlantique. Ces houles arrivent des directions nord à nord-ouest avec des périodes variant entre 8s et 16s. En eau profonde, les hauteurs de la houle sont souvent peu élevées et difficiles à distinguer à cause de la superposition d'ondes courtes et peut-être plus hautes générées localement. Cependant, lorsque la profondeur de l'eau diminue, les hauteurs des houles à périodes longues (swell) augmentent à cause de la très faible profondeur de l'eau (gonflement). Dans la région la plus proche de la côte, les houles à périodes longues qui déferlent ont prouvé être le phénomène dominant.

Les houles générées par des vents modérés d'orientation sud-ouest près du sud de l'Atlantique sont aussi superposées aux houles de périodes longues (swell). Les périodes de ces houles sont plus courtes (de 5 à 8 secondes environ) que les périodes de houles longues (swell) du nord de l'Atlantique et leurs hauteurs sont moins élevées.

4.2 Courte description du modèle mathématique

Le modèle de prédiction de la houle élaboré par IDH tient compte des variations temporelles et spatiales du champ du vent et permet une utilisation beaucoup plus détaillée des informations disponibles que toutes autres méthodes disponibles utilisant des diagrammes basées sur le "fetch" et la vitesse et la durée du vent. Ce modèle est un outil de prédiction de la houle dans les mers où le champ des vents est assez complexe comme dans le cas présent.

Généralement, le modèle d'IDH décrit le champ de la houle à l'aide du spectre d'énergie des fréquences et des directions. L'équation de base qui définit qu'une composante du spectre se propage avec sa vitesse de groupe et dont l'énergie augmente ou diminue en fonction de la vitesse et de la direction du vent est présentée dans l'Appendice A. Les termes croissants et décroissants ainsi que la solution technique sont aussi analysés.

4.3 Préparation du modèle

Les paramètres utilisés dans le modèle sont les suivants:

- Maille: Une maille de 111.12 km (latitude 1°) couvrant 26 x 26 points correspondant à une surface égale à (2778 x 2778) km² (voir plan no. 4.1) a été utilisée.
- Intervalle de temps: Les calculs ont été exécutés avec un intervalle de temps égal à une heure et demi.
- Directions: Les calculs des densités spectrales d'énergie ont été réalisés en utilisant 16 directions de la houle.

Fréquences: 13 fréquences de houles variant entre 0,045 sec^{-1} et 0,225 sec^{-1} correspondant aux périodes entre 4,44 sec et 22,2 sec avec un pas de 0,015 sec^{-1} ont été utilisées dans le modèle.

4.4 Vérification du modèle

4.4.1 Introduction

Afin de vérifier le modèle, des périodes de houles hautes ont été identifiées. Ces périodes ont été tirées des mesures prises en 1971 et 1972 (voir ref /6/). Aucune tempête extrême n'a été trouvée mais, durant 4 périodes, la hauteur significative de la houle, H_s , a excédé 2m.

Un nombre d'Instituts Météorologiques ont été contactés dans le but d'étudier les phénomènes climatologiques qui ont généré les houles pendant ces 4 périodes. Des cartes des pressions et des cartes synoptiques du climat ont été reçues des Instituts Météorologiques Allemand, Espagnol et Sénégalais (via le bbl-sw).

Le phénomène dominant pour 3 des 4 périodes est une haute pression se déplaçant lentement situé à l'ouest du Sénégal ("the Azores High"). Cet anticyclone se situe près des côtes du Sénégal et résulte en houles relativement courtes.

Durant la quatrième période, les houles ont principalement été générées par un système de dépressions qui se déplace approximativement le long du 55°N, et ensuite à l'aide des vents locaux. Cette période (du 2 au 7 février 1972) est donc parfaitement utilisable comme période de vérification, malgré le fait que les tracés des cyclones se situent dans la partie nord du modèle.

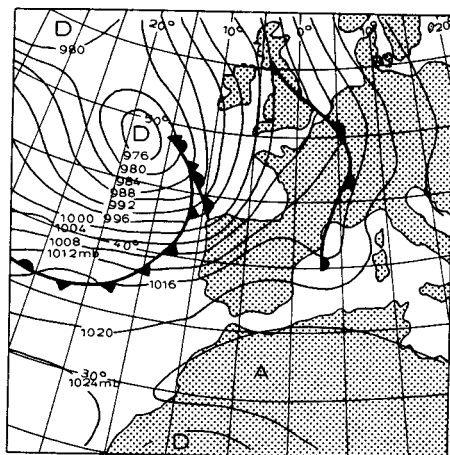
Deux différentes méthodes de la génération du champ des vents ont été considérées:

- 1) Les champs des pressions sont préparées en lisant la pression à chaque point de la maille du modèle sur les cartes des pressions avec des intervalles déterminés. Le champ des vents est ensuite calculé à l'aide de la formule géostrophique des vents.
- 2) Des dépressions synthétiques (pareilles à celles décrites dans la section 3.3) sont adaptées à la situation des pressions en question et le champ des vents est calculé comme décrit dans la section 3.3.

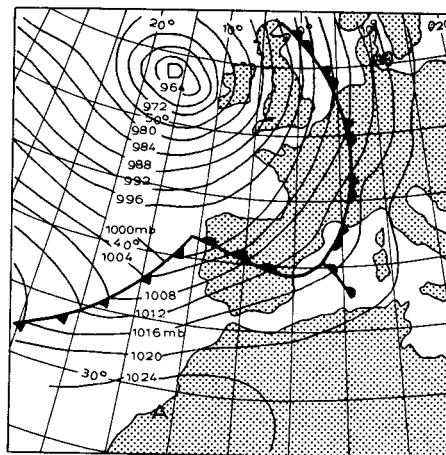
Si des cartes des pressions suffisantes sont disponibles, la méthode a) doit toujours être choisie car cette méthode donne toujours la description la plus correcte. Cependant, si peu de données sur les pressions sont disponibles, la méthode b) doit être choisie, ce qui a été fait dans le cas présent à cause du manque de cartes des pressions à large échelle.

4.4.2 Champs des pressions et des vents

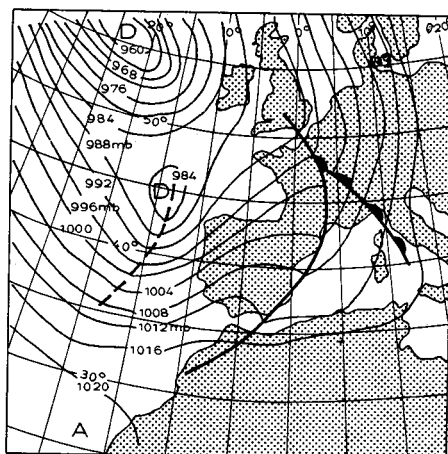
Le développement du système des pressions durant la période de vérification est montrée sur la figure no. 4.1. On peut voir que la dépression se divise en trois dépressions moindres pendant son déplacement vers l'est. De ces trois dépressions, la dépression se situant le plus au sud se déplace vers le sud-est et affecte la côte de l'Afrique de l'ouest. Afin de simuler cette distribution de pression compliquée, deux dépressions synthétiques d'un rayon de 3000 km et des vitesses du vent maximales de 20 m/s et 17 m/s ont été établies.



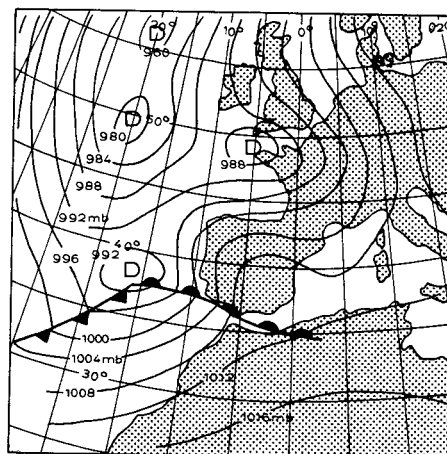
2 FEVRIER 1972



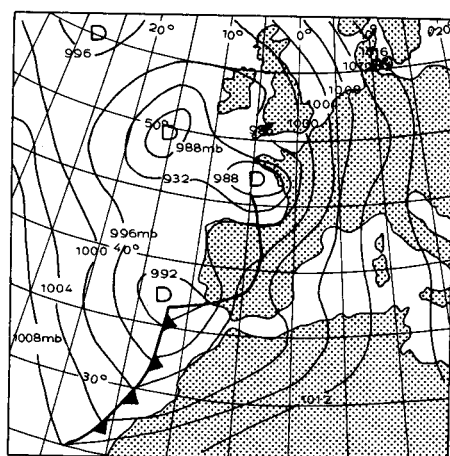
3 FEVRIER 1972



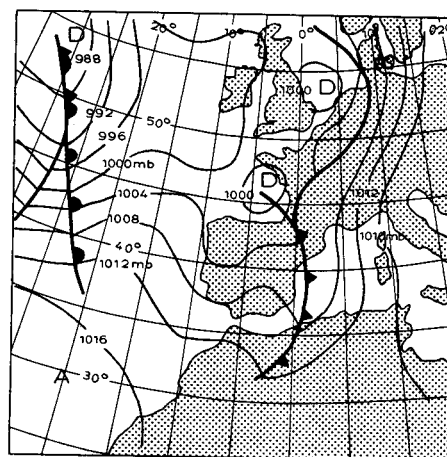
4 FEVRIER 1972



5 FEVRIER 1972



6 FEVRIER 1972



7 FEVRIER 1972

Figure no. 4.1: Cartes des pressions à 00 heures durant la période de vérification du 2 au 7 février 1972 (Servicio Meteorologico Nationale, Spain).

Durant les deux premiers jours, leurs centres se déplacent du $20^{\circ}0, 54^{\circ}N$ à la partie sud-ouest de l'Irlande (vitesse de propagation: 17 km/h) d'où ils continuent, durant les 4 jours restants, à se déplacer dans la direction sud-est (vitesse de propagation: 35 km/h). Le plan no. 4.2 montre les conditions climatiques à 00 heures, le 5 février 1972 tandis que le plan no. 4.3 montre le champ du vent correspondant de la dépression ayant une vitesse du vent maximale de 20 m/s. Un petit champ du vent près de la côte du Sénégal a été ajouté comme montré sur le plan no. 4.3. Ce champ généré par les hautes pressions à l'ouest du Sénégal est basée sur des cartes météorologiques synoptiques locales de 3 heures et est relativement précise.

La raison pour laquelle deux dépressions ont été générées est que les champs des vents générées synthétiquement sont très uniformes et n'ont aucune variation locale comme les dépressions en nature. De ce fait, deux dépressions - une qui surestime et l'autre qui sous-estime les vitesses maximales des vents en question - permet l'évaluation de l'influence des résultats causés par la simplification mentionnée.

4.4.3 Résultats de la vérification

Les résultats de la vérification sont montrés dans les plans nos. 4.4 et 4.5 et, comparé aux mesures sur plan no. 4.6. Une simple procédure de gonflement et de réfraction a été appliquée aux hauteurs de la houle calculées dans le plan no. 4.6 pour obtenir des conditions locales dans une profondeur de 14m, ce qui correspond aux mesures effectuées. Comme prévu, la dépression ayant une vitesse du vent maximale de 20 m/s (plan no. 4.4) surestime la hauteur de la houle, mais la croissance de la hauteur de la houle est reproduite de façon satisfaisante. D'autre part, la période moyenne de la houle, T_z , s'accorde bien. La raison pour laquelle il n'a pas été surestimé est que les houles à périodes très longues générées au nord du modèle n'existent pas dans celui-ci.

Pour la dépression ayant une vitesse du vent maximale de 17 m/s (plans nos. 4.5 et 4.6), il se passe soit une surestimation, soit une sous-estimation de la hauteur de la houle, mais une concordance approximative entre les calculs et les mesures est observée. Une surestimation de la décroissance des houles existe toujours, mais la croissance de la hauteur de la houle et le sommet sont reproduits de manière satisfaisante. La période moyenne, T_z , est cependant généralement sous-estimée par le modèle, mais ceci est cause, comme précédemment, par l'étendue du modèle.

Une autre méthode de vérification du modèle est d'analyser le spectre de l'énergie de la houle. Le spectre de la figure no. 4.2 a été calculé comme la moyenne des deux vérifications calculées de telle façon que la hauteur significative, H_s , en résultant est égale à la hauteur significative, H_s , mesurée. On remarque ici aussi une sous-estimation de la fréquence maximum, mais, la forme du spectre contenant la plupart de l'énergie à des fréquences très basses est satisfaisante.

Il faut également noter que la détermination des valeurs de T_z , toutes les 3 heures est basée sur uniquement 5 minutes d'observations. Cette incertitude n'influence pas les résultats des statistiques à long terme de T_z . Mais, lors de l'utilisation de valeurs individuelles, comme lors de cette vérification (voir plan no. 4.6), l'incertitude de la détermination devient plus importante. Les valeurs qui diffèrent du schéma principal sont donc analysés. Une de ces valeurs est $T_z = 10,5s$ à 9:00 heures, le 6 février 1972. En analysant la bande de l'enregistreur de houle, cette valeur est montrée comme valeur maximum et une valeur de 7,0s peut également être trouvée pour d'autres intervalles ayant une durée de 5 minutes. La meilleure évaluation est 8,2s. Les valeurs de T_z mesurées à 18:00 heures et 21:00 heures, le 6 février sont aussi des valeurs maximales. Des valeurs plus réalistes sont 7,4 et 9,3 s si tous les intervalles de 3 heures sont considérées.

Il peut donc être conclu que le modèle de génération de la houle est capable de reproduire de façon satisfaisante les conditions de la houle mesurées.

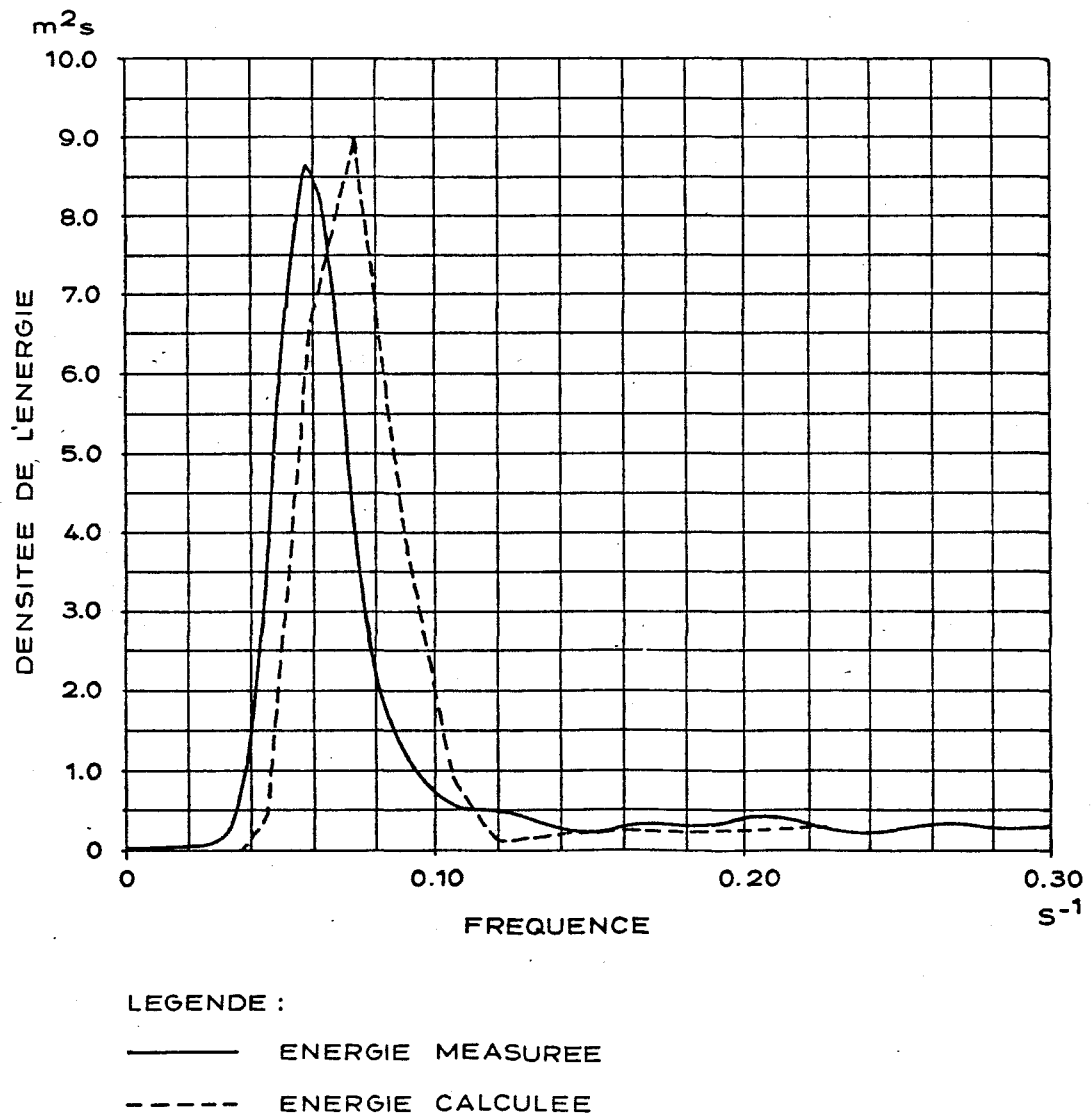


Figure no. 4.2: Spectre de l'énergie calculé et mesuré à 6:00 heures, le 6 février 1972 à St. Louis.

4.5 Résultats des prédictions des états de la mer ("hindcast")

12 dépressions synthétiques ont été choisies pour le modèle de "hindcast" (voir chapitre 3.3.3). Ces dépressions ont été choisies de la manière suivante: pour chacun des tracés montrés sur le plan no. 3.8, 3 dépressions ayant des périodes de retour de 100, 50 et 20 ans ont été générées. En appliquant le modèle de "hindcast", les hauteurs significatives maximales ainsi que les périodes moyennes, T_z , ("zero-crossing") ont été calculées. Le tableau no. 4.1 donne une illustration de ces calculs.

Période de retour		LATITUDE			
		$37\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$	$32\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$	$27\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$	$22\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$
100 ans	H_s m	3.4	3.9	4.4	3.3
	T_z s	15.8	14.5	14.5	12.0
50 ans	H_s m	3.2	3.3	4.0	3.3
	T_z s	15.6	14.2	14.0	11.9
20 ans	H_s m	2.9	3.0	3.7	3.0
	T_z s	15.0	13.8	13.3	11.5

Tableau no. 4.1: Hauteurs significatives, H_s , au sommet de la tempête et périodes moyennes, T_z , pour les 12 dépressions synthétiques.

Pour illustrer la sensibilité des résultats dûs aux changements dans la vitesse de propagation des dépressions, une 13ème dépression a été l'objet d'un "hindcast". Cette dépression a eu une vitesse de propagation de 27,78 km/h par rapport aux autres dépressions ayant une vitesse de 37,04 km/h. Les résultats montrent que les variations des hauteurs significatives de la houle, à

cause du changement dans la vitesse de propagation de la dépression, ont été de moins de 4%. Ceci est en accord avec la théorie de propagation de l'énergie de la houle qui dit que l'énergie de la houle se déplace avec sa vitesse de groupe, et que les hauteurs maximales des houles sont générées quand la vitesse du vent, en soufflant 'au-dessus' de ces houles, reste maximale. La vitesse de groupe de la houle est du même ordre de grandeur que ses vitesses de propagation et il faut, donc, considérer les résultats des calculs de "hindcast" comme conservatrices.

Les plans nos. 4.7 à 4.9 montre des séries des intervalles de temps de 3 "hindcasts" le long du $27\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$. Il faut souligner que les houles à périodes longues générées au début de la simulation ne sont pas réalistes. Ceci provient du fait que les régions loin des zones où les houles sont générées doivent être stimulées ("warmed up") pour obtenir des conditions satisfaisantes.

Une campagne de mesures a été réalisée à Saint Louis (voir ref /6/) pendant les périodes du 8 juillet au 24 septembre 1971 et du 15 novembre 1971 au 16 mars 1972. Le houlographe était placé à une profondeur de 14m. Afin de comparer les résultats des "hindcasts" avec les mesures, une simple évaluation des corrections des hauteurs de houles dues à la réfraction et aux effets de gonflement a été réalisée. Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau no. 4.2.

Période de retour		LATITUDE			
		37½°N	32½°N	27½°N	22½°N
100 ans	α_o deg	60	48	43	36
	$K_s \cdot K_r$	0.80	0.89	0.93	0.92
	H_s near m	2.7	3.5	4.1	3.0
50 ans	α_o deg	58	48	36	35
	$K_s \cdot K_r$	0.82	0.89	0.96	0.92
	H_s near m	2.6	2.9	3.8	3.0
20 ans	α_o deg	55	47	41	36
	$K_s \cdot K_r$	0.84	0.89	0.92	0.91
	H_s near m	2.4	2.7	3.4	2.7

Tableau no. 4.2: Angle d'incidence α_o , coefficient de réfraction, K_s , et de gonflement, K_r , et hauteurs significatives maximales de la houle à Saint Louis (profondeur 14m).

$$H_{s, \text{ near}} = H_{s, \text{ près de la côte}}$$

Les probabilités de dépassement des hauteurs significatives des houles mesurées et des "hindcasts" sont présentés dans le plan no. 4.11, tandis que le plan no. 4.10 montre la relation $H_s - T_z$. Il faut remarquer que pendant que le diagramme d'excès (plan no. 4.11) montre des hauteurs de houles au large et près des côtes, la figure no. 4.10 montre uniquement des hauteurs de houles au large, étant donné que ces valeurs forment les résultats principaux de l'étude.

5. REFERENCES

- /1/ African Pilot, Volum 1, The hydrographer of the Navy, 12th edition, London, 1967.
- /2/ Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean, Section IV, Sea and Swell, U.S. Naval Oceanographic Office, Washington, 1963.
- /3/ Marine Climatological Summary, Area 20°-0°N, 0°-50°S, 50°W-10°E, 70°W-20°E, 1961-1970, no. 11, Deutscher Wetterdienst, 1980.
- /4/ J.T. Duun-Christensen, The Representation of Surface Pressure Field in a Two-Dimensional Hydrographic Model for the North Sea, the Skagerrak and the Kattegat, Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Vol. 28, no. 3, 1975.
- /5/ G.S. Rodenhuis et al., A North Sea Model for Detailed Current and Water-Level Predictions, Journal of Petroleum Technology, October 1978, pp 1369-1376.
- /6/ Surveyer, Nenninger & Chênevert Inc, Chr. Ostenfeld & W. Jonson, Danish Hydraulic Institute, Knud E. Hansen. Sénégal River Ports and Navigability Study, Harbour Studies at Saint Louis, Kayes and Ambidedi. United Nations, Project CON 51/71, February 1972.
- /7/ O. Brink-Kjær, J. Dietrich and K. Mangor, Wave and Current Study for the North Sea Gas Pipeline. Preprint for Symposium on "Directional Wave Spectra Applications", 1981, QSCE 1982.

1. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE PREDICTIF DE HOULE A PARTIR DU CHAMP DES VENTS ELABORE PAR IDH

1.1 Equation de base

Le modèle élaboré par IDH décrit les conditions de la houle à partir des spectres directionnels de celle-ci.

L'équation de base qui définit qu'une composante du spectre directionnel de la houle se propage avec sa vitesse de groupe et est sujette à une augmentation ou une diminution d'énergie en fonction de la vitesse et de la direction du vent, s'écrit de la façon suivante:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \vec{C}_g \cdot \nabla E = \begin{cases} (A+BE) \left(1 - \left(\frac{E}{E_\infty}\right)^2\right) & \text{vent ayant la direction} \\ & \text{des houles, } E < E_\infty \\ -\alpha H_s^2 f^4 E & \text{(A.1.1.1) Pas de vent. Vent ayant} \\ & \text{la direction des houles,} \\ & \text{ } E > E_\infty \\ -\alpha H_s^2 f^4 E - BE & \text{vent opposé à la direc-} \\ & \text{tion des houles} \end{cases}$$

où

- $E(x, y, t, f, \theta)$: énergie du spectre directionnel de la houle
- x, y : coordonnées du repère orthogonal
- t : temps
- f : fréquence
- θ : directions des propagations de la houle
- \vec{C}_g : vitesse de groupe $|\vec{C}_g| = g/(4\pi f)$
- g : accélération de gravité

$A(f, \theta, u)$: terme de croissance
$B(f, \theta, u)$: terme de croissance
$u(x, y, t)$: champ des vents
$E_{\infty}(f, \theta, u)$: spectre de la houle entièrement développé
α	: coefficient d'amortissement ($0.0094s^3 \cdot m^{-2}$)
H_s	: hauteur significative

De l'équation A.1.1.1 on peut voir que, pour une vitesse donnée du vent, le spectre d'énergie de la houle peut croître jusqu'à une certaine limite qui est celle du spectre de la houle entièrement développé. A ce stade, les pertes par déferlement en eau profonde compensent l'apport d'énergie mécanique par le vent.

1.2 Termes de croissance et de décroissance

1.2.1 Termes de croissance

Phillips et Miles ont beaucoup contribué, dans les années 1950 et 60, à l'étude et à la description théorique de la formation de la houle à partir du champ des vents. La combinaison entre la théorie de Miles et de Phillips (Phillips, 1966) fait apparaître une énergie initiale de la houle linéairement croissante avec le temps, ayant ensuite une énergie exponentiellement croissante.

Cependant, une compréhension totale de cette procédure physique n'a pas encore pu être obtenue. Des observations confirment la validité des termes de croissance décrits ci-dessus, mais les valeurs numériques trouvées n'ont pas toujours concordé avec la théorie. Une attention particulière a été tirée sur la formulation empirique des termes de croissance à la fin des années 60 par Inoue (1967) et Barret (1968) aux Etats Unis.

La croissance linéaire du terme $A(f, \theta, U)$ fut proposé par Priestly en 1965. Pour les études des conditions de la houle ("hindcasting") on utilise la formule suivante:

$$A(f, \theta, \vec{U}) = \frac{1.357 \cdot 10^{-16} \omega^3 U^6 \left(\frac{\omega}{U}\right)^{2.23}}{[0.33^2 \left(\frac{\omega}{U}\right)^{2.56} + (k_1 - \frac{\omega}{U})^2] \cdot [0.52^2 \left(\frac{\omega}{U}\right)^{1.9} + k_2^2]} \quad (\text{m}^2)$$

où

(A.1.2.1)

ω = fréquence angulaire ($2\pi f$)

k_1 = $k |\cos \psi|$

k_2 = $k |\sin \psi|$

k = nombre d'ondes $\left(\frac{\omega^2}{g}\right)$

ψ = angle mesuré à partir de la direction du vent

Cette expression s'accorde bien avec la théorie de Barnett (1968) et de Karlsson (1972).

Pour le "hindcast" des houles générées par des ouragans dans le Guld du Mexique, le terme croissant linéairement avec les grandes vitesses des vents a donné lieu à un accroissement trop rapide de l'énergie des dépressions (Cardonne et Al, 1976). Dexter (1974°) a aussi remarqué cette surestimation des dépressions et a proposé le terme $\propto U^4$ au lieu de $\propto U^6$ au numérateur de l'équation A.1.2.1. Snyder et Cox (1966) ont aussi proposé le même terme $\propto U^4$.

L'expérience acquise en utilisant le modèle élaboré par IDH a donné des résultats satisfaisants quant à la prévision des hauteurs des houles pour des vitesses du vent entre 10 et 15 m/s. Il a été décidé d'utiliser l'équation A.1.2.1 pour des vitesses de vent inférieures à 10m/s. Pour des vitesses dépassant 10m/s, U^6 doit être remplacé par $100 U^4$ dans la même équation.

L'expression analytique de la croissance exponentielle des houles utilisée pour les "hindcasts" fut démontrée par Inoue en 1967 et s'accorde bien avec les observations. Elle s'exprime:

$$B(f, \vec{U}) = 2\pi f [2.22 \cdot 10^{-4} \exp(-7000 (\frac{u^*}{c} - 0.031)^2) + 0.119 (\frac{u^*}{c})^2 \exp(-0.0004 (\frac{c}{u^*})^2)] \quad (\text{A.1.2.2})$$

où:

- u^* : vitesse de frottement ($K_o \cdot U/g$)
- K_o : constante de Karman (0,4)
- c : vitesse de phase $g/(2\pi f)$

Pour les directions faisant un angle entre $+ 90^\circ$ avec la direction des vents, une distribution \cos^2 du spectre directionnel a été utilisée.

Le spectre de Pierson-Moskowitz est utilisé comme spectre entièrement développé, soit:

$$E_\infty(f, U) = \frac{8.1 \cdot 10^{-3} g^2}{\omega^5} \exp(-0.74 (\frac{g}{U\omega})^4) \quad (\text{A.1.2.3})$$

Une fois encore, la distribution \cos^2 du spectre directionnel pour les directions faisant un angle de $+ 90^\circ$ avec la direction du vent a été introduite.

1.2.2 Termes de décroissance

La grande dépendance de la fréquence des termes de décroissance utilisés pendant les périodes calmes ou pendant les périodes de vent diminuant d'intensité reflète le fait que l'énergie des hautes fréquences disparaît rapidement pendant que l'énergie des dépressions peut se propager plusieurs milliers de kilomètres sans être affaiblie (Snodgrass et al., 1966). Ce type de terme de décroissance a été proposé par Gelci et al., 1970. Le coefficient d'amortissement correspond à celui spécifié par Karlsson (1972). Pour les houles rencontrant des vents de directions opposées, un terme supplémentaire de décroissance doit être ajouté (voir equation B.2.1.1). Mitsuyasu, Mizuno (1971), Isozaki et Uji (1973) ont proposé un terme de décroissance similaire au terme de croissance exponentiel.

1.3 Solution technique

L'équation (A.1.1.1) se résout numériquement en deux étapes: Premièrement, l'équation homogène de transport est calculée; deuxièmement, les termes de croissance et de décroissance sont inclus. Les calculs numériques de la solution de l'équation homogène de transport doivent être poussés à un ordre élevé, autrement, une dispersion numérique inacceptable en résultera, voir Robert et Weiss, 1966).

Le modèle d'IDH profite du fait que la vitesse de propagation des composantes du spectre directionnel sont connues à l'avance et peut établir une expression explicite de Lagrange d'un ordre supérieur.

L'énergie arrivant a un point est placé à $-c_g \cdot \Delta t$ du point placé au pas précédant. A ce pas dans le temps, l'énergie des 12 points environnants est connue. Les 12 coefficients du polynôme

ci-dessous sont calculés pour donner une corcondance entre le polynôme et les valeurs connues des 12 points de la maille (voir figure A.1).

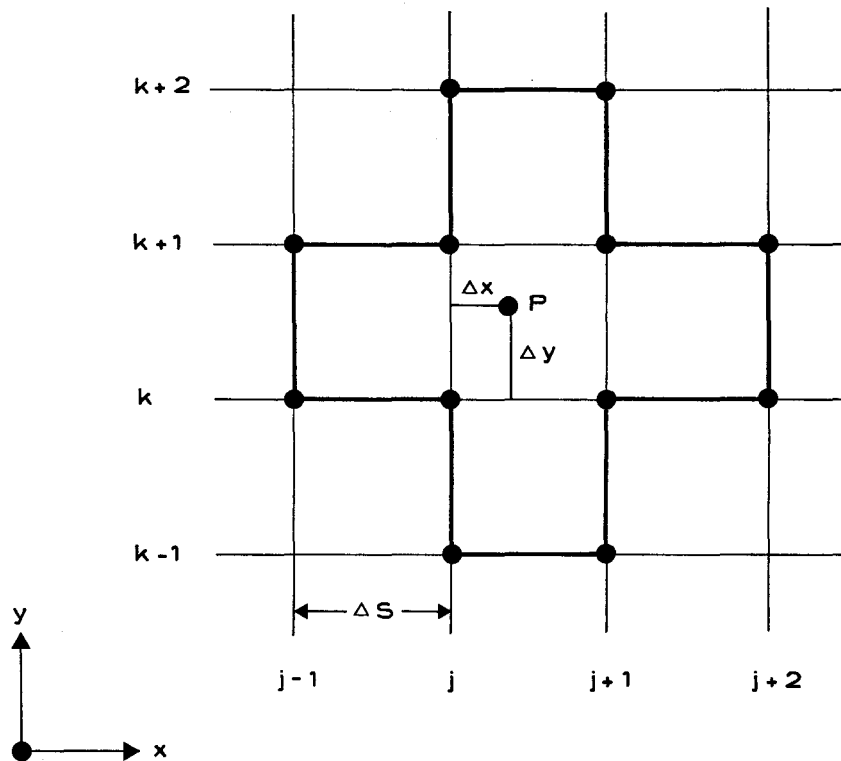
$$\begin{aligned}
 E(\Delta x, \Delta y) = & k1 \\
 & + k2 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right) + k3 \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right) \\
 & + k4 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right)^2 + k5 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right) \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right) + k6 \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right)^2 \\
 & + k7 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right)^3 + k8 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right)^2 \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right) + k9 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right) \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right)^2 + k10 \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right)^3 \\
 & + k11 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right)^3 \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right) + k12 \left(\frac{\Delta x}{\Delta s}\right) \left(\frac{\Delta y}{\Delta s}\right)^3
 \end{aligned}$$

(A.1.3.1)


A cause de la discrétisation des fréquences (vitesse de propagation) et de la directions de la propagation, l'énergie arrivant à un point provient d'une certaine zone, voir figure no. A2. Une valeur moyenne de l'énergie de cette zone a été calculée et transférée au point considéré.

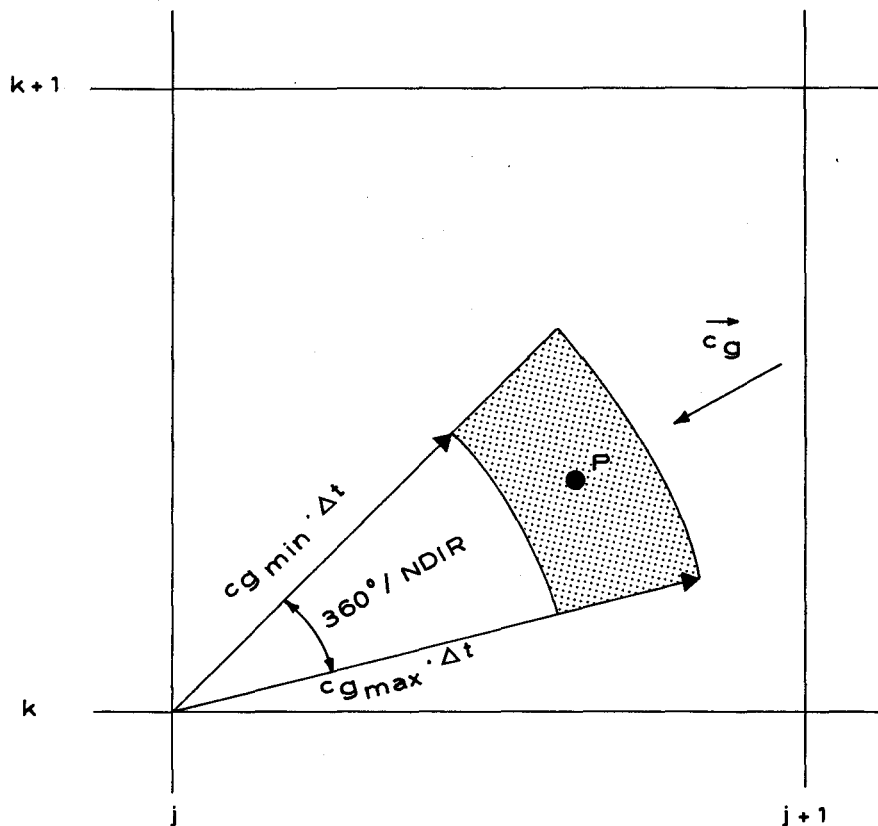
Au voisinage des limites du modèle, les valeurs manquantes du "shéma des 12 points" ont été trouvées à partir de points fictifs choisis en dehors des limites du modèle ("effet de miroir"). Pour tous les points à terre, la valeur ont été égales à zéro. Des essais avec ce type de propagation de l'énergie ont montré une dispersion longitudinale et latérale limitée. La quantité d'énergie totale demeure ainsi constante à $\pm 1\%$ pendant les 45 à 60 heures de simulation.

Après le transfert de l'énergie, la croissance ou la décroissance de l'énergie a été calculée en appliquant l'équation (A.1.1.1).




LA VALEUR DE LA FONCTION AU POINT P EST ESTIMEE
 A PARTIR DES VALEURS DES FONCTIONS DES 12 POINTS
 ENVIRONNANTS.

 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82-986	date 15-11-82	SCHEMA DES 12 POINTS
echelle	init MNR/ALJ	
		plan no. A1



NDIR : NOMBRE DE DIRECTIONS

VALEUR MOYENNE DE L'ENERGIE DE LA
SURFACE HACHUREE EST DEPLACEE AU
POINT (j , k)

 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 15-11-82	SCHEMA DE CALCUL (MODIFIE) DES 12 POINTS	plan no.
echelle	init MNR/ALJ		A2

DETAILS ET COMMENTAIRES SUR LE CHOIX DE TEMPÊTES ARTIFICIELLES

1. Général

Cet appendice décrit la base sur laquelle les tempêtes artificielles ont été choisies ainsi qu'une description plus approfondie de la relation entre les statistiques des vents et les vitesses des vents de ces tempêtes.

Généralement, les paramètres des basses pressions, sauf pour les isobares, n'ont pas été l'objet d'une analyse statistique détaillée, étant donné qu'une telle analyse ne pouvait être effectuée avec les informations disponibles (cartes climatiques synoptiques). Cependant, la qualité de l'évaluation qui pourrait être effectuée ne diffère pas de façon significative de la qualité des autres données utilisées (pour exemple informations sur les vents).

2. Détails sur les caractéristiques des basses pressions

2.1 Pression centrale

Pour l'étude présente, la dimension ou le changement de la pression centrale n'a pas d'effet sur les vents générés étant donné qu'uniquement le degré de pression entre dans le calcul.

2.2. Intervalle des isobares

Pour une vitesse du vent donnée, v , (prise des statistiques des vents décrites dans la section 3 de cet appendice), le degré de pression, dp/dn , (ou intervalle des isobares) est trouvé en résolvant les équations (3.1) et (3.2) pour dp/dn . Les degrés trouvés de cette façon sont alors utilisés pour calculer les vitesses des vents autour de la basse pression centrale (utilisant 3.1 et 3.2), combinant donc les statistiques des vents et les vents cycloniques générés.

2.3 Etendue des basse pressions

Le diamètre des basses pressions est d'importance relativement grande pour les conditions des houles générées. C'est pourquoi une valeur réaliste et peu conservatrice a été choisie. Il faut aussi mentionner que cette valeur conservatrice doit tenir compte du fait qu'aucun autre champ du vent n'a été inclu durant les simulations.

Le modèle n'a donc pas été testé avec différents diamètres, étant donné que la décision finale sur le choix du diamètre doit être basée sur les cartes climatiques (ceci peu importe quels résultats ces tests donneraient).

2.4 Vitesse de propagation

En plus des commentaires sur le test traitant des vitesses de propagation du vent mentionné en section 4.5 du rapport, il a été conclu que pendant que la situation de 'moving fetch' existe, le changement de vitesse de propagation n'affecte pratiquement pas les périodes de houles comparé à par exemple l'effet dû à la variation de la distance entre la région de la génération de la houle et Saint Louis.

Finalement, il faut noter que la vitesse de propagation et la vitesse du vent des basses pressions ne sont pas reliés entre elles: les champs des vents utilisés comme informations de base pour le modèle de génération des houles ont été calculées des champs des pressions (informations prises des statistiques des vents), et la vitesse de propagation de la houle n'entre dans les calculs que comme un déplacement par degrés du champ de pression.

3. Commentaires sur la relation entre les statistiques des vents et les tempêtes artificielles

La base utilisée pour établir les tempêtes artificielles est la conclusion atteinte en section 3.2. Cette conclusion se décrit comme suit:

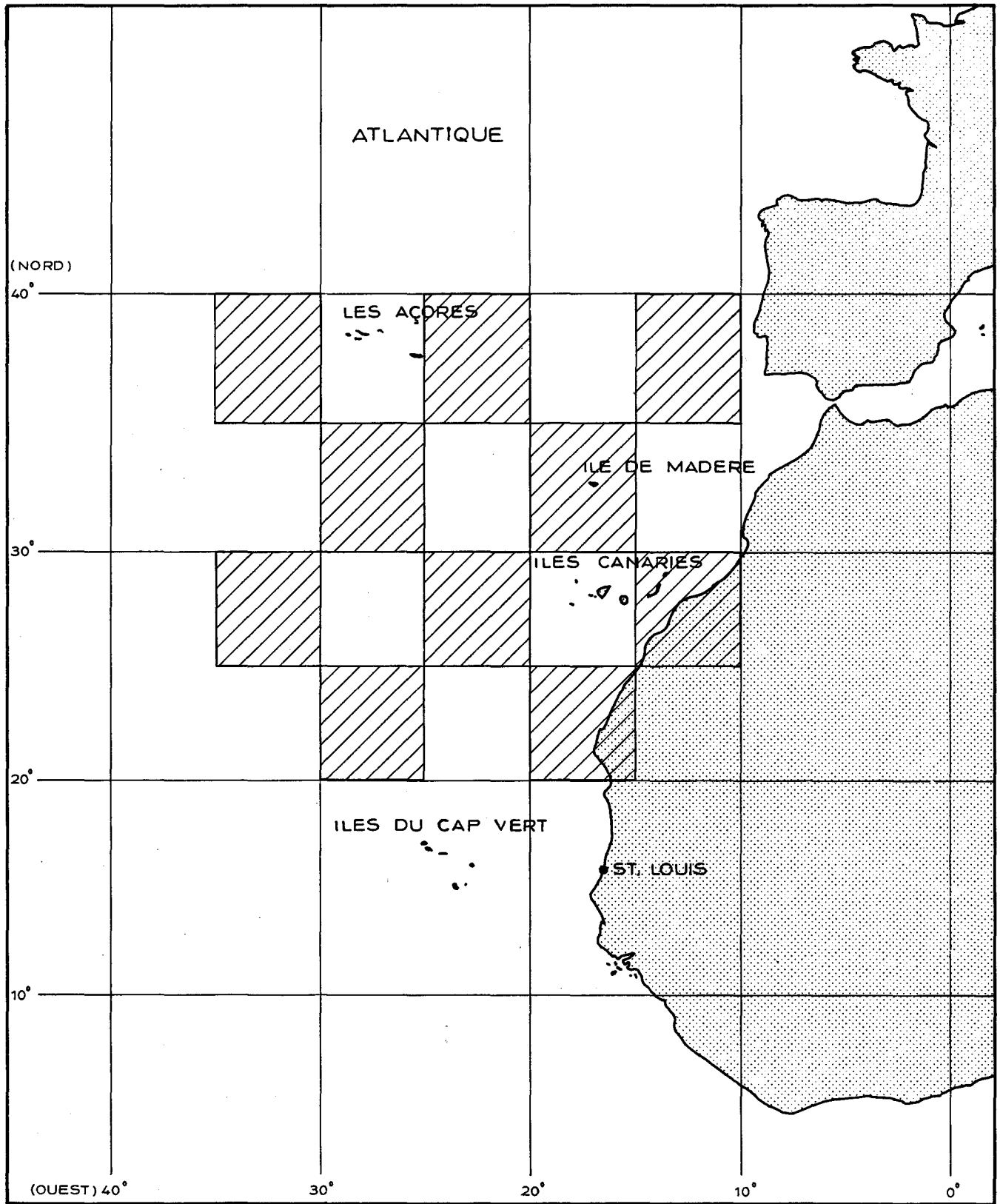
Les basses pressions migrateurs génèrent les vitesses des vents extrêmes et les vents alizés venant du nord-est n'affectent que le climat normal des vents.


Afin d'établir un cyclone de 100 ans, des vitesses de vent ayant des fréquences d'excès de 3 heures/100 ans, 10 heures/100 ans etc sont choisis parmi les diagrammes d'excès. Les cyclones sont alors réunis en cercles concentriques dans lesquelles la vitesse du vent est constante, et ayant un diamètre de 3 heures multiplié par la vitesse de propagation du vent, 10 heures multiplié par la vitesse de propagation du vent etc.

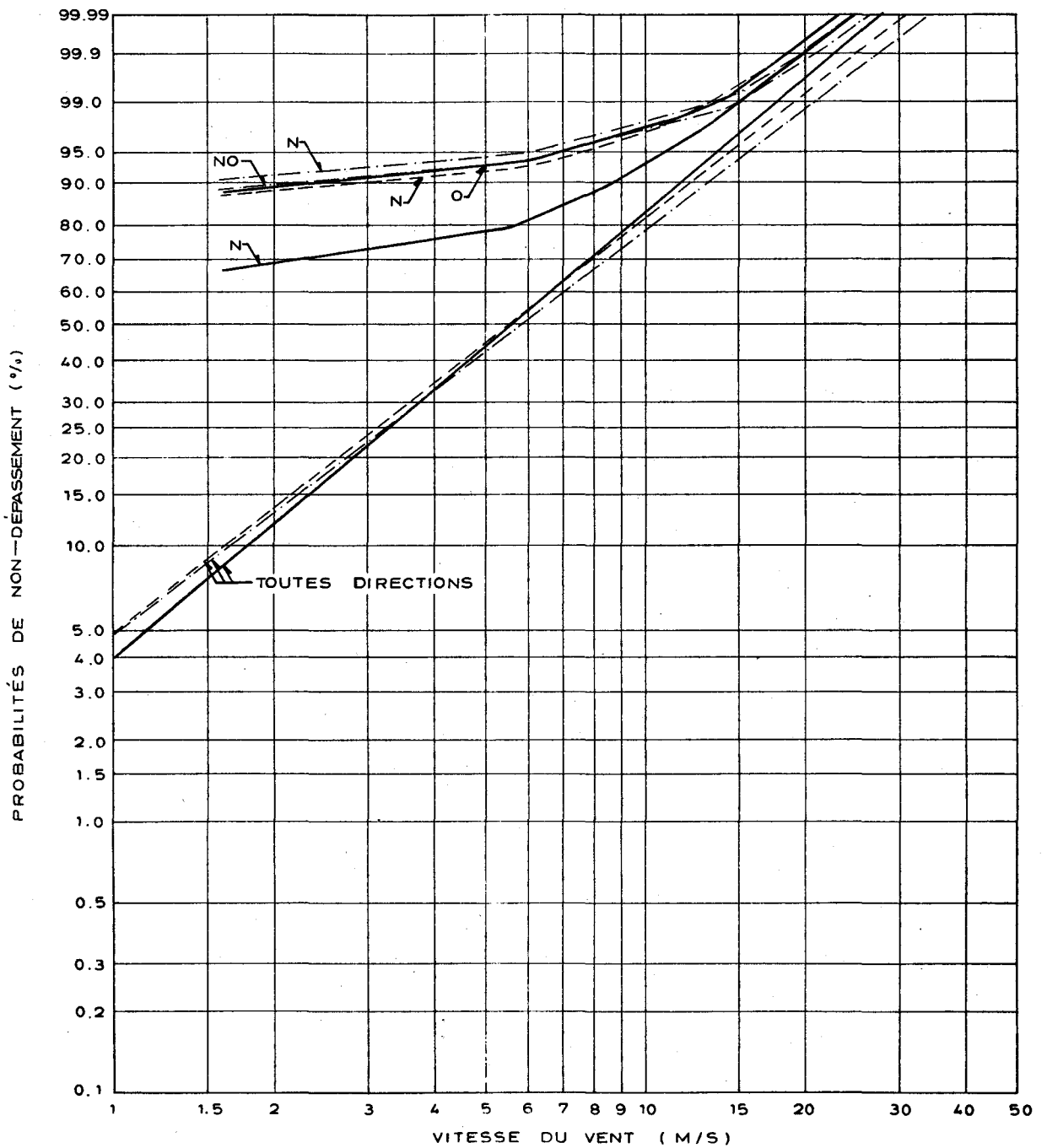
Parmi toutes les directions des vents des diagrammes d'excès, la direction choisie est celle ayant la plus grande importance pour la génération des houles à Saint Louis. Cependant, si un des octants situé à côté de la direction la plus important expérience une vitesse de vent plus rapide, cet octant sera choisi. Par exemple, pour la basse pression le long du $27\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$, la direction la plus importante est NO (à part la région près de la côte africaine), tandis que le vent venant du N a une vitesse plus rapide. C'est cette dernière direction qui sera choisie.

Comme les cyclones bougent vers l'est, leurs centres passent par des régions (carrés) ayant différentes statistiques des vents (voir figure no. 3.1). Pour prendre cette variation (qui est actuellement un décroissement) en compte, les cyclones se élargissent lentement (uniquement quelques degrés sont nécessaires). Cependant, les champs des vents couvrent aussi 5° au nord et au sud des tracés des régions où les statistiques des vents ont également été établis; et ici existe souvent une certaine surestimation des

fréquences d'excès. En ce qui concerne la vitesse des vents, la surestimation est minime tandis qu'elle peut paraître plus grande en ce qui concerne la fréquence d'excès. Par exemple un changement de vitesse du vent de 23 m/s à 24 m/s peut correspondre à un changement dans la fréquence d'excès de 3 heures/100 à 0.3 heures/100 ans. Mais, en considérant le fait que les vitesses du vent de la magnitude mentionnée sont trouvées par extrapolation et contiennent de ce fait un pourcentage d'inexactitude, la surestimation ne possède donc pas trop de conservatisme.




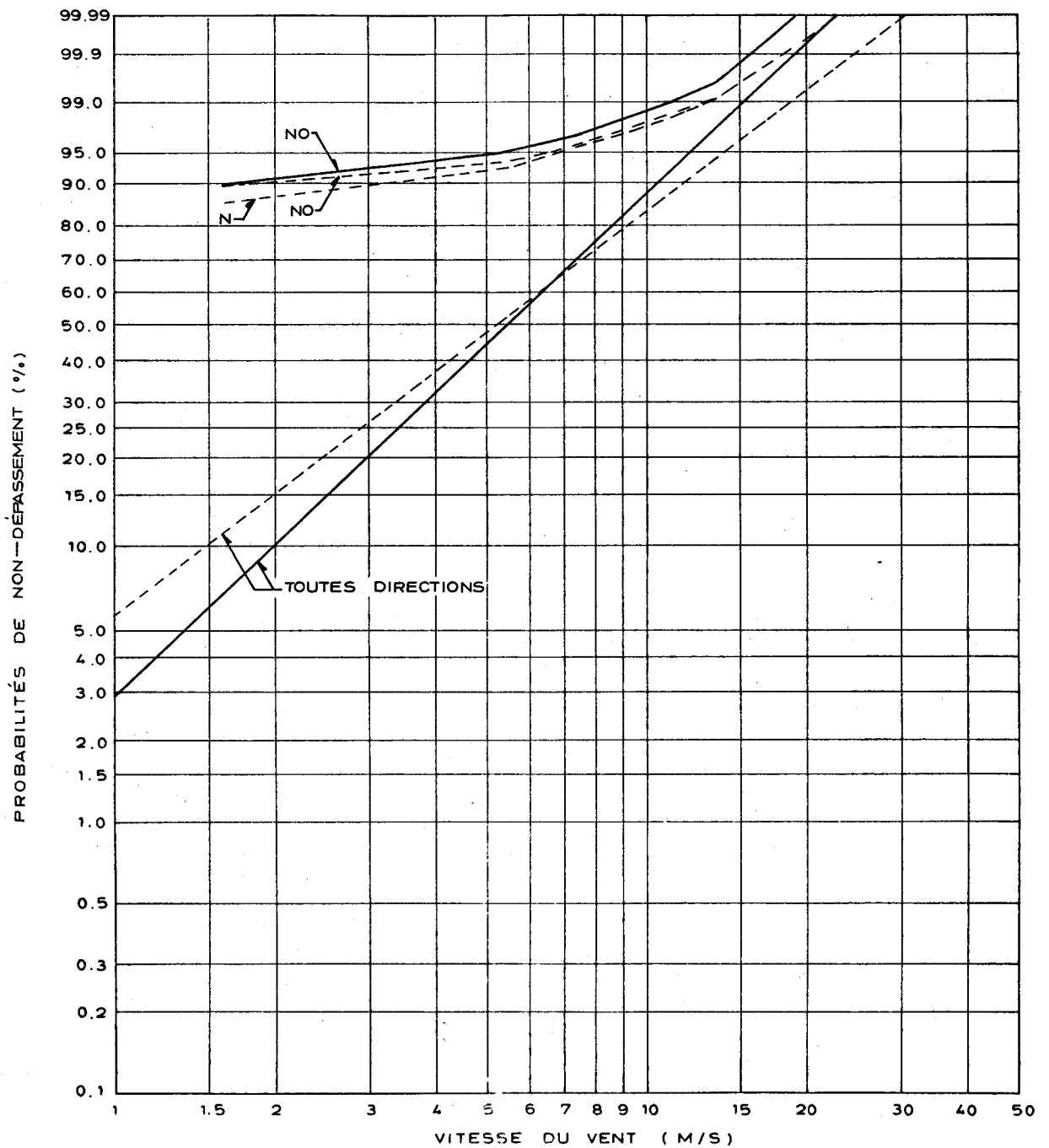
 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 17-11-82	CARREAUX OÙ L'ETUDE STATISTIQUE DES VENTS EST REALISÉE	plan no
echelle 1: 27.000.000	int MNR/ALJ		3.1




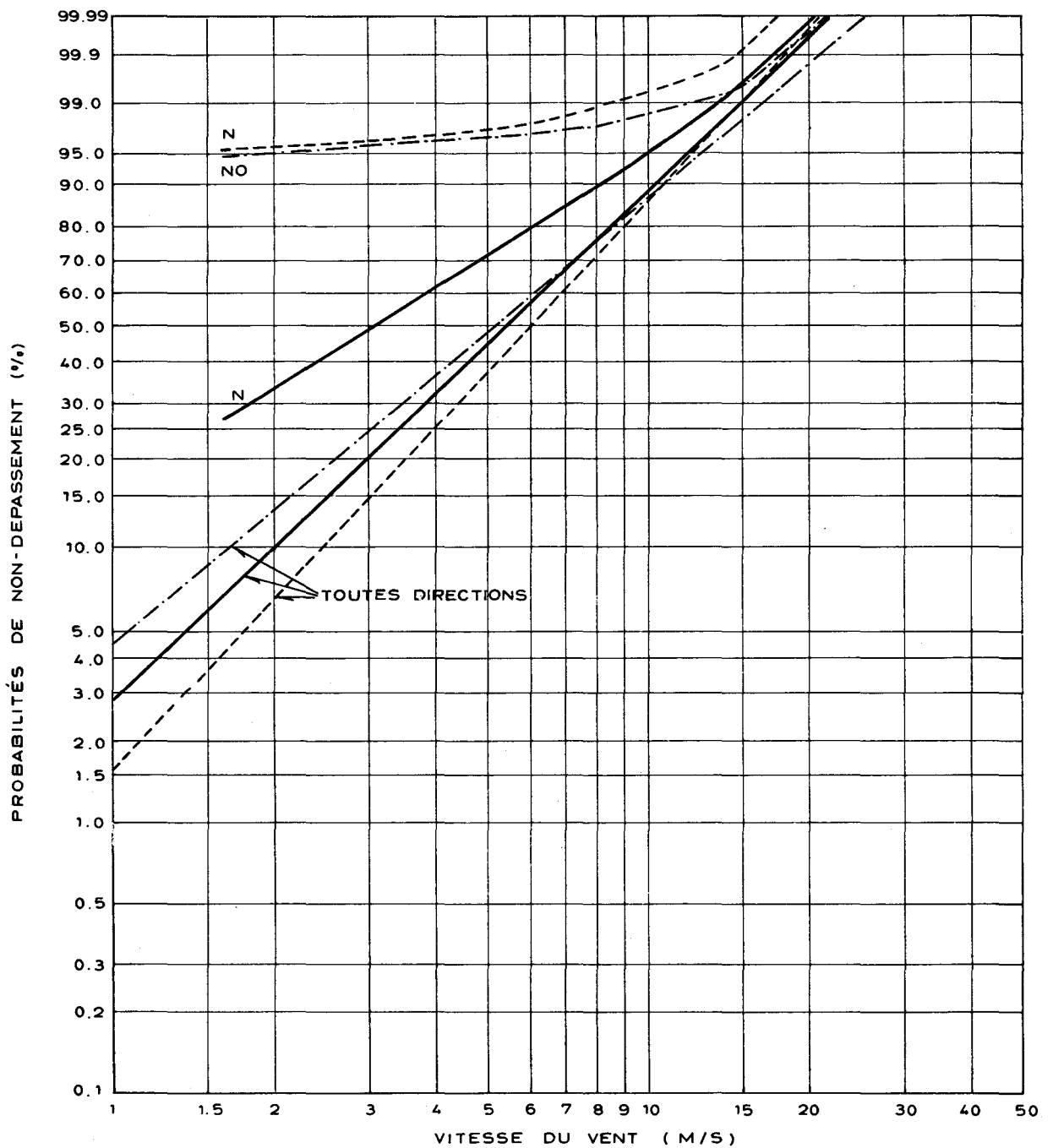
LEGENDE :


- CARREAU LIMITANT LE 10 ET LE 15° O, LE 35 ET LE 40° N
- - - CARREAU LIMITANT LE 20 ET LE 25° O, LE 35 ET LE 40° N
- · - · CARREAU LIMITANT LE 30 ET LE 35° O, LE 35 ET LE 40° N

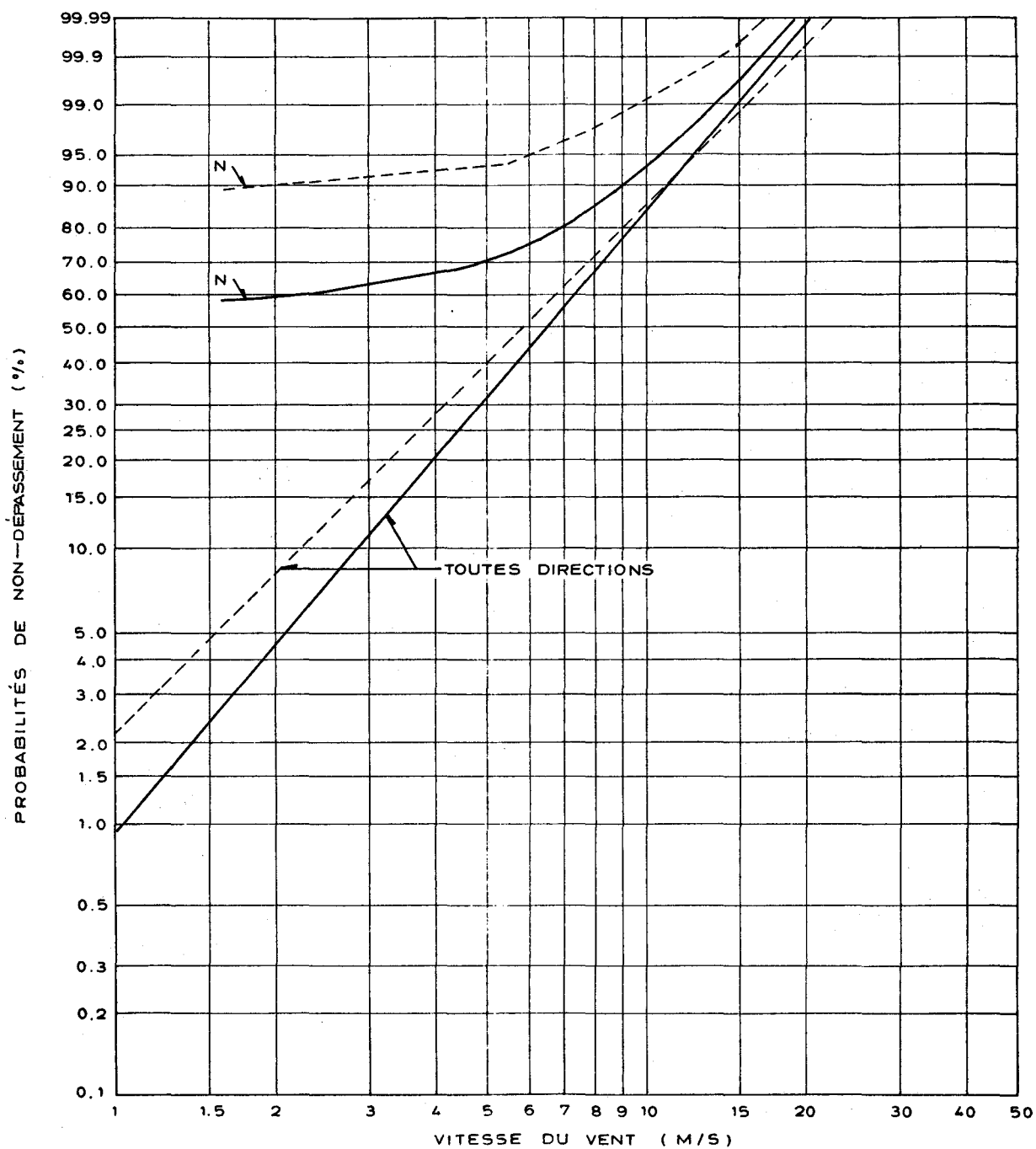
 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82-986	date 19-11-82	DIAGRAMME SUR LES PROBABILITES DE DEPASSEMENT POUR LES CARREAUX COMPRIS ENTRE LE 35° N ET LE 40° N
echelle	init MNR/ALJ	



 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82 -986	date 19-11-82	DIAGRAMME SUR LES PROBABILITES DE DEPASSEMENT POUR LES CARREAUX COMPRIS ENTRE LE 30° N ET LE 35° N
echelle	init MNR/ALJ	plan no 3.3




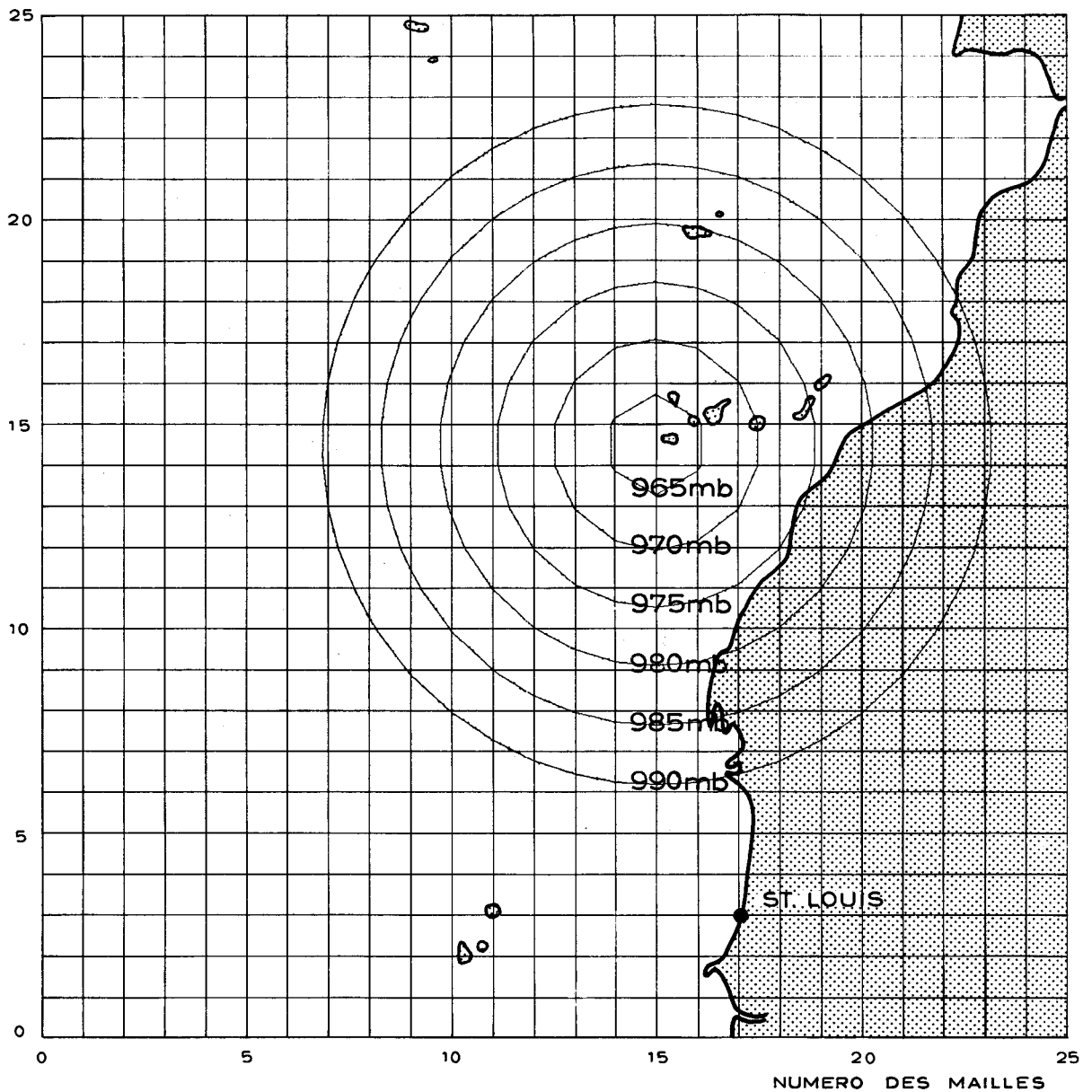
 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTE		plan no. 3.4
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 18-11-82	DIAGRAMME SUR LES PROBABILITES DE DEPASSEMENT POUR LES CARREAUX COMPRIS ENTRE LE 25°N ET LE 30°N	
echelle	init MNR/ALJ		




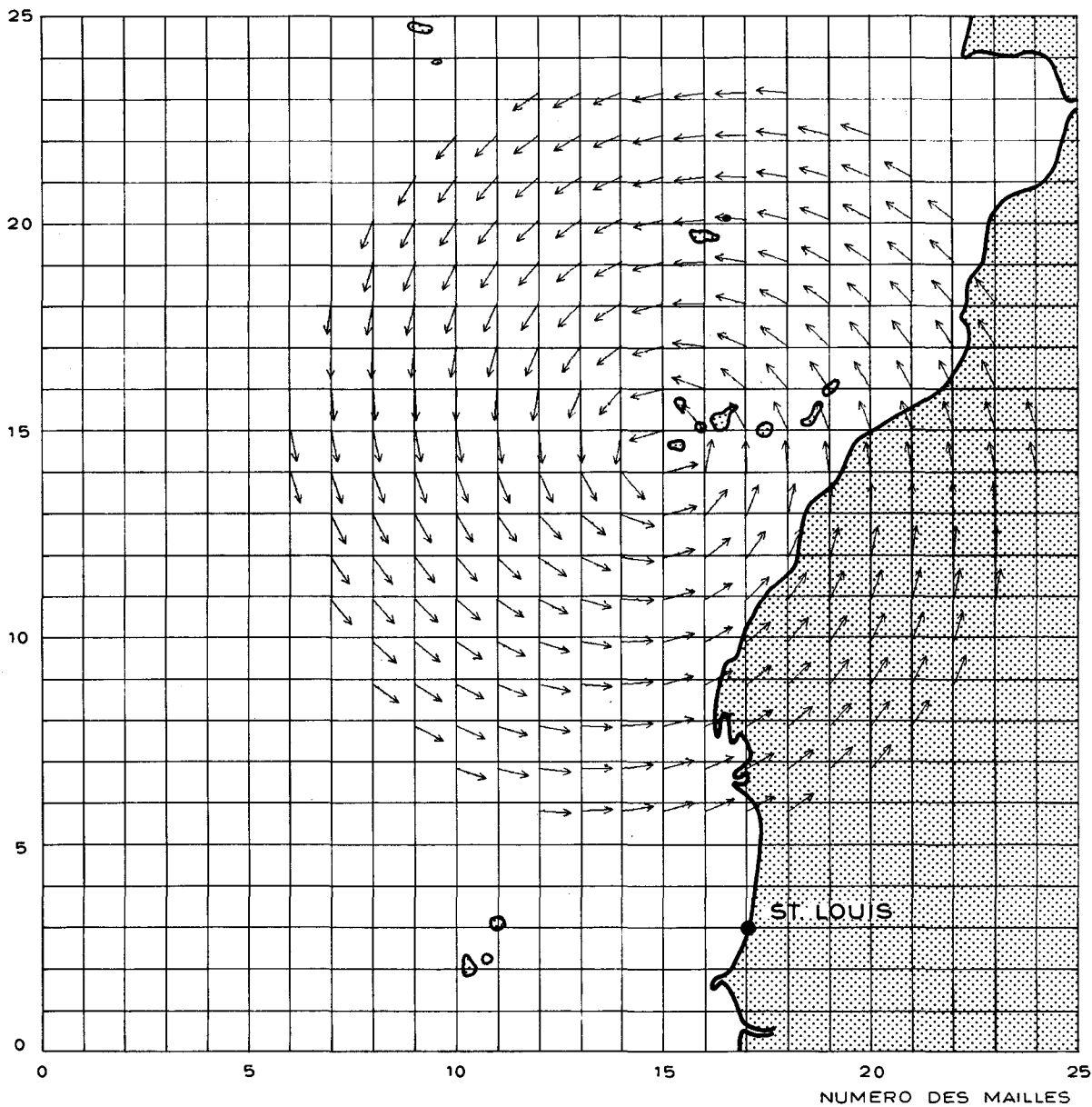
LEGENDE :

- CARREAU LIMITANT LE 15 ET LE 20° O, LE 20 ET LE 25° N
- - - CARREAU LIMITANT LE 25 ET LE 30° O, LE 20 ET LE 25° N


	institut danois d'hydraulique		BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
			OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82 -986	date 19-11-82	DIAGRAMME SUR LES PROBABILITES DE DEPASSEMENT POUR LES CARREAUX COMPRIS ENTRE LE 20° N ET LE 25° N		plan no.
echelle	init MNR/ALJ			3.5

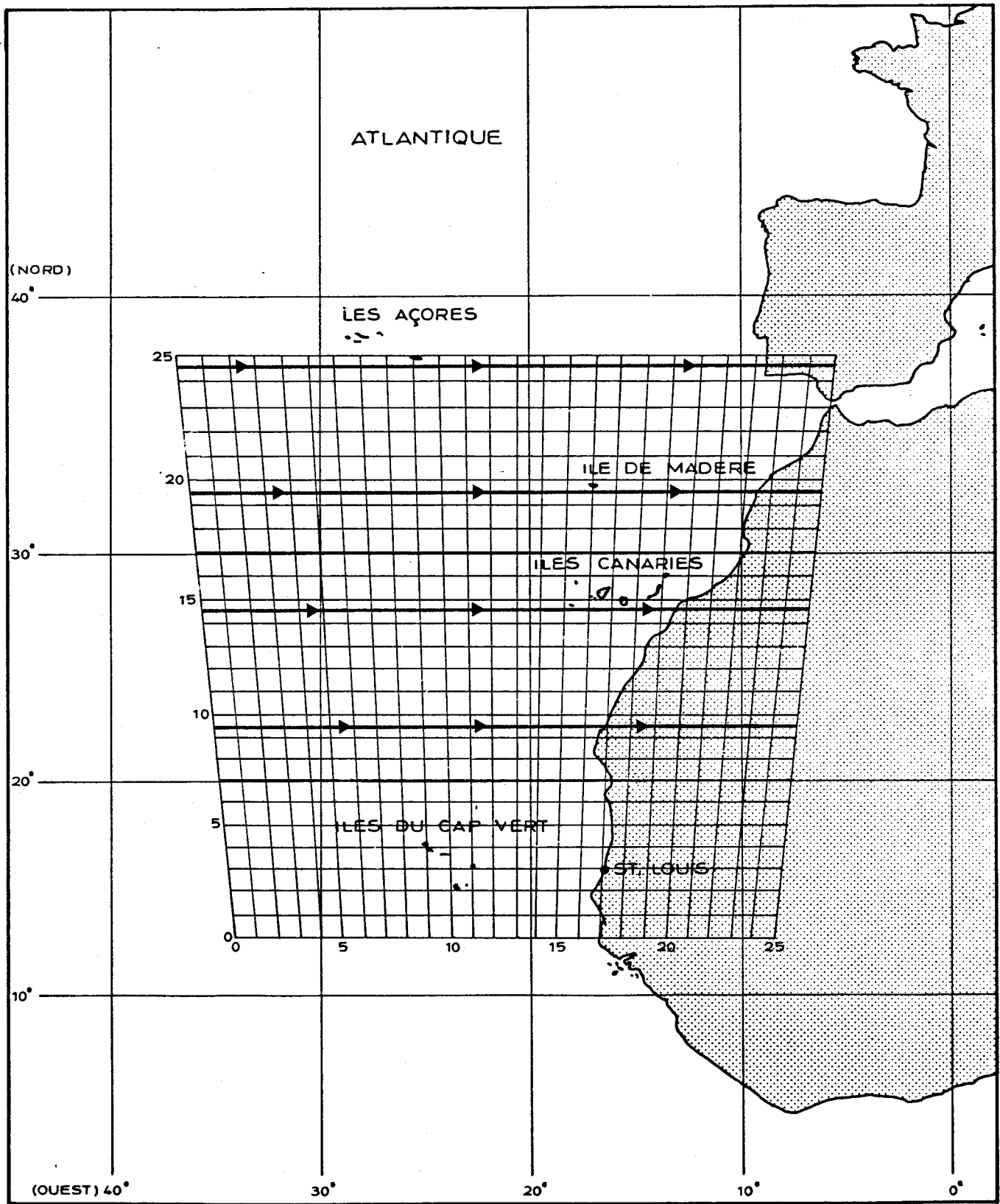



 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTE		plan no. 3.6
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 16-11-82	CHAMP DES PRESSIONS POUR UNE DEPRESSION CENTENAIRE LE LONG DU 27 1/2°N.	
echelle 1:18.250.000	init MNR/ALJ		

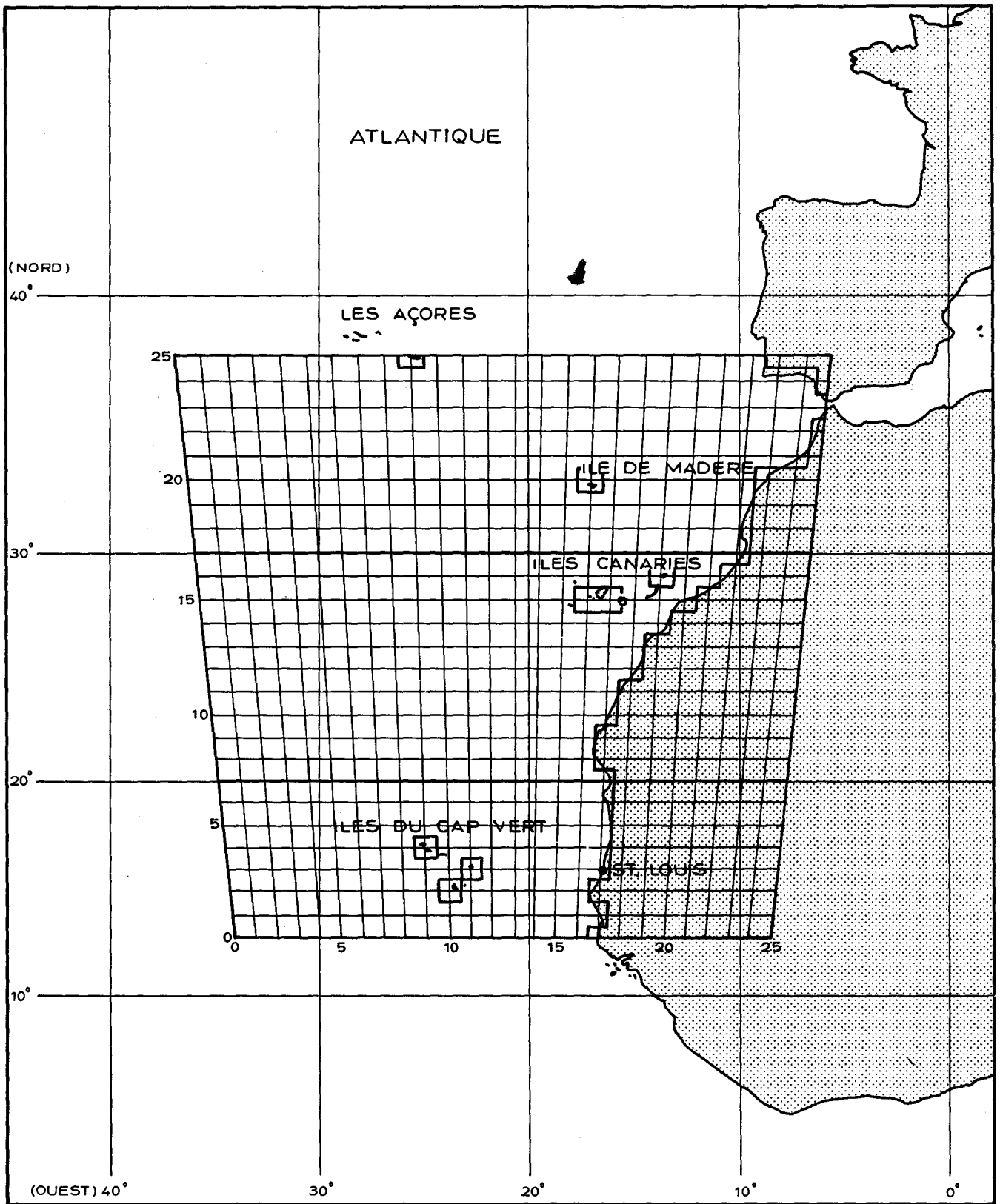



ECHELLE DES VITESSES DU VENT : → 20 m/s

 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTE		plan no. 3.7
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 17-11-82	CHAMP DES VENTS POUR UNE DEPRESSION CENTENAIRE LE LONG DU 27 1/2 °N.	
echelle 1:18,250,000	init MNR/ALJ		

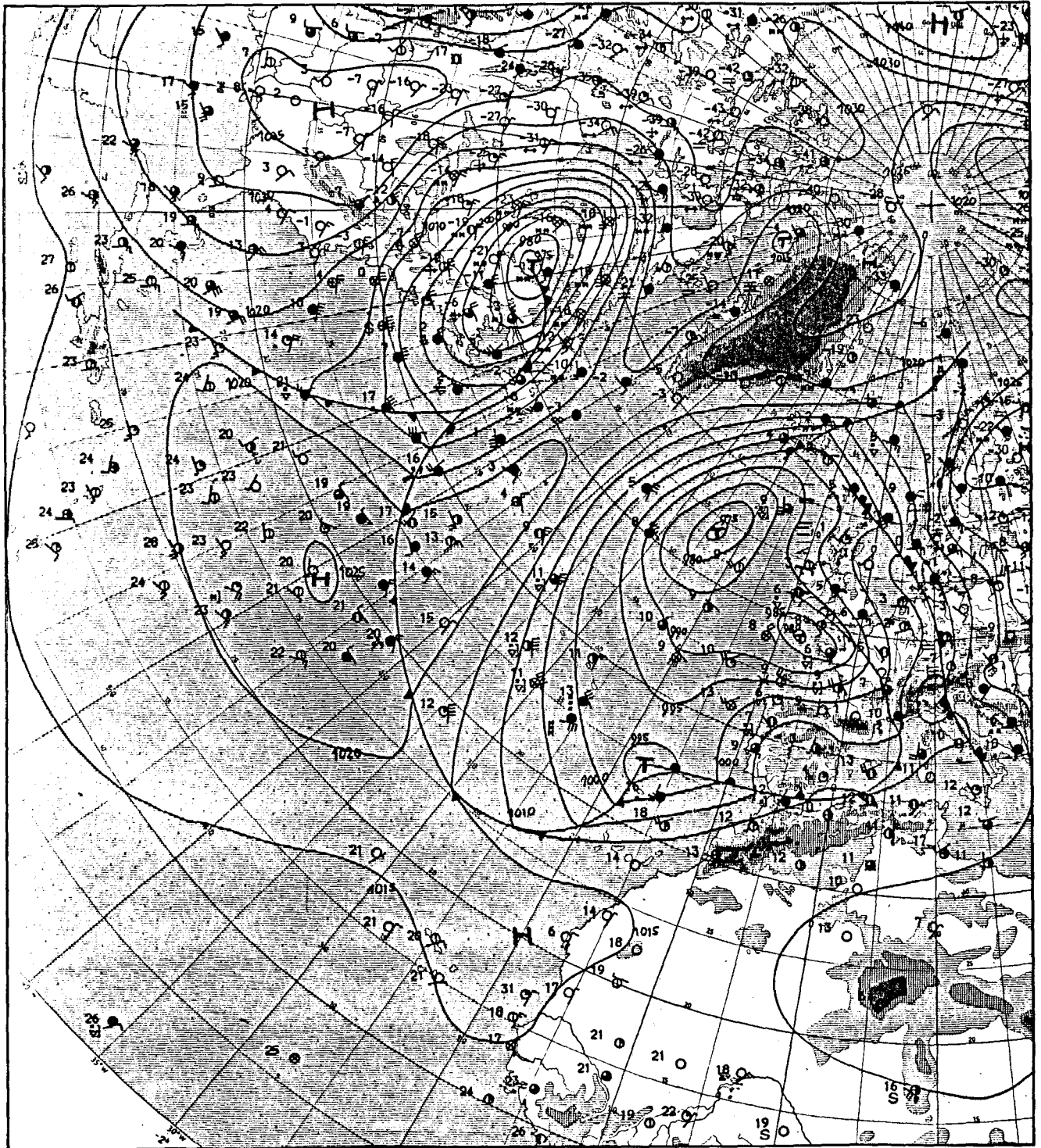


 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82-986	date 18-11-82	TRACÉS DES TEMPÊTES ARTIFICIELLES
echelle 1:27.000.000	par MNR/ALJ	
		plan no 3.8




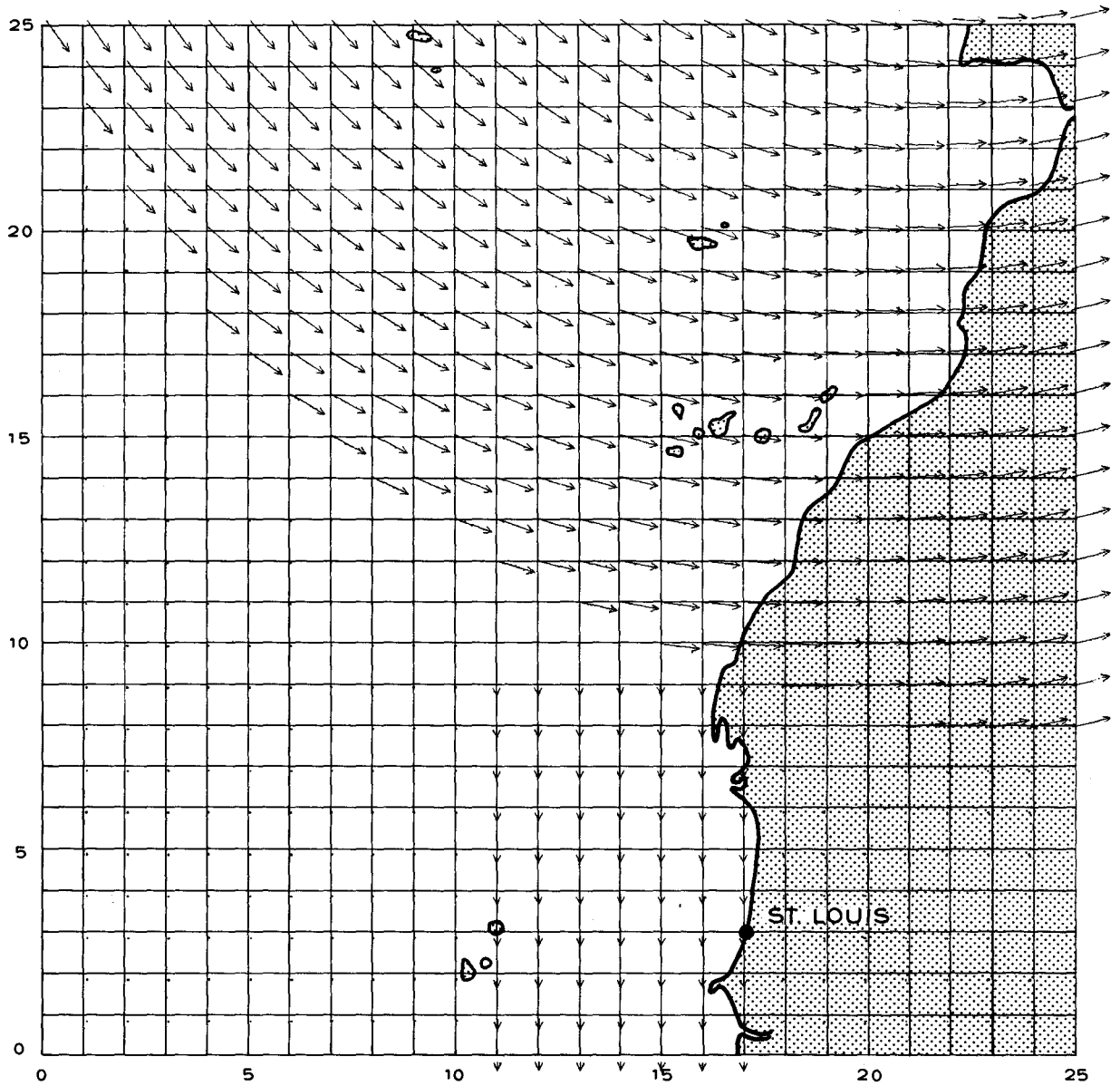
 institut danois d'hydraulique	
projet 82-986	date 19-11-82
echelle 1:18.250.000	int MNR/ALJ

BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
MAILLE DU MODELE	
plan no 4.1	




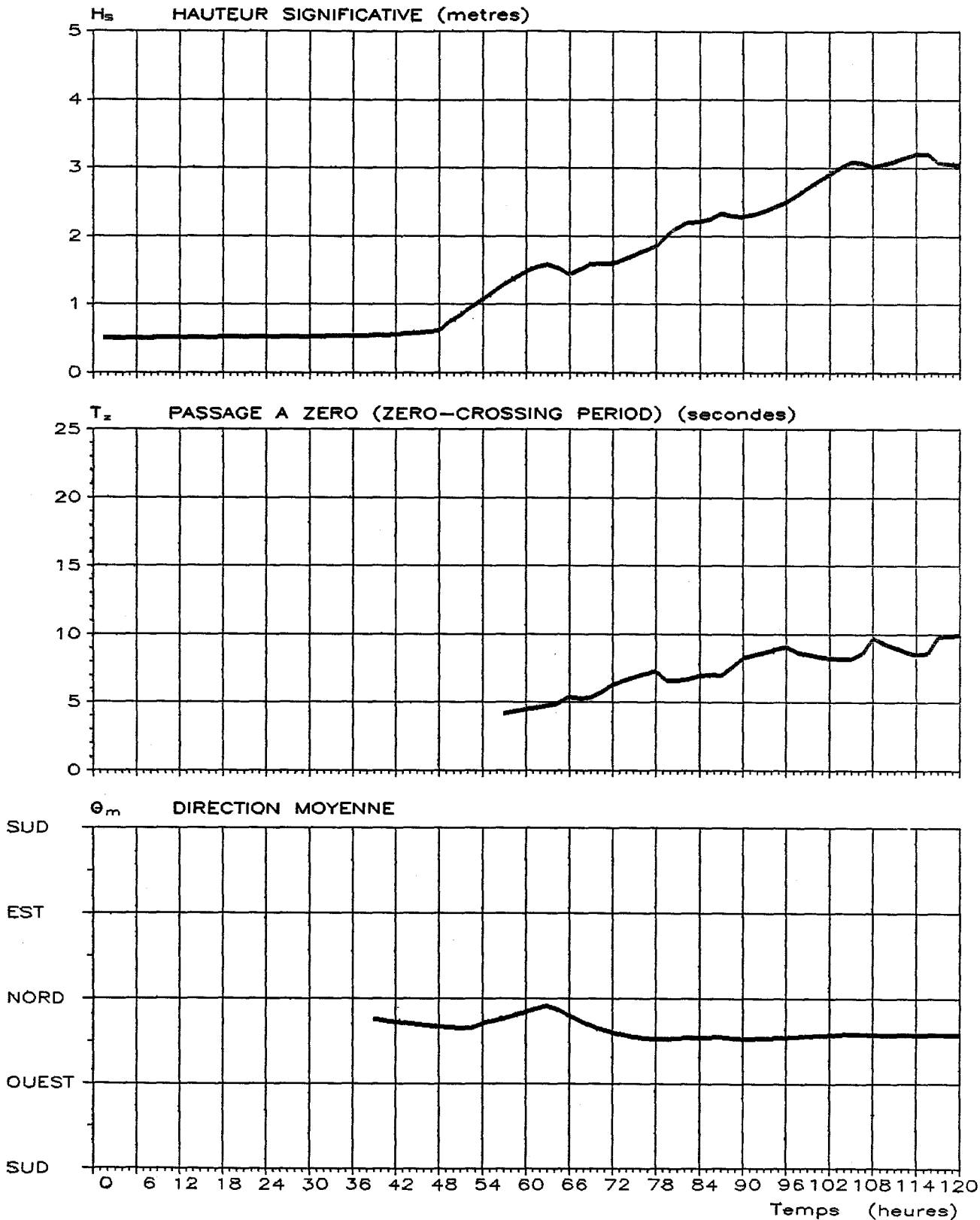
DEUTCHER WETTERDIENST


 institut danois d'hydraulique		BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
		OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82 -986	date 29-12 -82	CARTE SYNOPTIQUE, 5 FEVRIER 1972, OOH.	plan no.
echelle 1:60.000.000	init MNR/ALJ		4.2

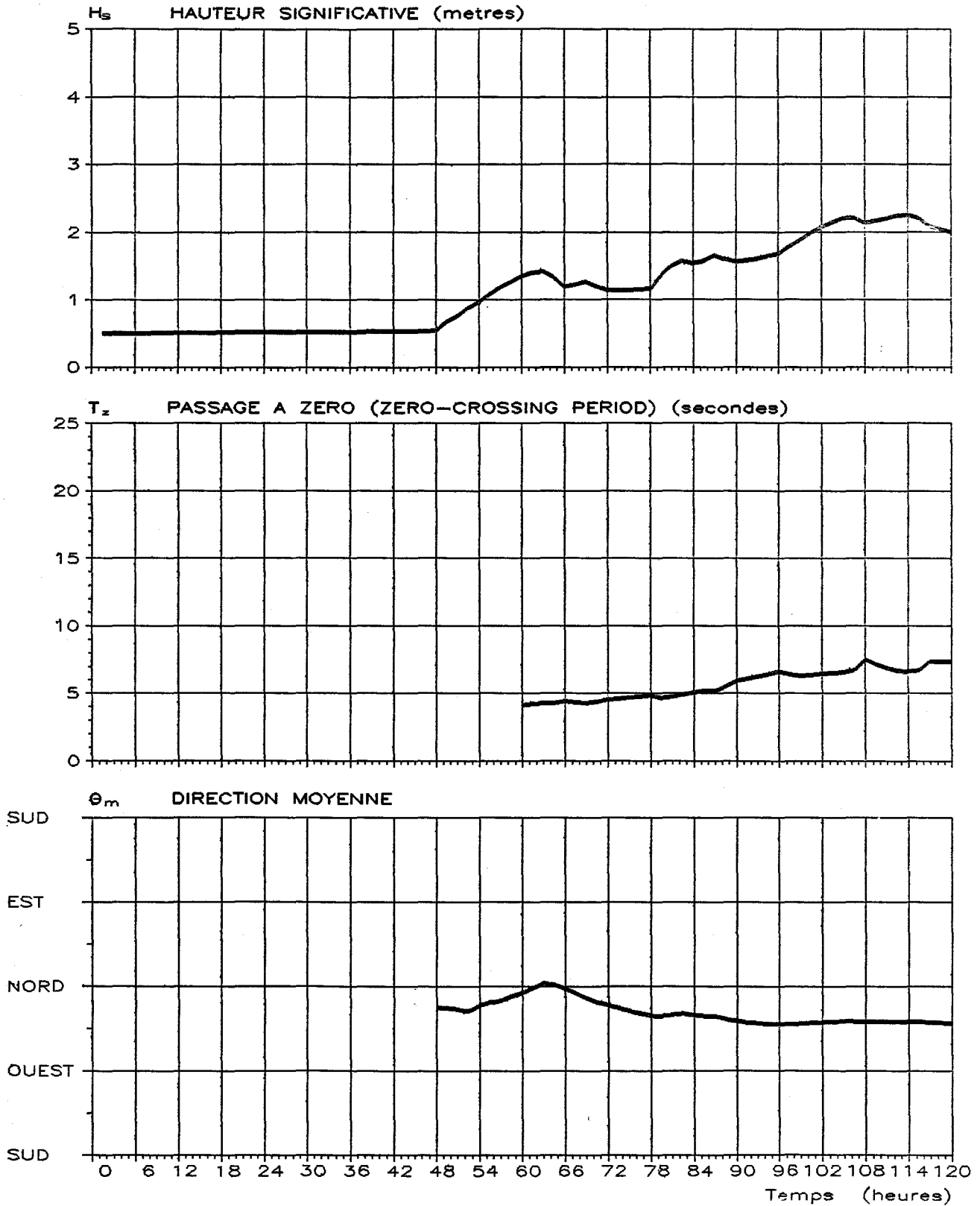



ECHELLE DES VITESSES DU VENT ; → 15 M/S

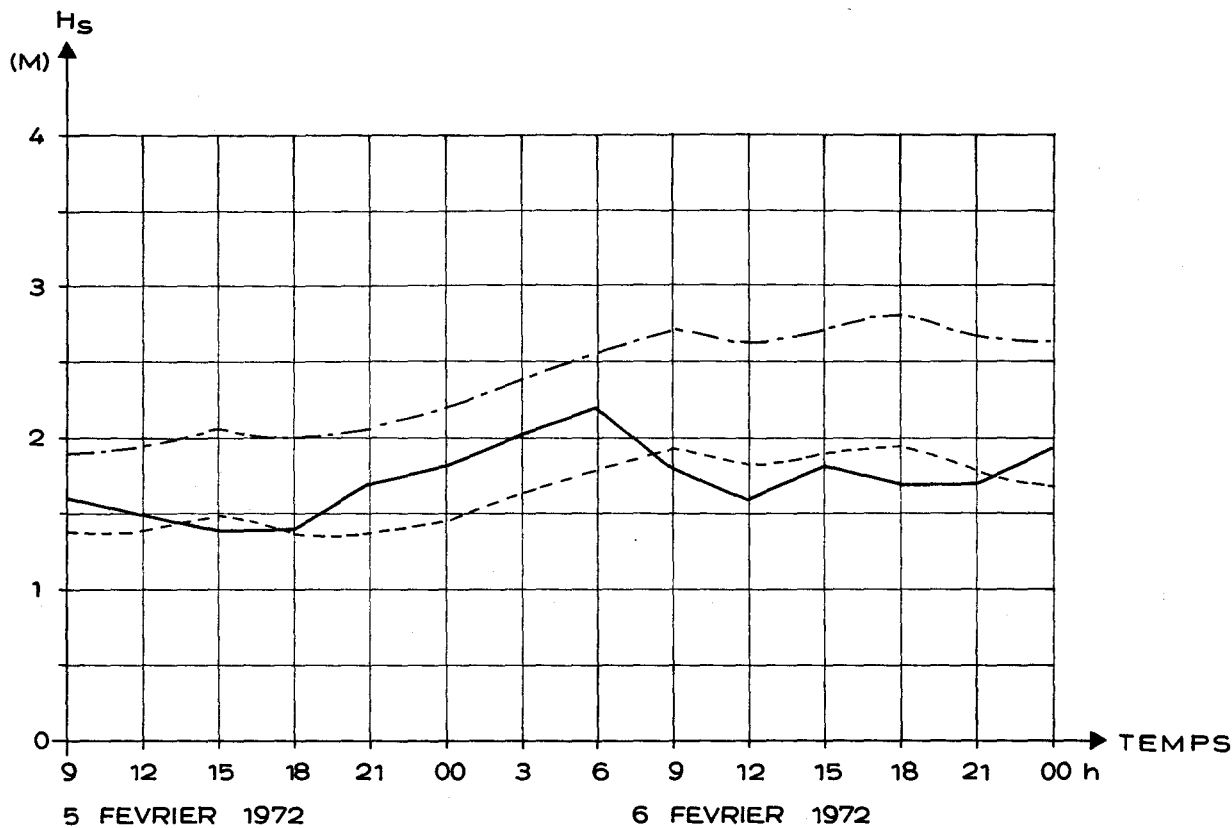
 institut danois d'hydraulique		BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER	
		OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES	
projet 82-986	date 28-12-82	CHAMP DES VENTS GENERES PAR UNE DEPRESSION ARTIFICIELLE, 5 FEVRIER 1972, ooH.	plan no.
echelle 1:18.250.000	init MNR/ALJ		4.3



 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82 -986	date 29-12-82	CONDITIONS DES HOULES CALCULEES AU LARGE DE ST. LOUIS DURANT LA PERIODE DE VERIFICATION (VITESSE MAXIMALE DU VENT : 20 M/S)	plan no.
echelle	init MNR/ALJ		4.4

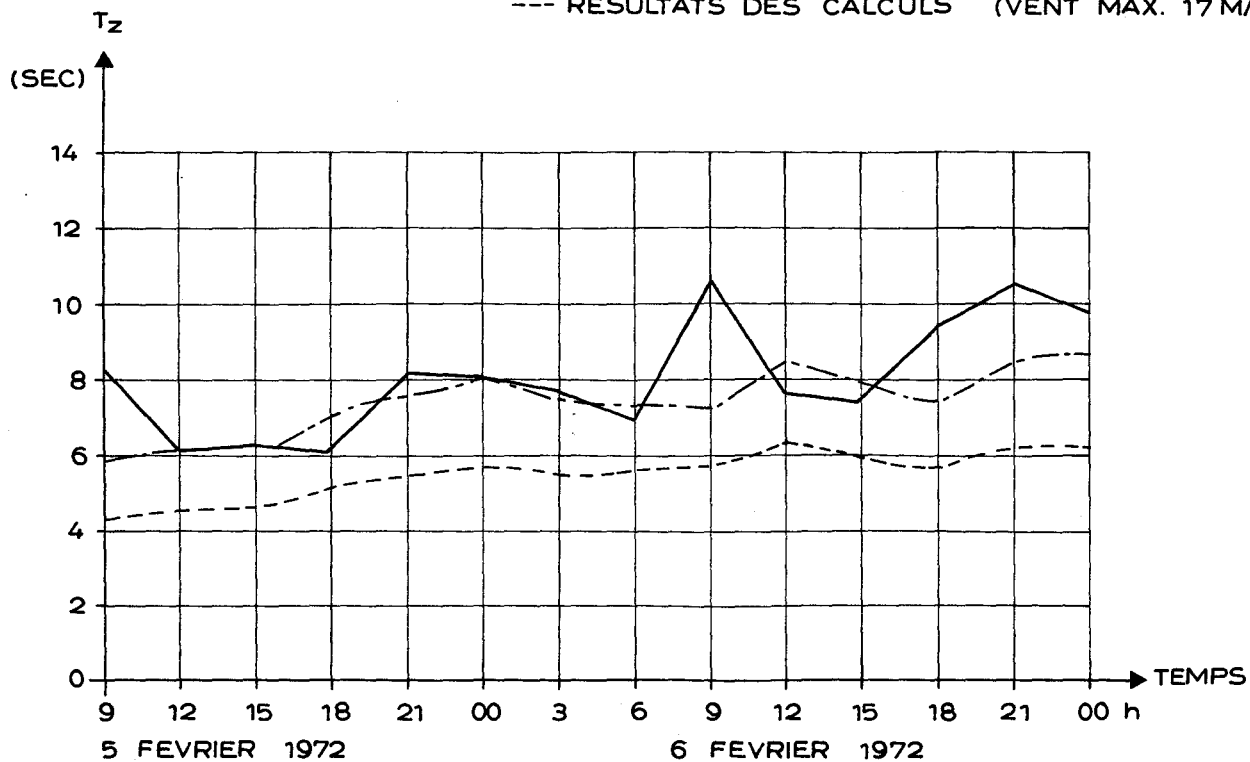



 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTE		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 29-12-82	CONDITIONS DES HOULES CALCULEES AU LARGE DE ST. LOUIS DURANT LA PERIODE DE VERIFICATION (VITESSE MAXIMALE DU VENT: 17 M/S)	plan no.
echelle	init MNR/ALJ		4.5

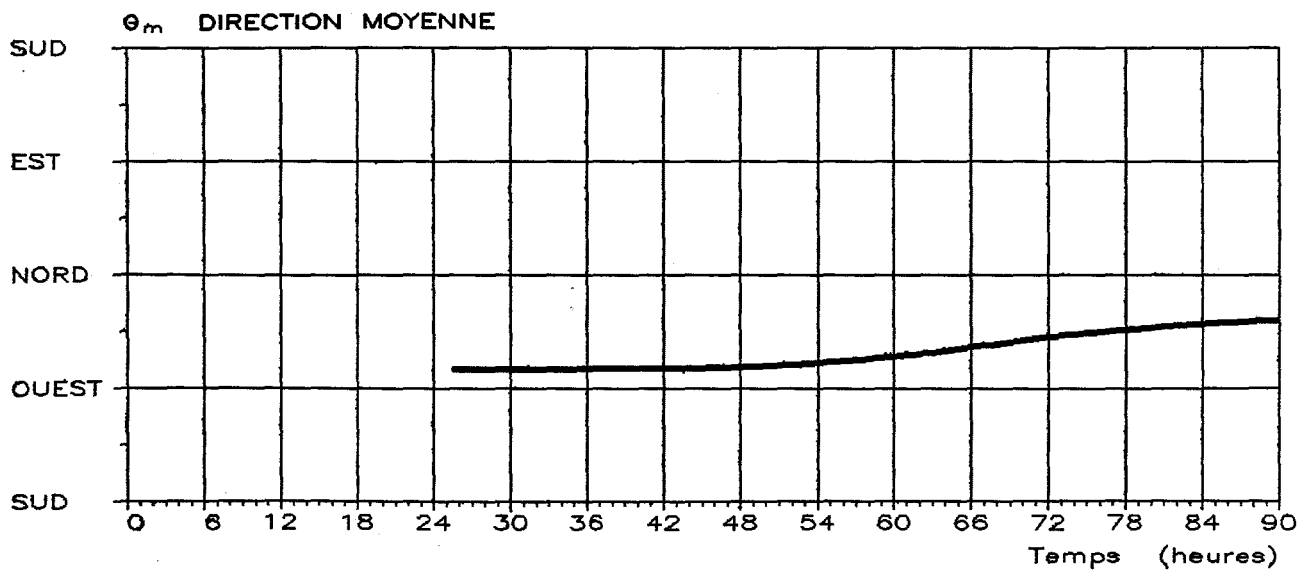
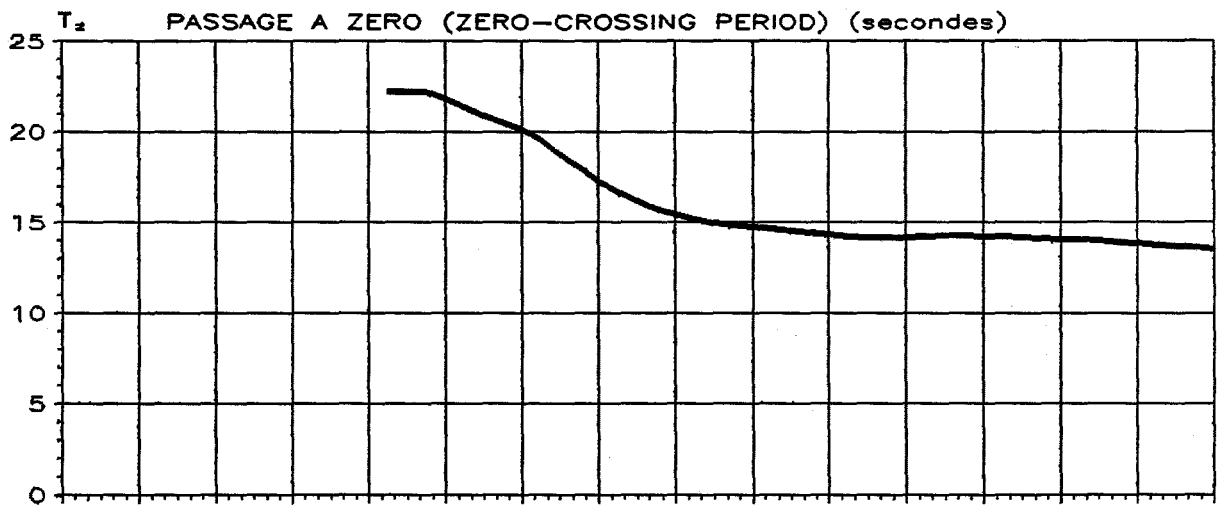
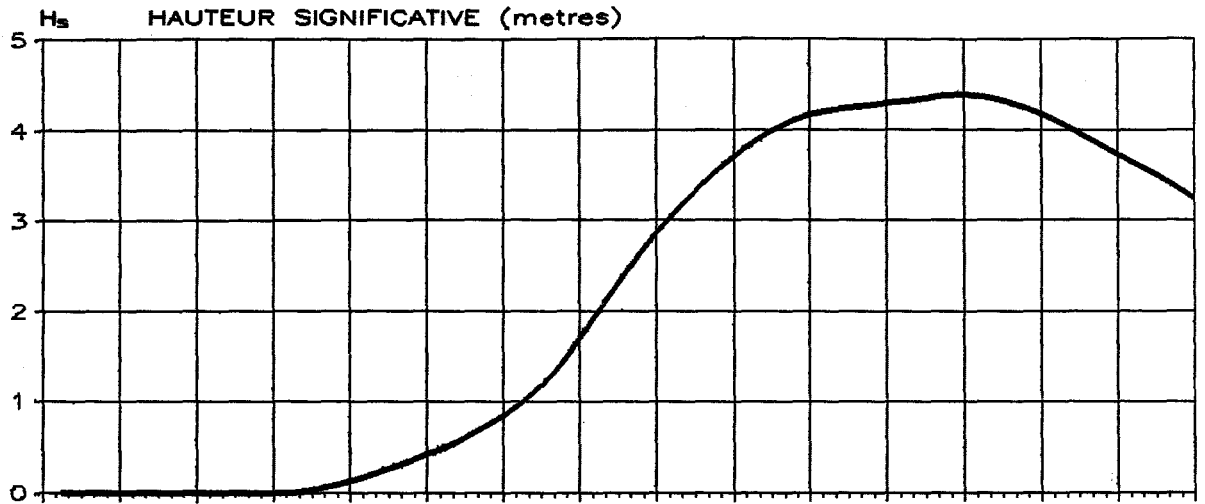



LEGENDE:

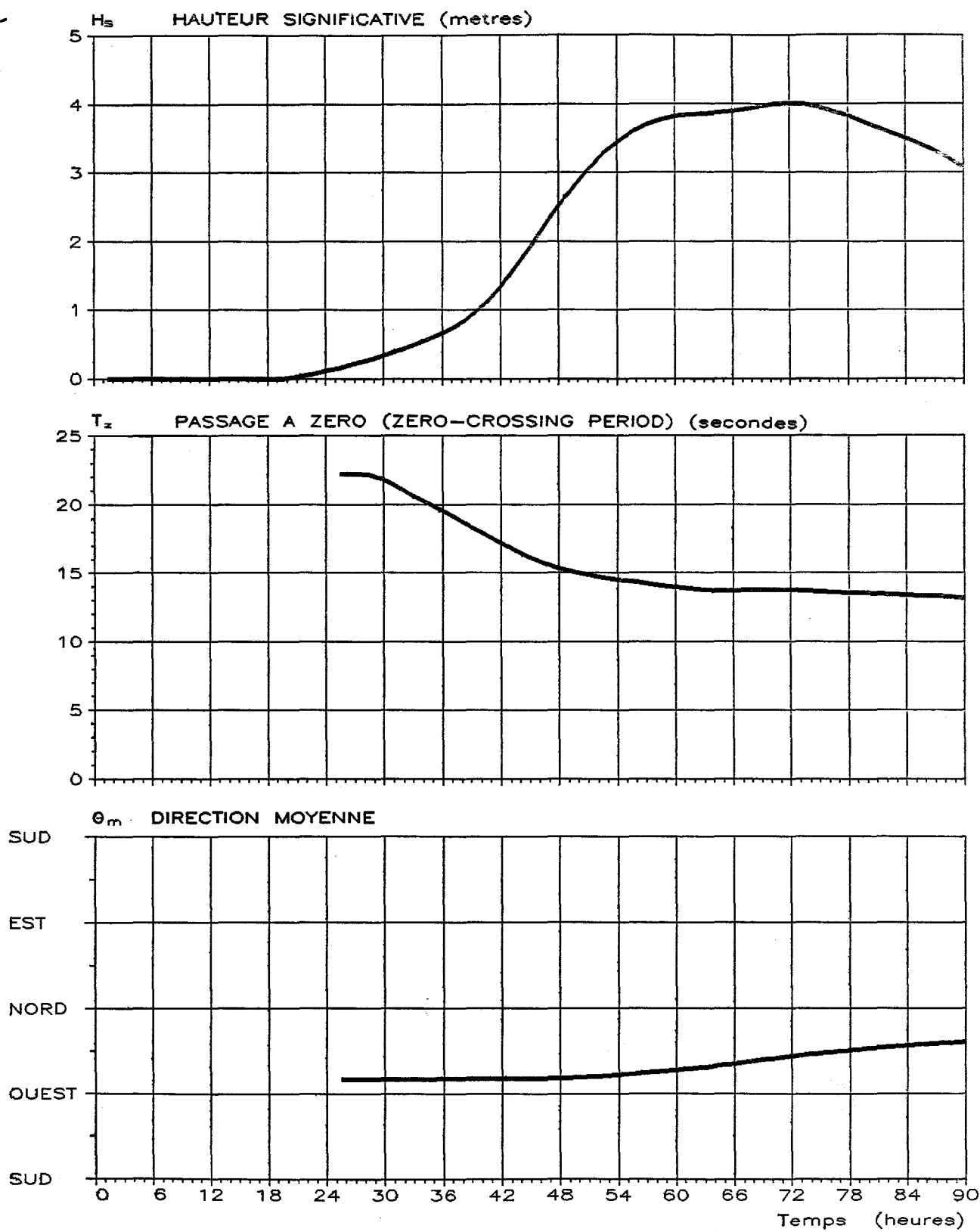
- MESUREES
- - - RESULTATS DES CALCULS (VENT MAX. 20M/S)
- · - · RESULTATS DES CALCULS (VENT MAX. 17M/S)




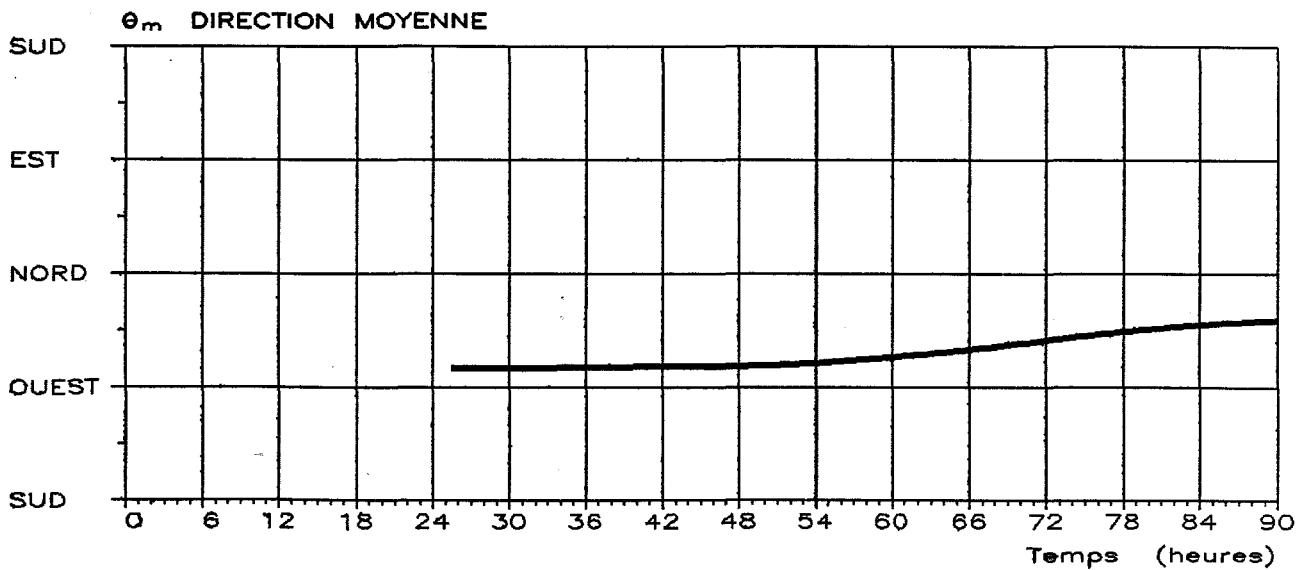
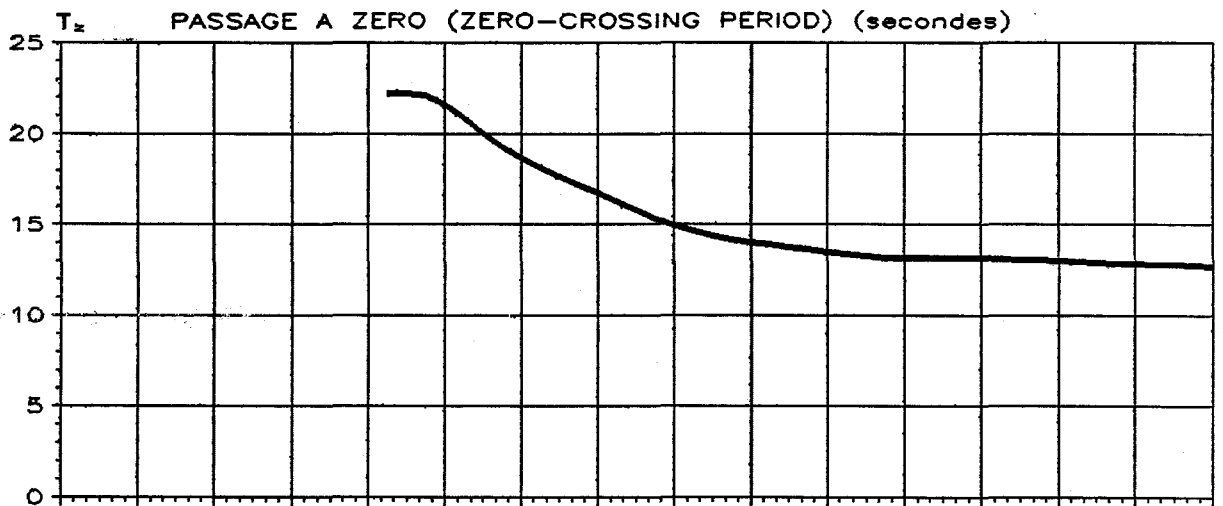
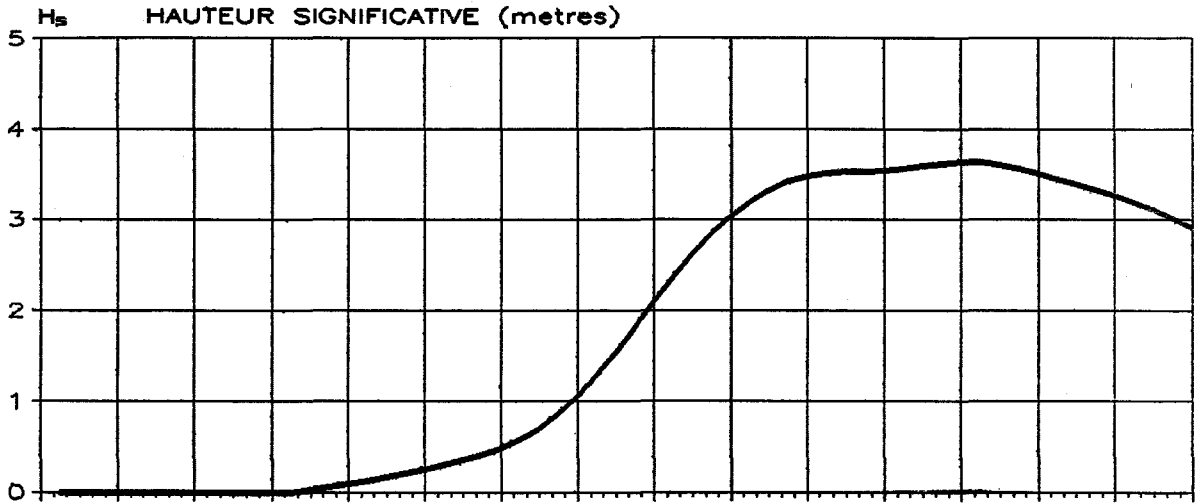
 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		plan no. 4.6
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 29-12-82	COMPARAISON DES CONDITIONS DE LA HOULE MESURÉES ET CALCULÉES A SAINT LOUIS DURANT LA PÉRIODE DE VÉRIFICATION. (4 COMPRIS RÉFRACTION ET "SHOALING")	
echelle	init MNR/ALJ		




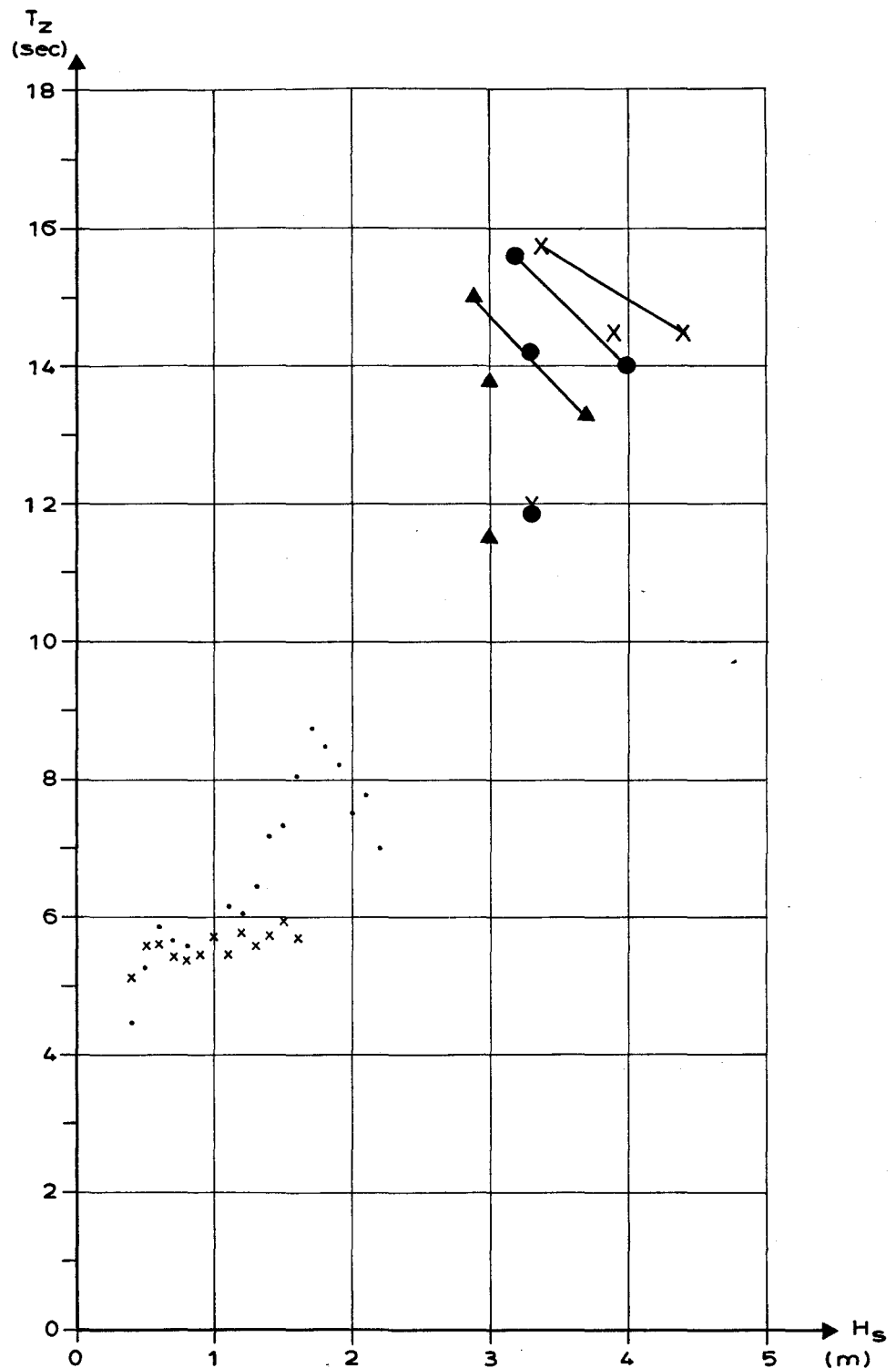
 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		plan no. 4.7
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 19-11-82	CONDITIONS DES HOULES CALCULEES AU LARGE DE ST. LOUIS POUR UNE DEPRES- SION CENTENAIRE LE LONG DU 27' $\frac{1}{2}$ '° N	
echelle	init MNR/ALJ		




 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 19-11-82	CONDITIONS DES HOULES CALCULEES AU LARGE DE ST. LOUIS POUR UNE DEPRES- SION CINQUANTENAIRE LE LONG DU 27 ¹ / ₂ ° N	plan no.
echelle	init MNR/ALJ		4.8



 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTE		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 19-11-82	CONDITIONS DES HOULES CALCULEES AU LARGE DE ST. LOUIS POUR UNE DEPRESSION UNE FOIS EN 20 ANS LE LONG DU 27' 1/2° N	plan no. 4.9
echelle	init MNR/ALJ		



- x — COURBE $H_s - T_z$ POUR LINE VAGUE CENTENAIRE AU LARGE DE ST. LOUIS
- ● — COURBE $H_s - T_z$ POUR LINE VAGUE CINQUANTENAIRE AU LARGE DE ST. LOUIS
- ▲ — COURBE $H_s - T_z$ POUR UNE VAGUE RENCONTREE UNE FOIS EN 20 ANS AU LARGE DE ST. LOUIS
- x COMPAGNE DE MESURES À ST. LOUIS (8 AOÛT AU 24 SEPTEMBRE 1971)
REF / 6/
- COMPAGNE DE MESURES À ST. LOUIS (15 NOVEMBRE AU 16 MARS 1972)
REF / 6/

 institut danois d'hydraulique	BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE / SWAN WOOSTER		
	OMVS - ETUDES DES PORTS ET ESCALES		
projet 82-986	date 19-11-82	RELATION ENTRE LA PERIODE PRINCIPALE ET LA HAUTEUR SIGNIFICATIVE DES HOULES A ST. LOUIS	plan no.
echelle	init MNR/ALJ		4.10