

d'ordre 177

376

984

34

50376

1984

34

THESE

Présentée à

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE LILLE

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LILLE

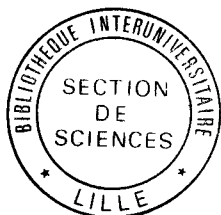
par

Philippe GOUARD

ETUDE EXPERIMENTALE DES VARIATIONS DE VENT
SUR UN PLAN D'EAU DE REGATE

INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE DE LA COTE

APPLICATION AU SPORT DE LA VOILE
DE HAUTE COMPETITION



60 040607 1

R E M E R C I E M E N T S

Ce travail a été effectué sous la direction du Professeur Robert GABILLARD, Directeur du laboratoire de Radiopropagation et Electronique de l'Université de Lille. Qu'il me soit permis de lui exprimer ici ma profonde reconnaissance pour l'aide précieuse et les conseils permanents qu'il m'a prodigué pendant plusieurs années de recherche commune.

Messieurs C. REY et M. SACRE ont bien voulu accepter de juger mon travail et de faire partie de mon jury ; qu'ils en soient ici remerciés.

Mon travail de recherche s'est déroulé dans le cadre de la préparation olympique des Equipes de France de Voile. Je remercie le Directeur Technique National, M. Philippe GRANDOU qui m'a fait confiance durant ces deux olympiades et qui me fait l'honneur de participer à mon jury.

M. Georges MANFREDI, Président de la FFV, qui a constamment favorisé le développement de la recherche au sein de la fédération et qui me fait l'honneur de participer à mon jury : qu'il en soit remercié.

Je tiens tout particulièrement à remercier M. Antoine VERNEY, Docteur Ingénieur en Informatique qui a réalisé la plus grande partie des logiciels, et qui a fait équipe avec moi depuis presque cinq ans, et qui a permis la réussite de la campagne de Los Angelès.

Je remercie toute l'équipe d'Ingénieurs en service national à la FFV, M. Pierre TUREL, Jean-Claude BRUN, Hervé DISPA, ainsi que Christian DEVAUX et toute l'équipe du laboratoire du Professeur GABILLARD, sans oublier M. BAUDET dont le dévouement durant ces nombreuses années a été sans limite.

Mes remerciements vont aussi à M. Michel ALQUIER, M. TRUCHASSON de l'ENSEEIH de Toulouse, M. KOBUS de l'ENSM de Nantes, M. Serge NOUCHY, M. PALLU DE LA BARRIERE du CRAIN, M. MAINEULT de l'EPSHOM, pour leur collaboration permanente durant ces recherches.

Je remercie M. DUCLOT et LOSTIS de la Commission scientifique de la FFV dont la caution scientifique a été déterminante dans cette recherche.

Je remercie mon père d'avoir apporté sa contribution à la dactylographie de cette thèse.

1875

1875

ETUDE EXPERIMENTALE DES VARIATIONS DE VENT

SUR UN PLAN D'EAU DE REGATE

INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE DE LA COTE

APPLICATIONS AU SPORT DE LA VOILE DE HAUTE COMPETITION

S O M M A I R E

CHAPITRE I : INTRODUCTION

- a) La Régate sur parcours olympique
- b) Importance de la prévision du Vent
Procédés actuels de la prévision du vent
- c) Résultats espérés

CHAPITRE II : DISPOSITIF EXPERIMENTAL

- 1) La Vedette-laboratoire
- 2) Le système d'acquisition
 - a) les capteurs
 - b) Système d'acquisition et d'enregistrement
- 3) Le Système de traitement
 - a) Les cartes marines numérisées des plans d'eau
 - b) Traitement informatique des résultats
- 4) Principales représentations obtenues
 - a) Programme "GRICHO" de répartition du vent dans l'espace
 - b) Programme "VENT"
Restitution de l'Azimuth et de la vitesse du vent réel après filtrage
 - c) Programme "COURANT"
Calcul de l'Azimuth et de la vitesse du Vecteur Courant
 - d) Programme "CERC-TRANCH-DECOUP"
Calcul des Caps limites du Vent
 - e) Programme "HISTO 2"
Histogramme des Azimuth/Vitesse du Vent réel

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX

- 1) Déflexion du vent à la frontière terre-mer due à une discontinuité des rugosités.
- 2) les couloirs de vent : HYERES
- 3) Effets d'Ile : LA BAULE
- 4) Détection des courants : Los Angelès

CHAPITRE IV : UTILISATION DES RESULTATS PAR LES REGATIERES

- 1) Notes techniques prévisionnelles remises aux coureurs avant une compétition
 - a) HYERES (Semaine Préolympique)
 - b) LOS ANGELES (Site des J.O. 1984)
- 2) Vérification de la validité des Prévisions
 - a) Programme-Test
 - b) Calcul théorique de ces angles limites en fonction de l'implantation d'un cercle olympique.
 - c) exemple de HYERES : bilan chiffré du pourcentage de réussite dans nos prévisions.
 - d) Conclusions

CHAPITRE V : ENTRAINEMENT SUR SIMULATEUR

- A) Jeu tactique et stratégique sur ordinateur
- B) Description des logiciels tactique et stratégique
- C) Fonds de carte et constitution de fichiers de vent
- D) Conclusions

CHAPITRE VI : SITUATION DE CETTE ETUDE EXPERIMENTALE

PAR RAPPORT AUX CONNAISSANCES THEORIQUES

- A) Les Généralités sur le vent

- 1) La troposphère
 - a) Vent géostrophique
 - b) Vent du gradient
- 2) La Couche limite planétaire
 - a) Influence du sol
 - b) Déflexion du vent due au frottement sur le sol.
 - c) Variation de la direction avec l'altitude : spirale d'Ekman
- 3) Ecoulement de l'air près de la surface du sol sur un site plat et homogène
 - a) Longueur de rugosité Z_0
 - b) Formule logarithmique de Prandtl
- 4) Structure du vent près du sol sur les sites complexes

Les causes principales des déviations des écoulements de vent à la frontière mer-terre

- A) Causes dynamiques
 - 1/ changement de rugosités
 - 2/ effets du relief
- B) Synthèse des causes dynamiques
- C) Causes thermiques

B) Etude comparée avec les résultats d'autres auteurs ou/et la bibliographie consultée

- 1) Les effets de changement de rugosité sur un écoulement : Exemple de CANNES
- 2) Effets d'Ile (Réf. St. Walker)
- 3) Notion de caps limites du vent : MARSEILLE 1981 (RéfCST)
- 4) LOS ANGELES : Etude de la brise thermique
 - a) Réf. Stuart Walker
 - b) Réf. Document NOAA 83

CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE VIII : BIBLIOGRAPHIE GENERALE

CHAPITRE IX : ANNEXE

Autres applications de la Vedette-Laboratoire
et des recherches sur le vent à l'attention des
Coureurs de Haut-niveau :

- 1) La Vedette-laboratoire peut "espionner" la performance des adversaires (Tornado japonais Los Angelès 83).
 - 2) Polaires de vitesses du Tornado (Influence de la houle) Y. Loday, Vice Champion du Monde.
 - 3) Polaire de F.D. : DELAGE-POIREY à Los Angelès 83.
 - 4) Exemples de tracés interprétés obtenus à partir de la Vedette-laboratoire lors du suivi de Tornado à HYERES 1983.
 - 5) Tableau de référence pour le 470 calculant les durées minimales des bords en fonction de la perte au virement de bord en fonction des rotations de vent et des variations d'intensité.
 - 6) Structure fine du vent, navigation et optimisation du réglage des Voiles.
-

chapitre I

Introduction

CHAPITRE I : INTRODUCTION

a) La Régate sur parcours olympique

Les régates en dériveurs et en quillards se déroulent actuellement sur un parcours triangulaire, appelé "parcours olympique". C'est sur ce type de parcours que les Jeux Olympiques sont organisés, même en ce qui concerne les planches à voile pour 1984 à Los Angeles.

Ce parcours olympique a l'avantage d'être simple et de proposer aux régatiers un échantillonnage assez complet de ce que l'on peut faire en voilier

PARCOURS OLYMPIQUE NORMAL

voir FIG. 1

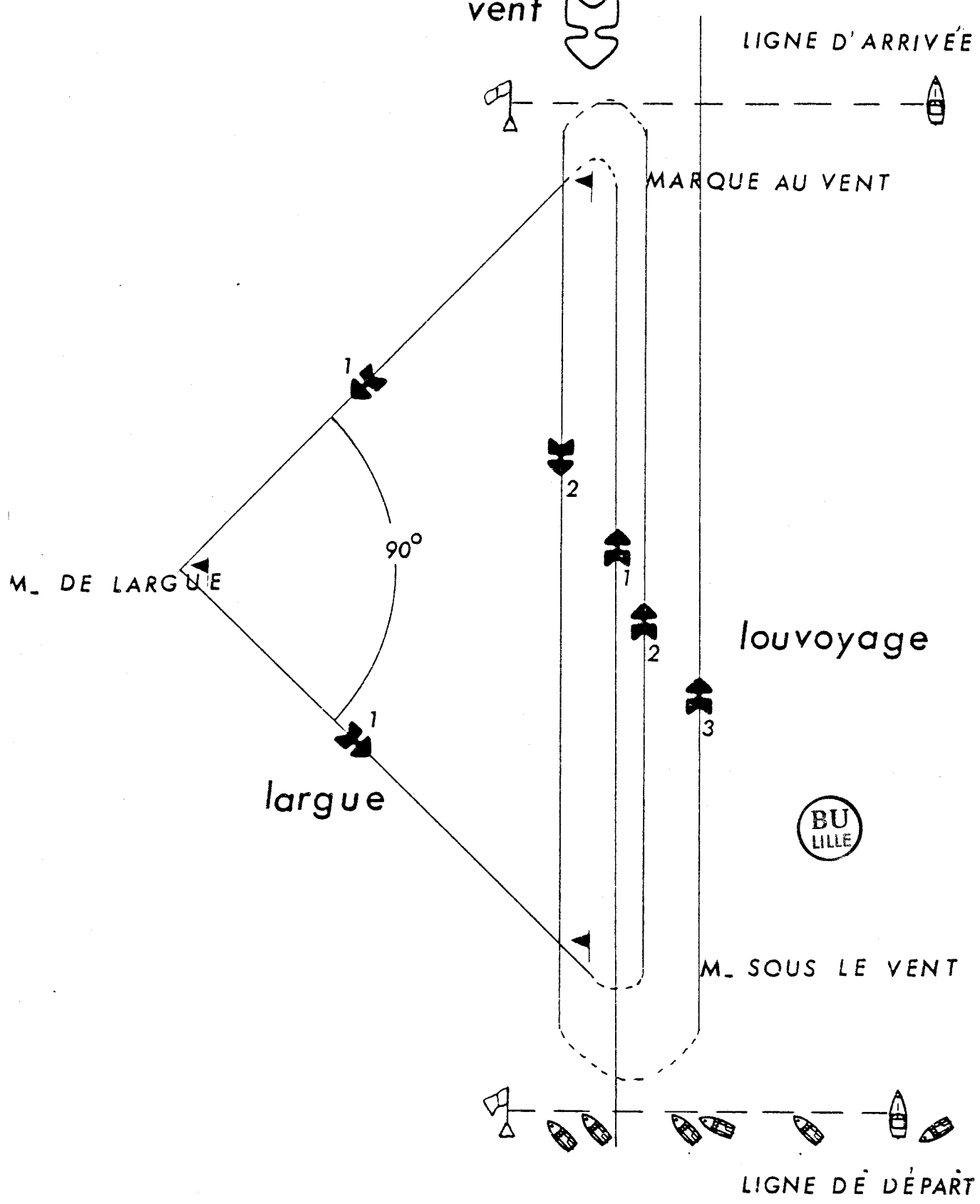
Deux bouées sont mouillées dans l'axe du vent à une distance variable en fonction de la série des bateaux engagés.

Une troisième bouée équidistante des deux autres est placée à gauche et contribue à former un triangle isocèle rectangle.

Toutes les bouées sont à laisser à babord (gauche).

b) Importance de la prévision du temps

voir FIG. 2



Parcours olympique

FIG.1

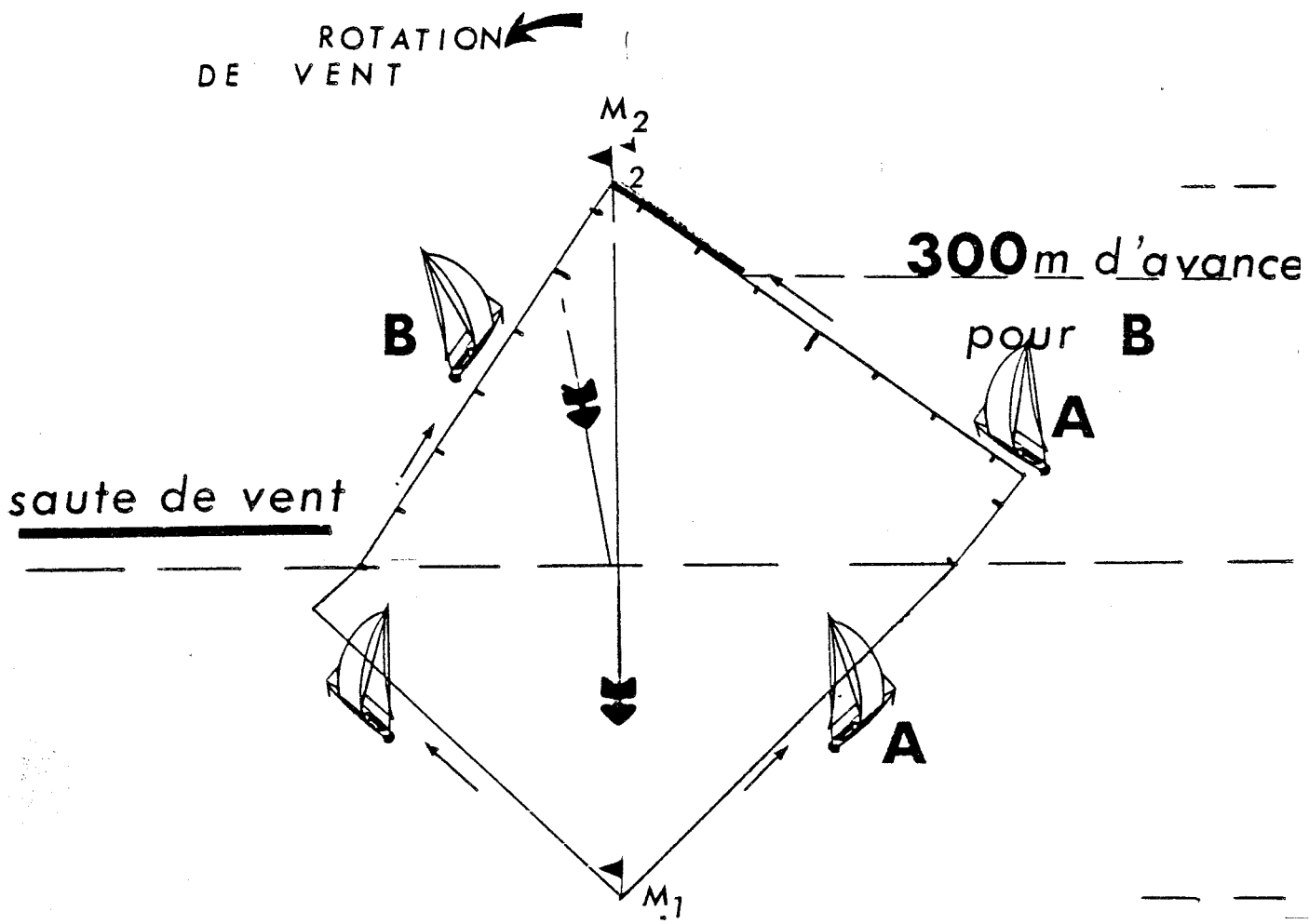
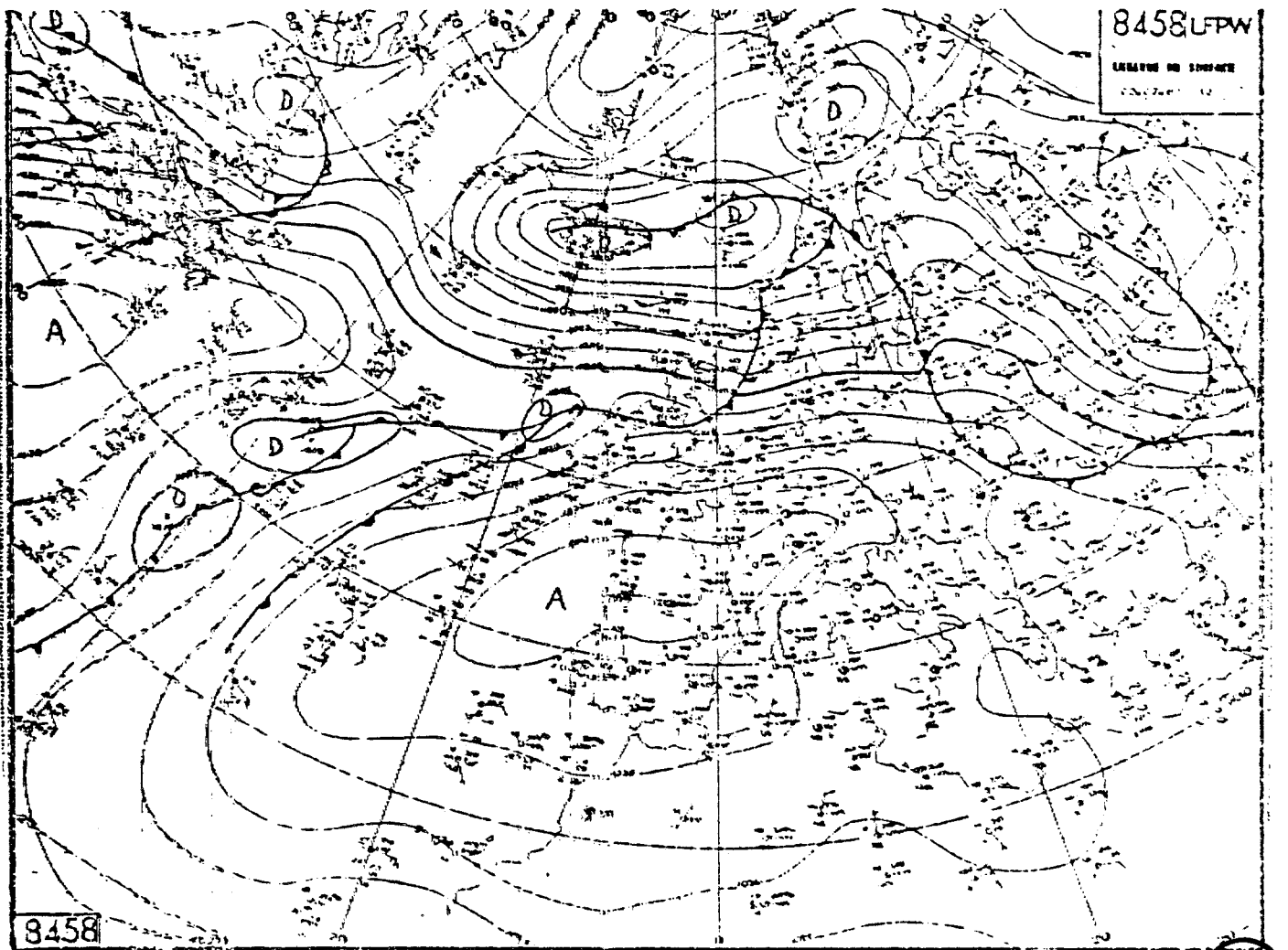


FIG..2

A et **B** partent ensemble
entre **A** et **B**, **300m** les séparent à l'arrivée
grâce a la saute de vent



(CARTE FAC - SIMILE OBTENUE PAR NAGRAPHAX)

ANALYSE DE SURFACE (SKI - YACHTING 1981 / 02 / 2)

Cette carte permet de situer le déplacement des masses d'air
 et de définir le régime du vent en altitude (c'est à dire le vent
 SYNOPTIQUE)

FIGURE **5**

INFORMATION METEOROLOGIQUE GENERALE

Ce schéma montre les conséquences d'une rotation de vent dans le sens anti-horaire, apparaissant à la mi-parcours, sur deux bateaux partis ensemble mais abordant cette saute de vent sous deux amures différentes.

Le bateau B, naviguant babord amure gagne 300 m sur le bateau A grâce à une route plus courte due à une rotation plus favorable du vent sur sa gauche.

Procédés actuels de prévision du vent

Depuis de nombreuses années, les Equipes de France de voile se sont assurées le Concours d'Ingénieurs de la Météorologie Nationale qui situent leur niveau d'analyse à l'échelle synoptique, c'est à dire au niveau du vent en altitude en observant l'évolution des grandes masses d'air.

D'autre part les entraîneurs s'appuient sur les moyens classiques d'information météorologique : le bulletin quotidien de renseignements (B.Q.R.), les cartes fac-similés d'analyse de surface obtenues sur un décodeur Nagraphax (figure 3), les bulletins Météo de la Radio principalement.

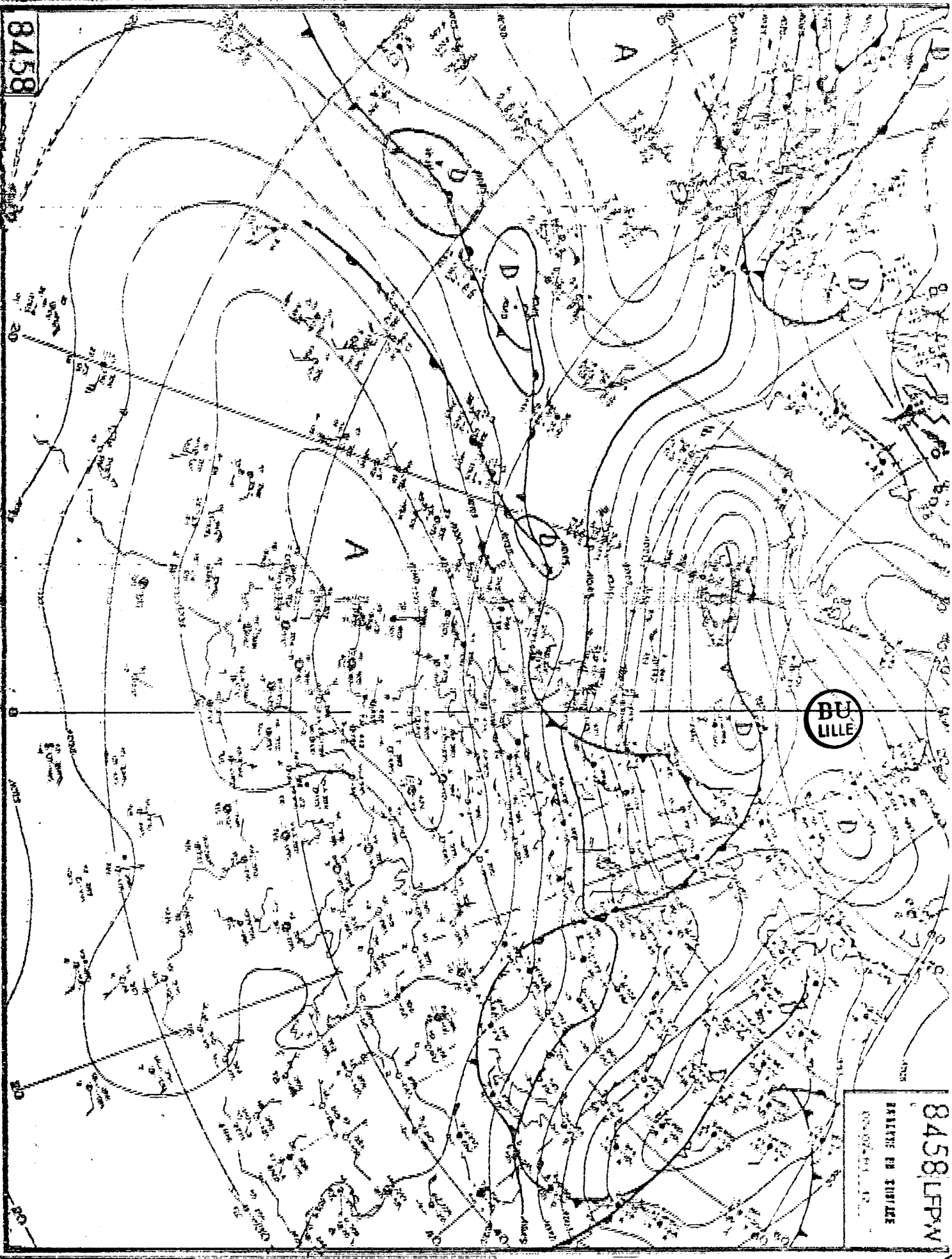
Ces renseignements leur permettent une approche globale de la situation météorologique sans pouvoir aller jusqu'à la précision souhaitée par les coureurs pour qui la régata se joue souvent dans le 1er bord delouvoyage, c'est à dire en moins de 20 minutes.

D'autre part, les modifications de vent en cap et vitesse sont souvent dues à l'influence du site sur le vent synoptique parce que nous nous trouvons toujours à l'intérieur d'une zone frontière entre la haute mer et la terre, où le vent est considérablement dévié (figure 3₁).

Cette figure 3₁ illustre l'influence d'un relief côtier sur le vent, entraînant une zone de navigation plus favorable pour les bateaux A partis vers la terre profitant de cette rotation dans le sens anti-horaire du vent.

Dans le cas particulier des planchistes qui naviguent souvent très près de terre, à proximité des grands immeubles (Cannes ou La Baule), les perturbations de vent engendrées par ces immeubles peuvent être considérables, aussi bien dans le cas d'un vent venant de mer que d'un vent venant de terre.

8458



BU
LILLE

8458 LFPW

REVUE EN COURSE

1944

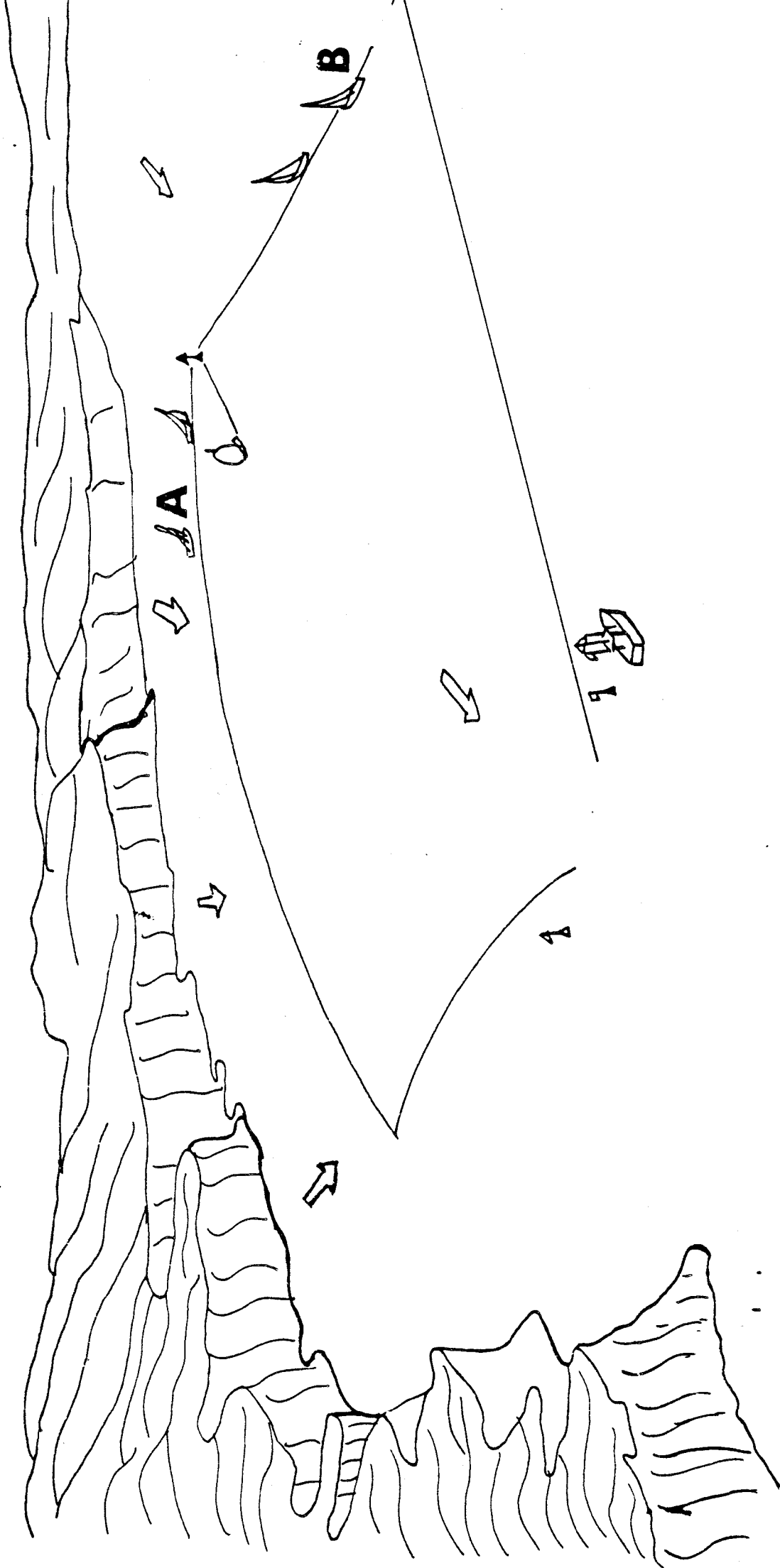


FIG 5, INFLUENCE DU SITE

A gagne de précieuses secondes sur B à cause de l'effet de côte

La figure 3 bis obtenue par la méthode de visualisation par enduit montre l'étendue de ces perturbations (Photo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment de NANTES)

Il s'agit d'un ensemble d'immeubles où l'on voit très bien les perturbations existant au vent et sous le vent. La zone perturbée s'étend jusqu'à une distance supérieure à plusieurs fois la hauteur de l'obstacle.



BU
LILLE

fig 3 bis

Méthode de visualisation
par enduit (C.S.T.B.).

c) Résultats espérés

Le coureur doit pouvoir seul et en s'aidant uniquement de ses sens et des instruments dont il dispose : le compas et le chronomètre, être capable de prévoir l'évolution du vent dans le temps et dans l'espace, c'est à dire pendant la durée de la régata et sur le plan d'eau où il navigue.

L'objet de notre thèse est d'exposer un ensemble de recherches expérimentales et théoriques qui nous ont permis de réaliser un appareillage et une méthodologie de prévision du vent à l'échelle d'un plan d'eau, grâce auxquels l'objectif exposé plus haut est devenu plus facilement accessible aux coureurs de l'Equipe de France de Voile.

chapitre II

dispositif expérimental

Les recherches en micrométéorologie à l'échelle la plus fine sont devenues déterminantes avec l'apparition des compétitions de planche à voile qui se déroulent souvent à quelques centaines de mètres des immeubles de la côte qui ceignent le plan d'eau. D'autre part les coureurs des dériveurs et des quillards (470, FD, Soling, Star, Tornado) qui régatent sur des parcours situés à 1 ou 2 milles de la côte ne trouvent pas dans les bulletins météorologiques affichés sur les lieux de compétition les renseignements sur le site de compétition et les conditions locales de vent :

Exemple : Photo satellite à LOS ANGELES 83



Photo prise par satellite du 31 Juin 1983 à 7 H 45 mn et affichée sur le panneau à l'attention des coureurs et des entraîneurs de la semaine préolympique de LOS ANGELES.

Enfin les déplacements aux quatre coins du monde de nos Coureurs pour les compétitions de haut niveau les obligent à une adaptation extrêmement rapide aux conditions particulières des plans d'eau pour des raisons évidentes de coût de plus en plus élevé des déplacements. En effet, dans le meilleur des cas, les coureurs arrivent 15 jours avant une compétition, sur le site de la compétition; la plupart du temps ce délai d'entraînement sur place est réduit à moins d'une semaine et même dans certains cas à quelques jours.

Pour l'ensemble de ces raisons, il fallait concevoir un engin de mesure (une vedette-laboratoire) qui puisse d'abord objectiver les conditions de vent sur les sites de compétition en France et à l'étranger, pour essayer ensuite d'en déduire éventuellement des règles plus générales permettant à nos coureurs de s'adapter plus rapidement aux plans d'eau comme l'Australie ou la Nouvelle-Zélande ou LOS ANGELES, qui sont extrêmement typés et spécifiques tant au niveau de la course, ce que l'on appelle la stratégie par rapport aux fluctuations du vent, que dans la mise au point du matériel et notamment la forme des voiles qui conditionne en grande partie la vitesse du voilier et qui dépend également des conditions locales de vent et de la turbulence de l'air.

1 - LA VEDETTE LABORATOIRE

La Vedette Labo à Hyères au milieu de celle des entraîneurs



Pour la présentation de cette Vedette qui a fait l'objet d'une Thèse de Docteur Ingénieur par A. Verney, sous la responsabilité scientifique du Professeur Gabillard de l'Université des Sciences et Techniques de Lille; il suffit de lire le résumé de la fiche "Recherche Technologique" que j'ai mis au point il y a deux ans. Cette fiche ayant pour objectif de synthétiser en quelques lignes, l'objet de la recherche et ses premiers résultats.

Cette fiche fait l'objet de l'Annexe 1 de notre Thèse

2 - Le système d'acquisition (Annexe 1)

- a) Les Capteurs
- b) Le Système d'acquisition et d'enregistrement

3 - Le Système de traitement (Annexe 1)

a) CARTES NUMERISEES DES PLANS D'EAU

1) PRINCIPE DES CARTES NUMERISEES :

A l'EPSHOM (Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), nous avons digitalisé, numérisé un certain nombre de cartes marines.

Dans l'exemple que nous présentons ici,

Il s'agit de la carte 5842, de la Pointe du Croisic à Pornichet. (voir figure 3 _{1 a})

Grâce au programme "carte 2", nous pouvons dilater les échelles, faire un effet de loupe pour tirer sur table traçante ou écran ordinateur un détail particulier, ou une position de cette carte c'est ainsi que, l'on peut isoler une île (l'îles des Evens), une baie (la Baie de la Baule) etc...

A noter que toutes ces cartes sont parfaitement à l'échelle grâce à ce programme "carte 2".

2) LE RELIEF : L'IMPORTANCE DES COURBES DE NIVEAU DE LA COTE (I.G.N. INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL)

Nous verrons durant cette étude, l'importance capitale du relief côtier et de l'effet de "RUGOSITES"

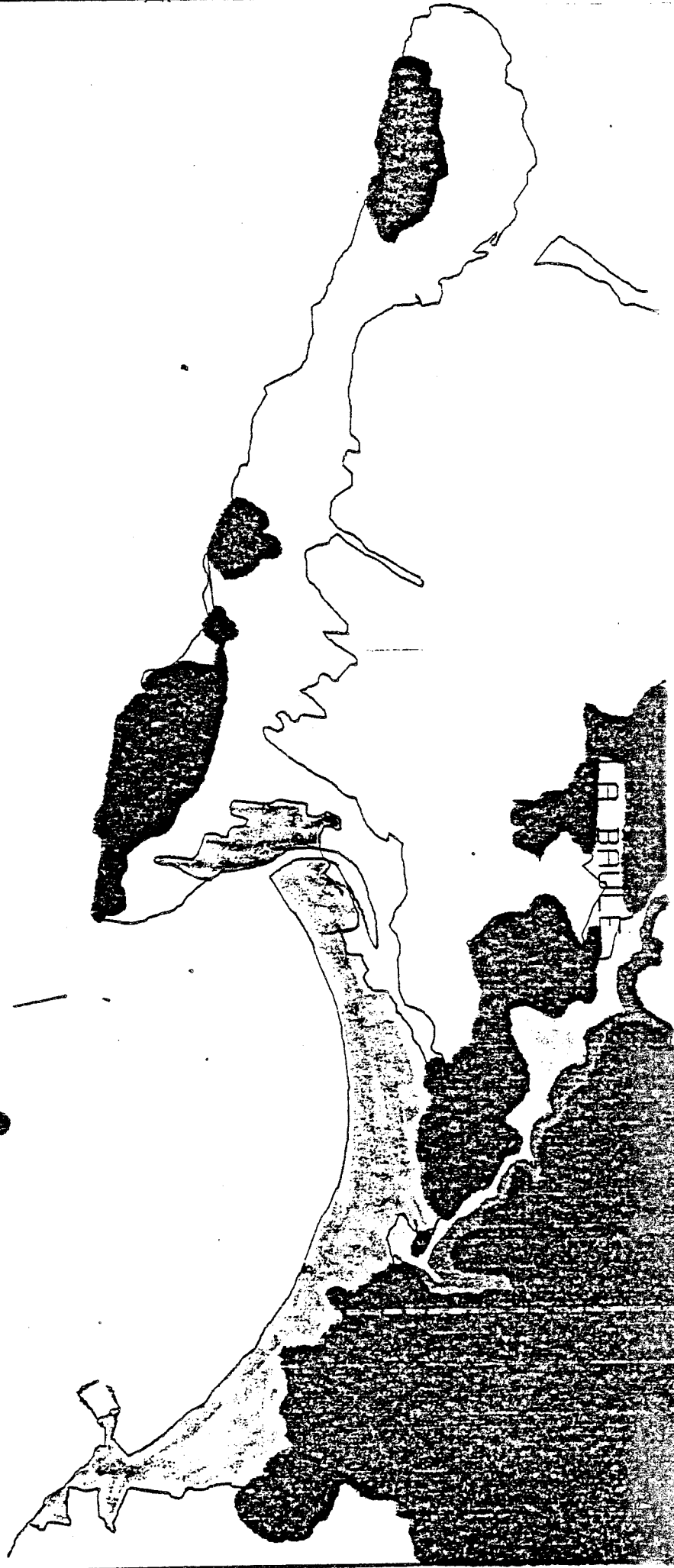
C'est précisément pour cette raison, qu'à chaque fois où nous disposons de ces informations sur les cartes, nous avons reproduit avec le plus grand soin l'arrière pays.

Il est important pour le régatier, de consulter les cartes marines au même titre que les cartes de relief de l'I.G.N.

On peut considérer que l'ensemble de nos compétitions (planche à voile - dériveurs - habitables) se déroulent en totalité ou en partie à moins de 10 M de la côte, et donc sont soumis à ces effets.

On a trop souvent sous estimé ces effets de côte par absence de moyens de mesures objectifs. La vedette météo nous a appris tout au long de nos campagnes de recherche, qu'il fallait étudier finement les interactions relief/mer.

Carte de l'Etat normal de l'Ardenne par ordonnateur
(L'ordonnateur des cartes de l'Ardenne et de l'Etat)



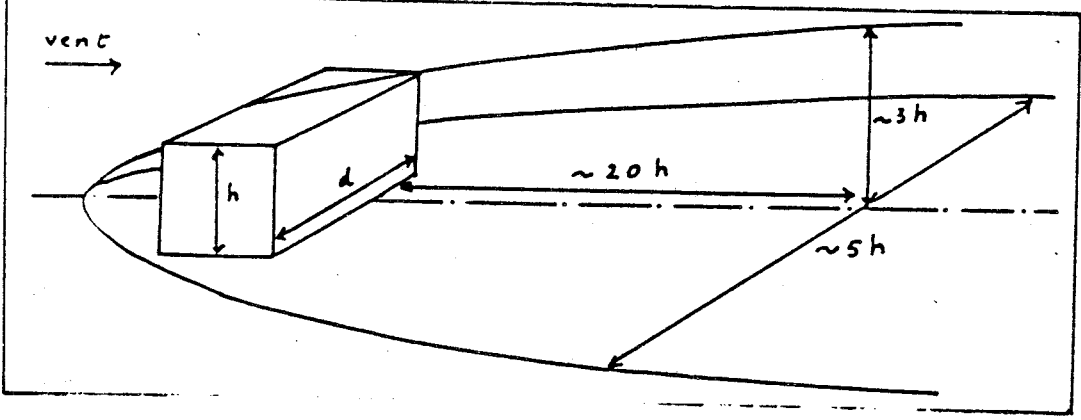
Carte SHOM 5842

BU
LILLE

fig 31^a

Enfin, comment ignorer les effets des immeubles et des zones urbaines sur les vents de terre. N'oublions pas que les perturbations d'un obstacle se font sentir jusqu'à **vingt** fois sa propre hauteur, en projection sur l'eau.

obstacle



A) le catalogue de notre disquette plans d'eau, comprend 18 fichiers de plan d'eau :

- Cannes
- Kiel
- Antibes
- La Rochelle
- Palamos
- La Baule
- Hyères
- Los Angelès
- Quiberon
- Marseille
- Pornichet
- C 5341 Cap Drammont ou Var
- Presqu'île de Giens, Rade d'Hyères
- Weymouth
- Newport



Pour certains plans d'eau, nous possédons différentes cartes aux échelles de plus en plus petites (1/100.000 - 1/50.000 - 1/25.000).

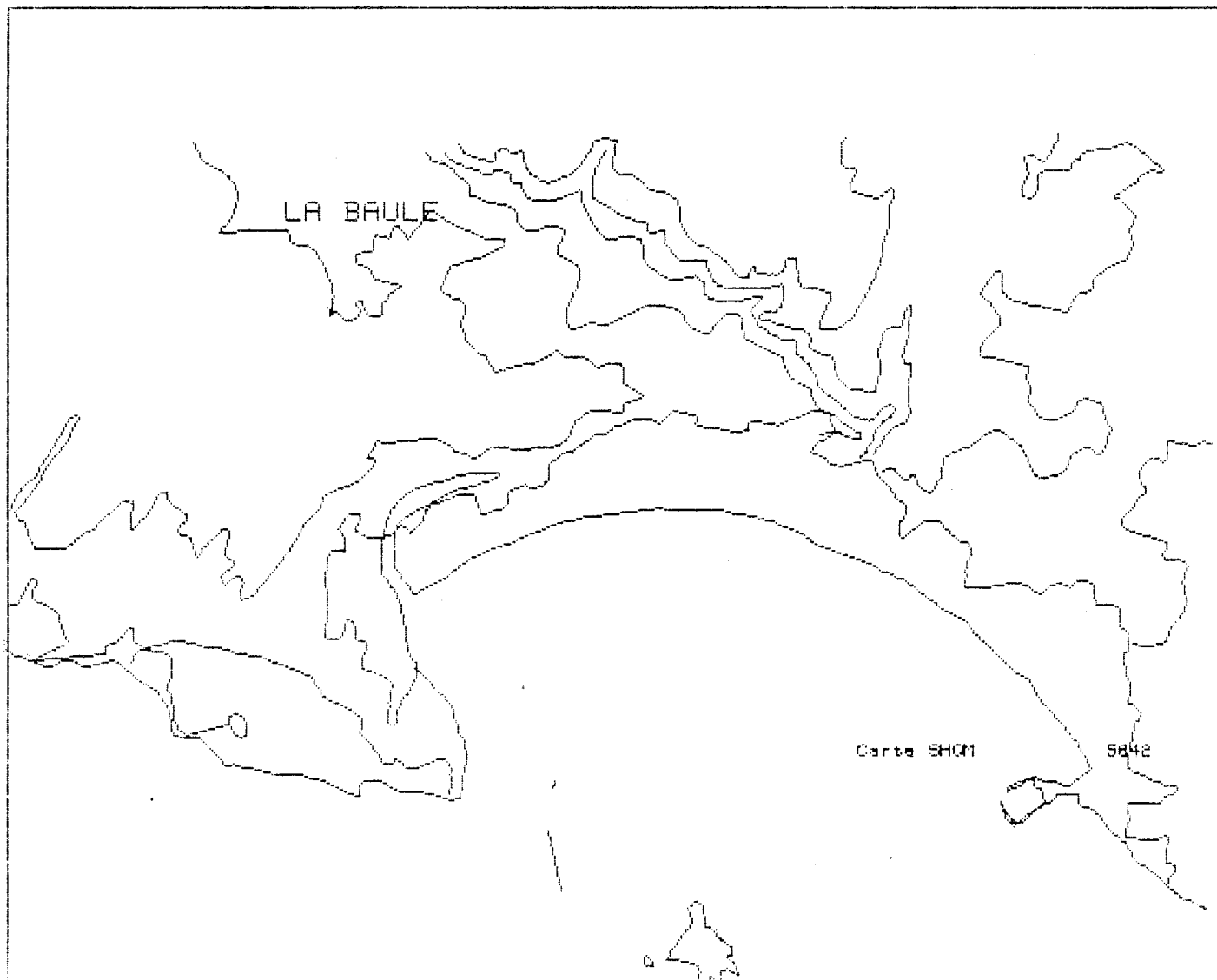
Le plan d'eau de Los Angelès bénéficie ainsi de trois fichiers à échelles différentes. (Losan 1 - Losan 2 - Losan 3).

B) Pour lire nos fichiers de plan d'eau, le programme carte 2 :

Ce programme nous permet de lire nos fichiers et de constituer nos fonds de carte indispensables à tout travail de micrométéo. Bien évidemment, ce programme nous permet de sortir presque instantanément n'importe où dans le monde sur l'imprimante interne ou la table traçante ou l'écran haute définition du HP 45 Couleur, n'importe quelle carte, le relief cotier, et de terre, 20 - 30 - 40 copies pour nos coureurs.

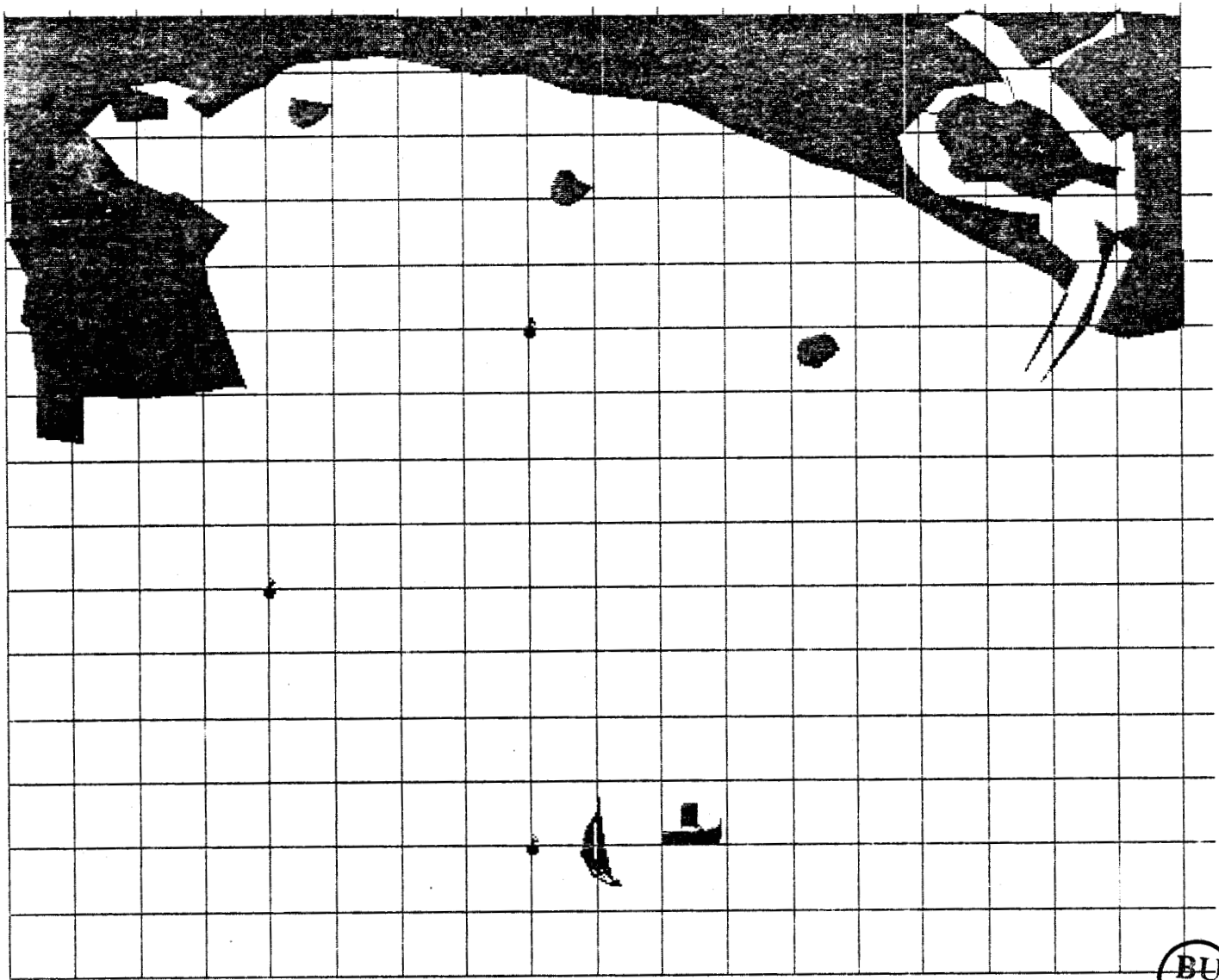
Les feuilles de compte rendus de régates peuvent se faire sur ces fonds de carte.

Exemple de carte sortie sur imprimante thermique avec toute la configuration du relief.



D) REACTUALISATION DE NOS FICHIERS DE PLANS D'EAU :

Il est plus facile de transporter une disquette qu'un carton à dessins chargé de cartes marines. A LOS ANGELES en 1982, au cours des régates préolympiques, nous disposions d'un ordinateur prêté directement sur place par H.PACKARD qui nous permit de travailler efficacement sur nos propres fichiers et programmes.



"Los Angeles" et son maillage

Exemple de grille permettant de figer les observations sur le vent et de les mémoriser sur support informatique (disquette).

E) BANQUE DE DONNEES DE PLANS D'EAU :

On ne peut pas étudier un lieu de compétition à partir d'une seule carte. C'est toujours insuffisant. Il faut 2 parfois 3 cartes à échelles différentes pour "s'imprégner du site".

il faut faire les plans de coupe de relief pour faire apparaitre les couloirs de vent. (Exemple : LA BAULE)

Tout ceci est un travail de carte à terre qui peut et qui doit se faire plusieurs semaines avant une compétition. Avant de se rendre sur un site de compétition chaque coureur devrait posséder en mémoire les accidents du relief et les points forts du site.

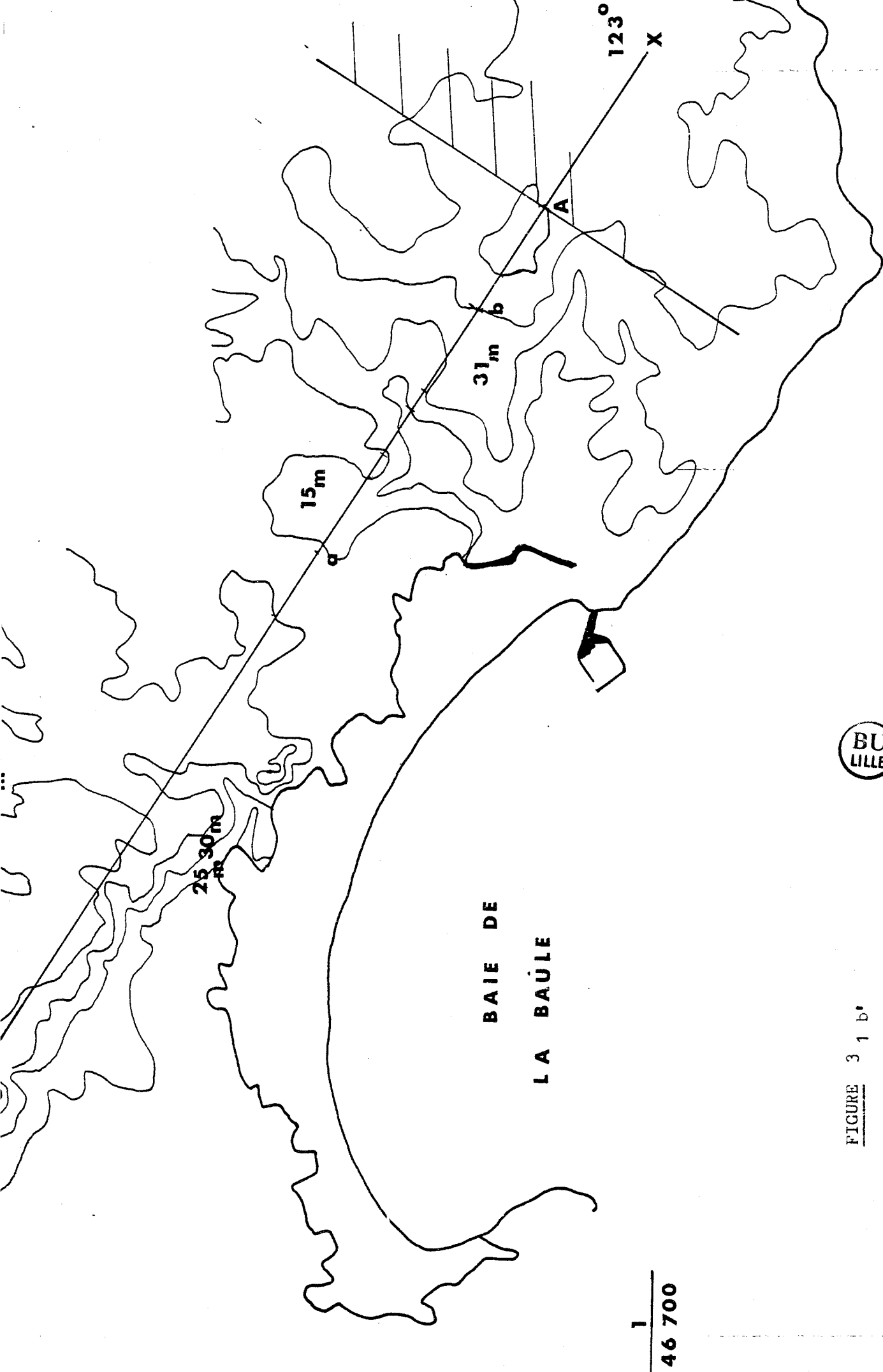


Carte SHOM

5352

Projet de loi n° 1000 du 10 août 2001
Texte consolidé

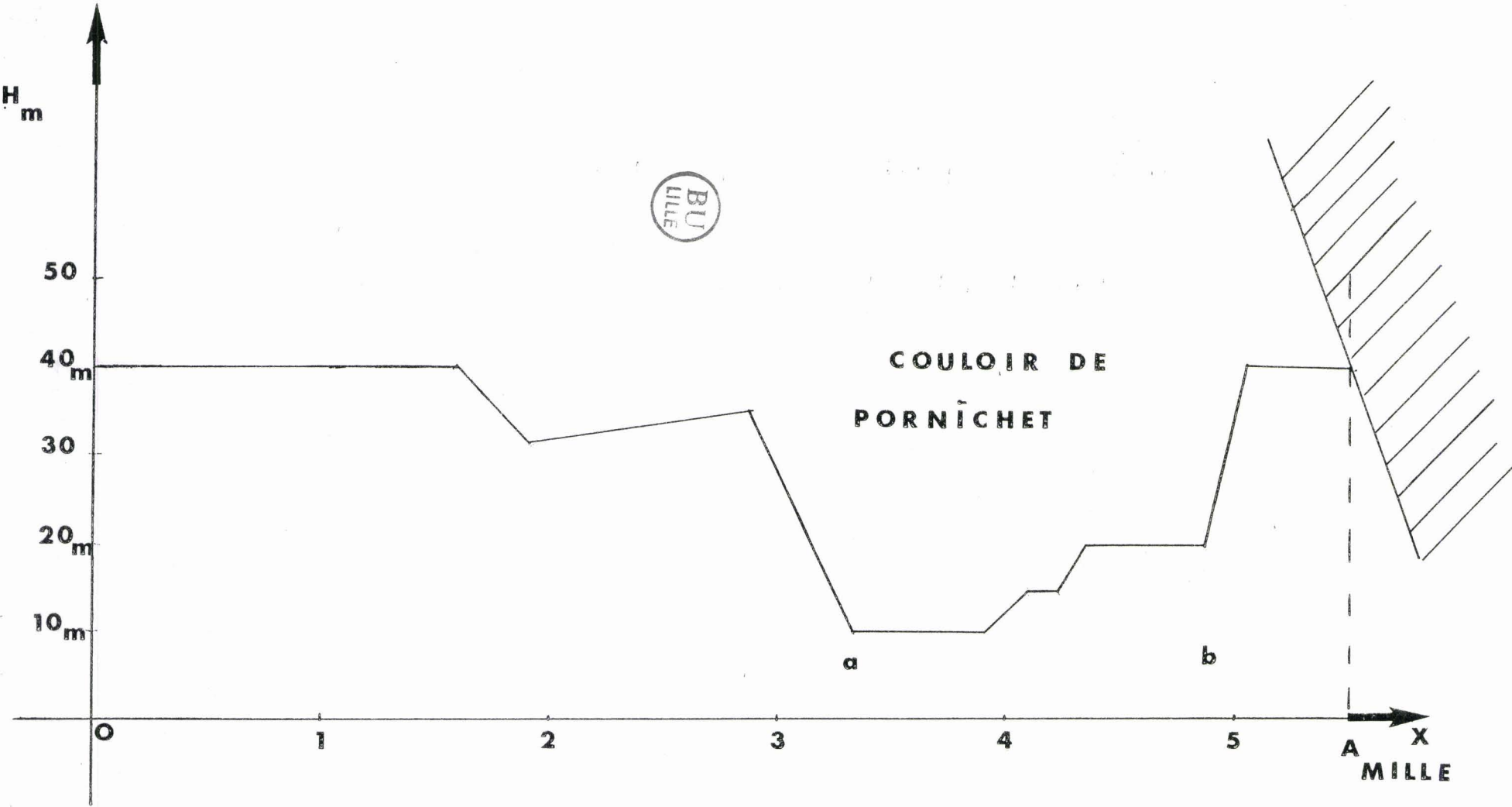
FIGURE 3 1 b



BU
LILLE

FIGURE 3 1 b'

1
46 700



profil topographique selon o a

baie de la baule

HAUTEUR (m)

1 MILLE (OX)

FIGURE 3 1 c

Les figures 3_{1b} et 3_{1b'}, relatives à la baie de LA BAULE reprennent les courbes de niveau du relief côtier à partir des cartes de l'I.G.N. (Institut Géographique National) et de l'E.P.S.H.O.M. (Service hydrographique et océanographique de la Marine).

A partir d'un axe OX, orienté dans le sens du littoral, on reporte le relief (Figure 3_{1c}) pour obtenir un plan de coupe topographique.

Apparaissent alors nettement les vallées, les couloirs de relief où le vent circule plus facilement, créant les couloirs de vent.

ZVCS 10 340	10 340	10 340	10 340
Vitesse 13 Azimut 350	13 340	13 350	13 350
15 350	15 0	15 0	15 0
15 350	15 0	15 0	15 0



Exemple de maillage permettant le report des informations sur le vent

Nous définissons nous-mêmes le maillage, grâce au programme S₃
"constitution de fichiers"

- le 1er chiffre concerne la vitesse du vent réel
- le second chiffre "l'Azimut"
- le courant (en azimuth et vitesse) peut également figurer sur ce tableau.

Ce tableau correspond en abscisse et ordonnée aux données de nos cartes habituelles (185/140 mm).

g) CONCLUSION :

Grâce à notre table traçante, dont les tracés sont fournis en annexe, nous pouvons directement tracer la trajectoire de la Vedette météo, ou du 470 labo sur ce fond de carte.

C'est un moyen de pouvoir étudier finement la structure fine du vent sur quelques centaines de mètres comme nous l'avons fait pendant deux ans.

Seule ombre au tableau : le courant, car la vedette travaille en ~~rou~~te surface et nous sommes obligés de recalculer a posteriori le vecteur courant qui a fait dériver la vedette, pour nous recalcr convenablement sur nos ~~amers~~ remarquables (balises). Ces ~~amers~~ ont été au préalable rentrés sur ordinateur très précisément, ce qui nous permet de nous recalcr en permanence sur le fond.

Bien évidemment, un système de navigation comme le Loran nous permettrait de tracer directement notre route fond tout en recalculant en permanence le vecteur courant en intensité et direction.

Mais nous n'avons pas pu en disposer ~~en~~ 1982.

Un Loran constituerait certainement un perfectionnement utile de notre dispositif expérimental, notamment pour les tracés sur l'eau de la trajectoire de la Vedette (Cf; Chapitre "Résultats expérimentaux")

b) Traitement informatique des résultats

Après quatre années de mesures micrométéorologiques sur une dizaine de plans d'eau en France et à l'étranger nous nous sommes aperçus qu'il fallait tout un registre de programmes d'analyse pour dépouiller et interpréter nos mesures de vent sur l'eau (à peu près une dizaine de logiciels)

Il est absolument impossible de mesurer le vent en vitesse et en direction par girouette/anémomètre avec un maximum de précision, sans procéder d'une part par analyse statistique, et d'autre part sans tenir compte des caractéristiques du milieu ambiant (air), du milieu support (l'eau) et de l'environnement du site.

Nous étudions en priorité les deux paramètres les plus identifiables par le coureur, à savoir la direction et l'intensité du vent. D'autre part nous limitons notre étude aux zones proches de la terre de manière à répondre aux demandes des régatiers en planche à voile, dériveurs et habitables dans leurs parcours côtiers.

Pour essayer de comprendre le pourquoi des éventuelles modifications de vent, nous avons enregistré les paramètres physiques déterminant : pression barométrique, température de l'eau, de l'air, ensoleillement et hygrométrie de l'air. Tout ceci est stocké sur bandes magnétiques puis disques souples informatiques.

Des programmes informatiques ont été mis au point au fur et à mesure de nos campagnes de mesures pour mieux mettre en évidence les caractéristiques locales du vent sur le site même d'une compétition.

Ces programmes informatiques se regroupent par thèmes :

1) La reconnaissance géographique du site

Le programme Carte 2 permet de reproduire aux différentes échelles les différents sites de compétition du monde entier.

C'est à partir de ce programme que nous constituons tous nos fonds de carte où la trajectoire de la vedette peut ensuite être tracée.

2) L'analyse du vent dans l'espace, c'est à dire dans sa répartition sur l'eau

Le programme "GRICHO" trace la trajectoire de la vedette et recalcule à partir d'un maillage précis l'azimut et la vitesse du vent à l'intérieur de chaque carré.

Le programme "TRAJEC" trace la trajectoire de la vedette ainsi que l'azimut et la vitesse du vent réel rencontré, sous forme de flèches. En outre, il permet la reconnaissance et l'identification du parcours de régates et notamment les caps et distances entre les marques du parcours olympique.

Procédure d'expérimentation :

Par le recoupement des résultats des différents fichiers d'enregistrement on essaie d'isoler les effets du site.

Une étude statistique menée sur plusieurs années permet de dégager les effets de côte sur le vent grâce aux centaines de fichiers de vent stockés sur disquettes informatiques.

L'engin de mesure (la Vedette-laboratoire) qui se déplace sur le plan d'eau en relevant sa trace en permanence, permet de travailler par rapport au relief côtier et de relever par statistique les Zones critiques, les Zones où l'on retrouve toujours les mêmes déviations côtières.

3) L'analyse du vent dans ses évolutions dans le temps

La procédure d'expérimentation est très différente, puisque la Vedette enregistre à l'arrêt les évolutions du vent dans le temps (sur plusieurs heures) sur un lieu précis. Dans ces conditions, on analyse le vent à partir d'un point fixe, ce qui nous permet d'enregistrer les évolutions du vent ou des vents dominants du plan d'eau et leurs caractéristiques.

Le programme HC trace par exemple l'histogramme de l'azimut et de la vitesse du vent réel en calculant le vent moyen qui correspond au cap du parcours pour le régatier sur l'eau.

4) L'analyse des paramètres physiques comme la pression barométrique, les températures de l'eau et de l'air

L'enregistrement de ces paramètres nous permet de mieux situer les conditions atmosphériques durant la mesure.

Le programme météo trace l'ensemble de ces paramètres avec la vitesse et l'azimut du vent de manière synchrone.

D'autre part, certains programmes spécifiques comme le programme "TRAEAU" trace sur la trajectoire de la vedette la température de l'eau rencontrée, ce qui nous permet de détecter les éventuelles zones de courant (voir le chapitre sur Los Angelès).

5) Les programmes spécifiques à l'attention des Coureurs de l'Equipe de France

Aide à l'élaboration d'une stratégie de course : les programmes "CERC", "TRANCH", "DECOUP" présentent les fichiers de vent sous forme de tableaux ou

de diagrammes représentant la répartition du vent en pourcentage dans les différents secteurs angulaires sous forme statistique. Ces programmes font ressortir les notions de pourcentage de risques dans le choix stratégique du coureur par rapport à la répartition statistique du vent du cercle de régates étudié.

Ces programmes sont, dans la présentation, très proches des fiches classiques de compte-rendu de régates utilisées par les coureurs et les entraîneurs dans les entraînements et les compétitions.

Nous allons maintenant étudier plus en détail quelques programmes-types utilisés avec les Coureurs de l'Equipe de France .

**4 . principales
représentations
obtenues**

programme "gricho"

a) Programme "Gricho"

Répartition du vent dans l'espace.

PROGRAMME "GRICHO" : Répartition du vent dans l'espace

1) Description

La Vedette calcule en temps réel l'azimuth et la vitesse du vent réel rencontré au cours de son déplacement.

Nous étudions statistiquement la répartition du vent sur l'eau à partir d'un maillage défini au choix de l'opérateur. L'ordinateur calcule alors le vent moyen rencontré dans chaque maille (voir effet d'Ile à La Baule). On peut opérer un effet de loupe sur une portion de trajectoire de la Vedette pour rechercher l'effet de couloir entre deux immeubles par exemple.

D'autre part, à chaque valeur de l'azimuth et de la vitesse du vent réel correspondant au maillage choisi, on complète l'information par l'écart type correspondant.

Les valeurs de ces écarts types nous renseignent sur l'instabilité du vent ($\pm 10^\circ$ ou ± 5 noeuds sont significatifs d'un vent très perturbé.)

Ces indications sont essentielles pour la navigation, car elles influent directement sur l'option tactique de course. D'autre part, si un couloir de vent existe, ce programme nous permettra de le retrouver statistiquement. A chaque fois que la Vedette mesure le vent dans cette surface du maillage, elle y recalcule le vent moyen et son écart type. Il est ensuite aisé de reprendre l'ensemble des valeurs recueillies à l'intérieur de cette surface du maillage, pour vérifier l'existence d'un effet de couloir de vent.

Quand on veut étudier un tel phénomène, on se délimite un périmètre d'observations et on le quadrille systématiquement pour identifier ces couloirs de vent et les délimiter. Ensuite nous avons travaillé sur d'autres programmes pour comprendre le pourquoi de ces effets de Côte.

2) Interprétation : Los Angelès 19/07/83

Etude statistique des effets d'Ile (Island Chaffee) à l'attention des Véliplanchistes aux Jeux Olympiques.

La Vedette décrit en moins de 15 mn, une série de boucles autour de cette île afin de déceler les modifications d'azimut et de vitesse du vent due aux effets d'"Island Chaffee".

On observe qu'à partir d'un maillage fin de 0,25 Mille par vent de Sud Ouest, le vent passe au 229° sous le vent de l'Ile alors qu'il tourne à droite (235° - 238°) au vent de cette même Ile.

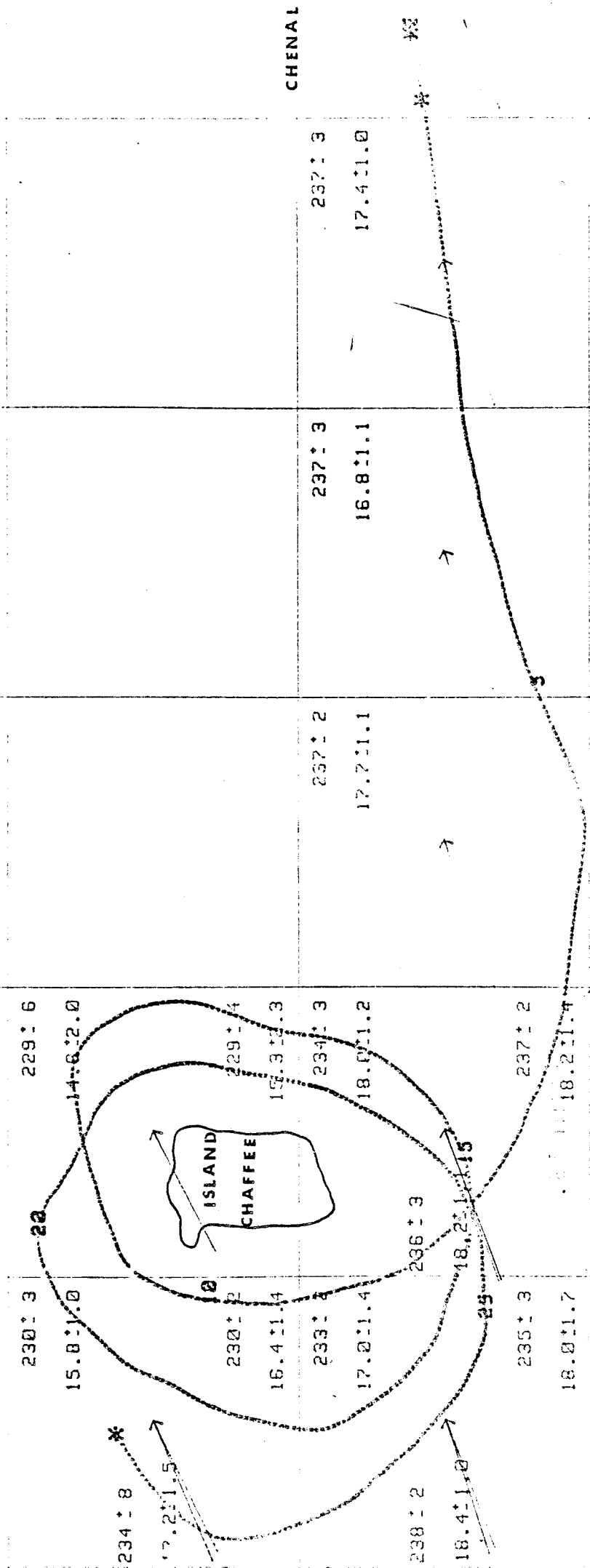
On répète cette expérience plusieurs fois, en procédant de la même manière et on superpose ensuite les calques obtenus pour essayer de bien mettre en évidence cet effet d'Ile.

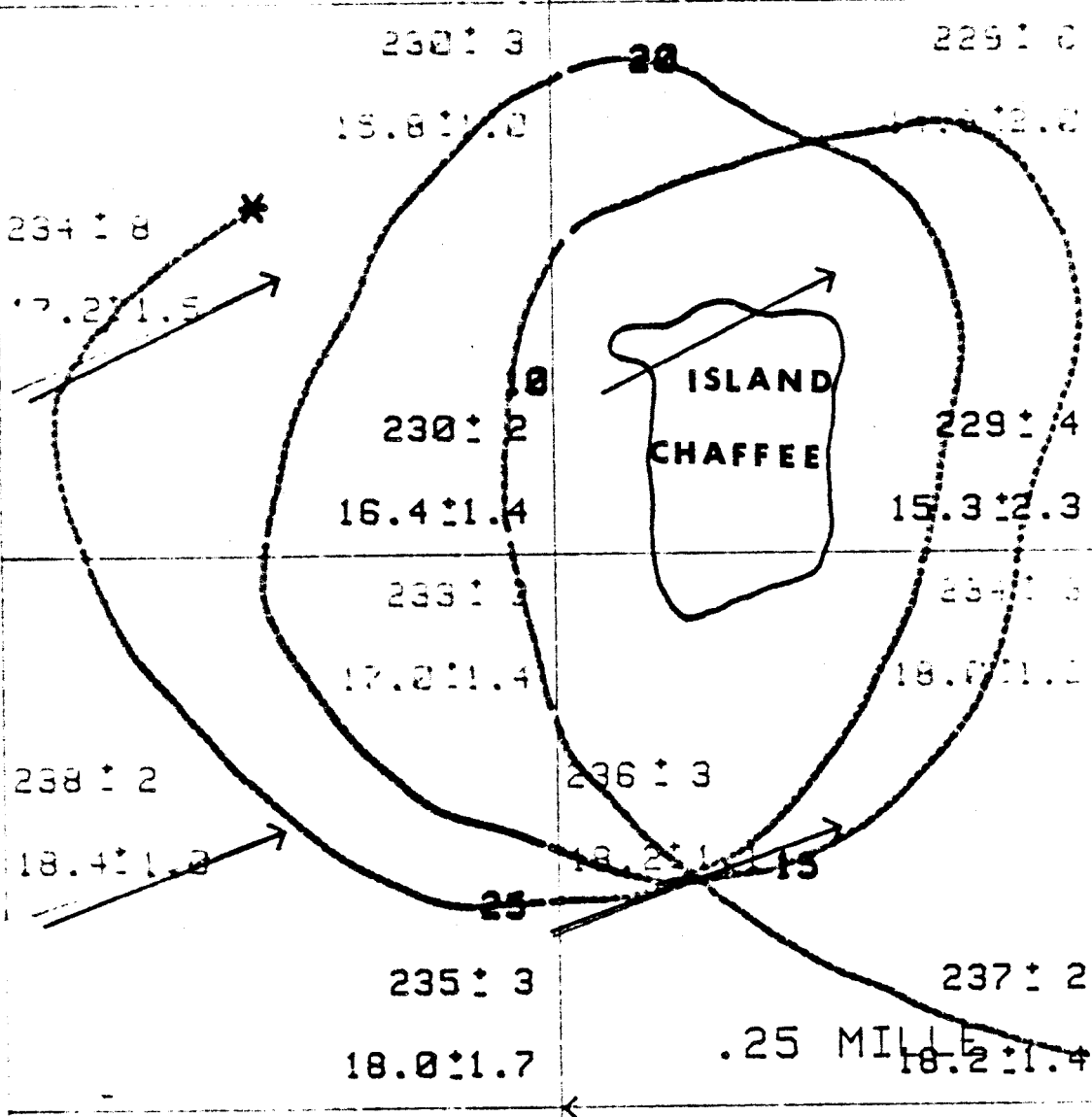
REMARQUE :

On trace la route de la vedette directement sur nos fonds de carte obtenus précédemment par le programme "Carte 2" et ceci aux différentes échelles en fonction du but recherché.

Un effet de loupe est réalisé en modifiant les échelles quand on veut isoler un détail précis de quelques centaines de mètres.

Le programme tient compte de la déclinaison (14° E à Los Angelès).





LOS ANGELES - 19/07/83
 Tours île 14h00
 30cm = 1 MILLE
 M11F18 à F20
 GRAPHE N°1

CHENAL

237 : 3

237 : 3

16.8 : 1.1

17.4 : 1.8



programme «vent»

b) PROGRAMME "VENT"

Restitution de l'Azimuth et de la Vitesse
du Vent réel après filtrage

AZIMUT

352°

VITESSE

20nd

Lieu:

LA BAULE

Date:

25/05/82

Commentaire:

Pt FIXE PORNICHE

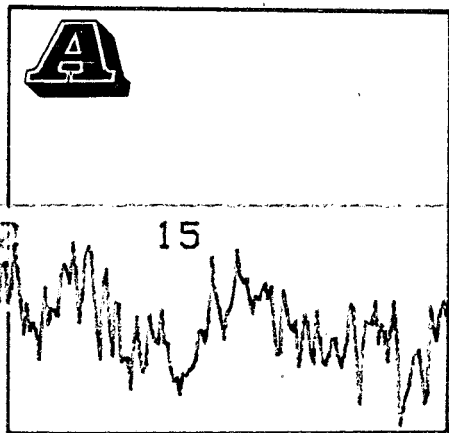
Type:

Rapide

Fichier:

M2F37

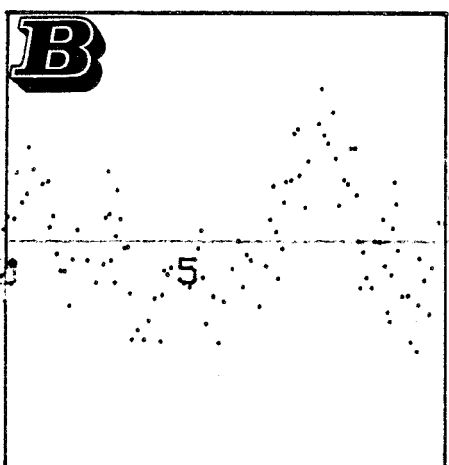
DU VENT



LOUPE SUR L'AZIMUT (VOIR TRACÉ 2)

182

10



LOUPE SUR LA VITESSE (VOIR TRACÉ 2)

10^{mn}

TEMPS

Programme 'VENT' : Sans filtrage et sans modification d'échelle

TRACE N°1

PROGRAMME "VENT"

a) Description

Ce second programme nous permet de tracer simultanément les deux paramètres Vitesse et Direction du vent réel calculés à partir de la résolution du triangle des vitesses (vent apparent, vitesse du bateau). Le programme propose trois possibilités de traitement :

- 1°/ Traitement brut sans filtrage
- 2°/ Traitement filtré par "filtrage numérique récurrent"
- 3°/ Traitement filtré par moyenne glissante

1°) Traitement brut sans filtrage (tracés N° 1 et 2)

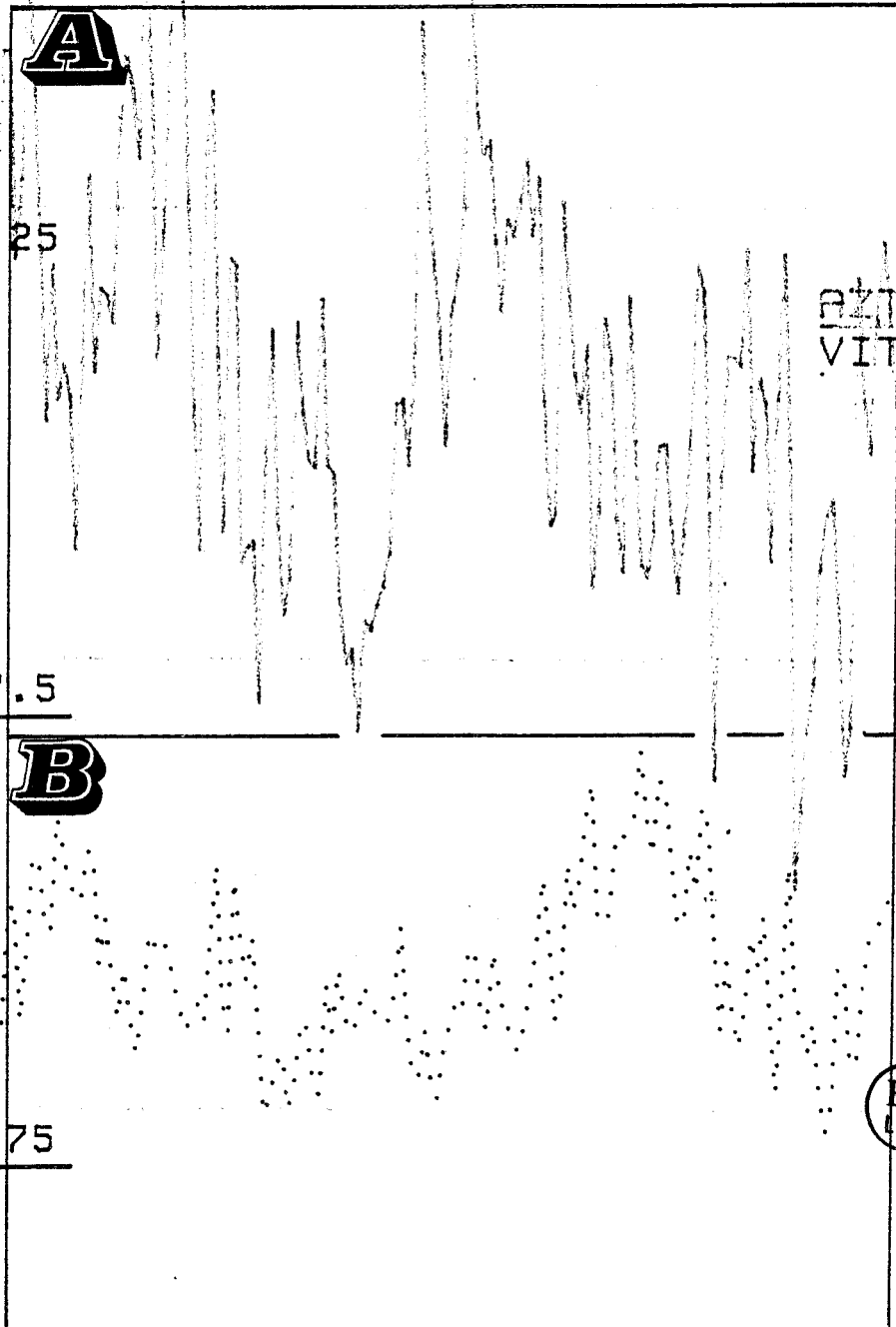
On utilise cette représentation, principalement pour noter les évolutions du vent dans le temps (donc principalement en mesure par point fixe comme c'est le cas ici. La Vedette est mouillée et nous notons sa position par trois relèvements sur la feuille de bord (cf. programme DEPMET). Ce premier tracé nous permettra de choisir convenablement nos échelles et de mettre éventuellement en oeuvre un effet de loupe (voir tracé N° 2). Ces tracés sont difficilement exploitables directement, il faut les filtrer.

AZ'

VITESSE

270

15nd Lieu: LA BAULE
 Date: 25/05/82
 Commentaire: Pt FIXE PORNICHET
 Type: Rapide
 Fichier: M2F37



235

7.5

AZ	Vr
VIT	Vr

5 mn

TEM

EFFET DE LOUPE

Programme 'VENT' : Sans filtrage
 et avec modifications des échelles

TRACÉ N° 2

2°) Traitement filtré par "filtrage numérique récurrent"

Durée de calcul : 2 mn par Fichier *

(tracés N° 3 et 3 bis)

C'est un procédé de filtrage long (2 mn par fichier) mais qui déforme peu les tendances du vent en n'introduisant que peu de décalage avec la réalité.

Nous avons représenté deux périodes de filtrage, une de 38 s et l'autre de 180 s (c'est à dire que le filtrage s'effectue respectivement sur 7 et 36 échantillons de part et d'autre du point considéré.

3°) Traitement filtré par moyenne glissante (tracé N° 4)

Durée de calcul : 25 s par Fichier *

Cette méthode a l'avantage d'être d'exécution rapide, mais elle est moins rigoureuse que la première.

REMARQUE :

La Thèse de Docteur Ingénieur de A. VERNEY reprend ces deux procédés de filtrage et les analyse de la manière suivante :

"Le lissage obtenu par le filtre numérique récurrent est plus rigoureux, car la méthode de moyennage glissant introduit des pseudopériodes pouvant fausser l'interprétation".

Nous choisissons l'un ou l'autre de ces deux filtrages suivant le type d'exploitation recherché :

- a) sur les lieux d'entraînement et de compétition, il faut beaucoup de rapidité et nous utilisons le filtrage par moyenne glissante ;
- b) Dans les recherches sur la structure fine du vent, sur des points précis, d'étude de corrélation directe entre l'intensité et la direction du vent, nous utilisons le filtrage numérique récurrent.

* Chaque Fichier correspond à un temps d'enregistrement de 10 mn.

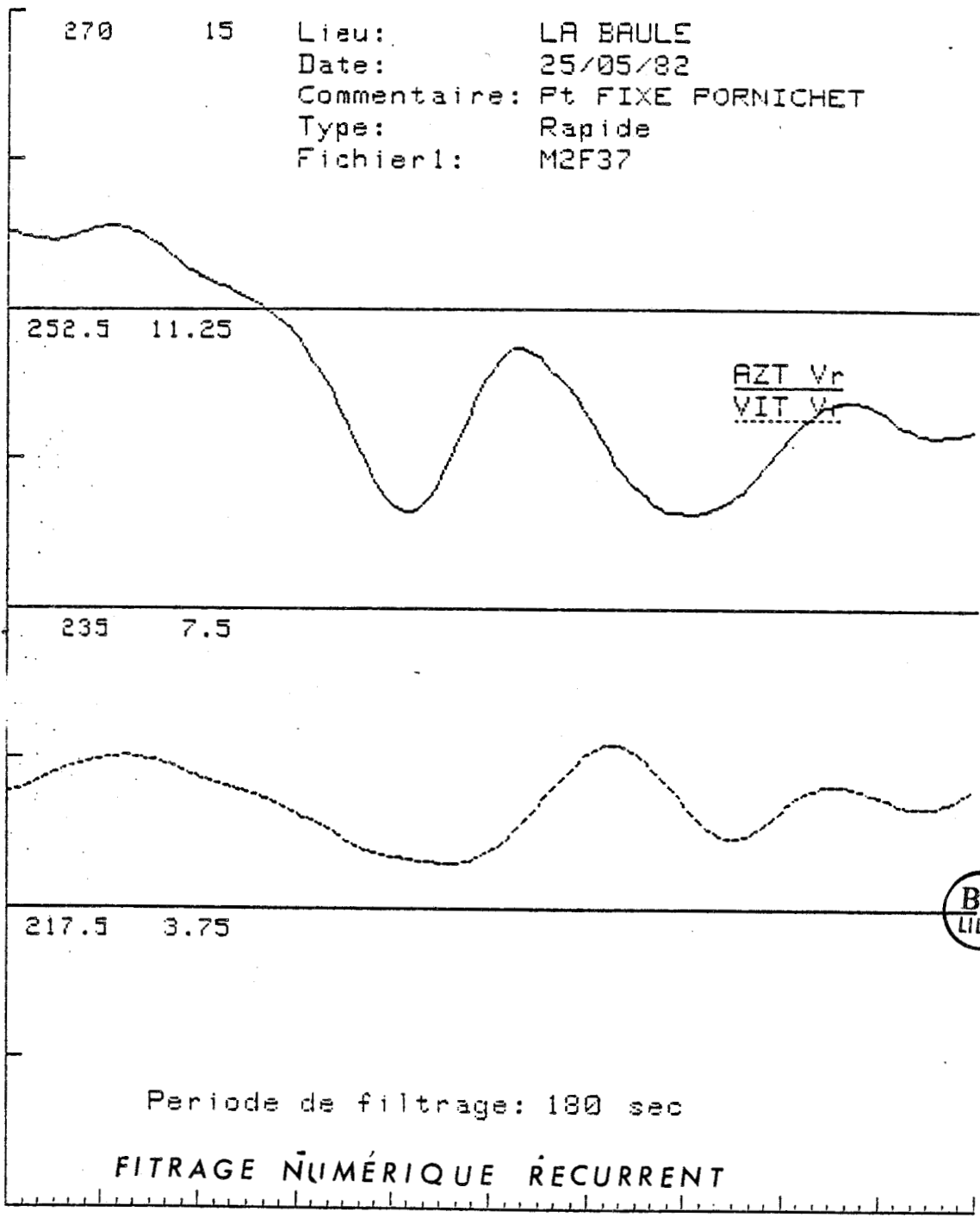
VENT

AZ^t VIT

270

15

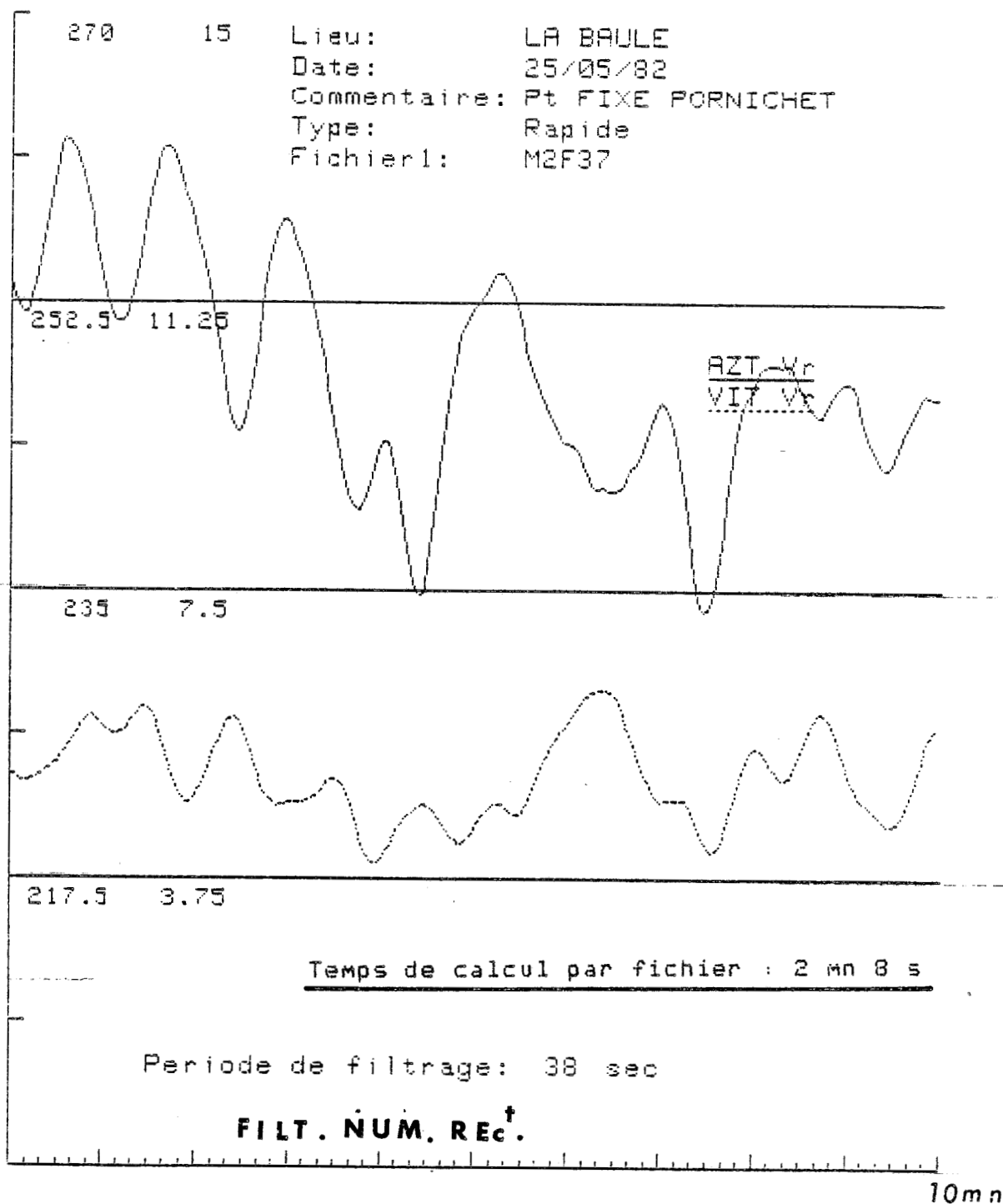
Lieu: LA BAULE
 Date: 25/05/82
 Commentaire: Ft FIXE FORNICHET
 Type: Rapide
 Fichier1: M2F37



10 mn

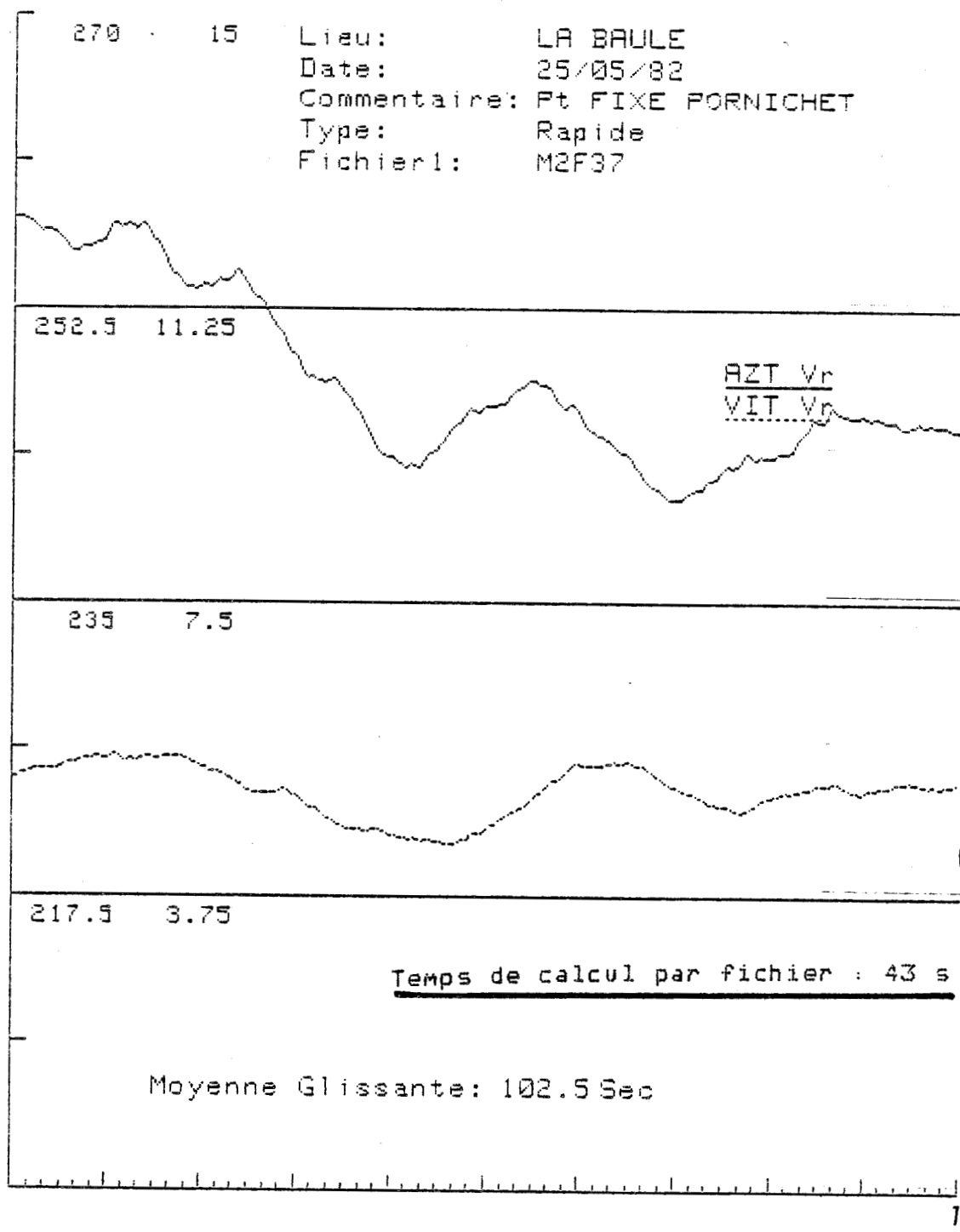
Programme 'VENT' : Avec filtrage (T=180 s)
 et avec modifications des échelles

Trace N°3



Programme 'VENT' : Avec filtrage (T=38 s)
et avec modifications des échelles

Tracé N°3 bis



Programme 'VENT' : Avec filtrage par moyenne glissante (20 points)
et avec modifications des échelles

Trace N°4

EXEMPLES TYPE DE TRACES OBTENUS

à partir de ce programme Vent

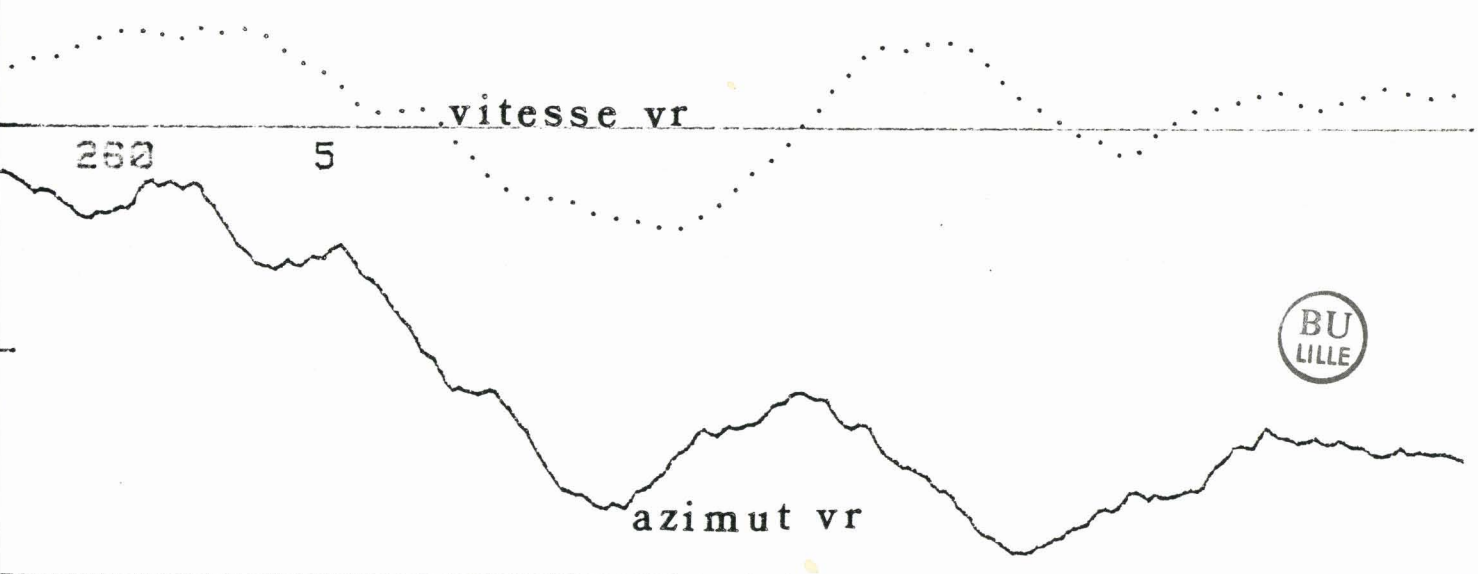
322°

10nd

Lieu: LA BAULE
 Date: 25/05/82
 Commentaire: Pt FIXE PORNICHE
 Type: Rapide
 Fichier: M2F37

280 7.5

AZT Vr
 VIT Vr



240 2.5

Moyenne Glissante: 102.5 Sec

- Evolution du vent dans le temps (point de mesure fixe)
- Nette corrélation du vent (Azt - Vit) à parcours maritime

Tracé N°5

1) Exemple de corrélation nette entre la Vitesse et l'Azimut du Vent réel (Tracés 5 et 5 bis)

Réf. La Baule 25/05/82 M 2F 37

Point fixe : Pornichet

On observe une corrélation forte entre l'Azimut et la Vitesse du vent dans les régions de brise thermique ou dans les régimes de vent à parcours maritime non perturbés.

Ces régimes de vent sont du type :

- | |
|---|
| a) rotation à droite : Viring : renforcement du vent en intensité |
| b) rotation à gauche : Backing : diminution du vent en intensité |

D'autre part, la tendance synoptique influe sur les durées respectives des Virings et des Backings.

C'est à dire que pour une rotation synoptique du vent vers la droite prévue sur 24 heures, il faut s'attendre à ce que les Virings soient en durée plus longs que les Backings avec un gain angulaire de l'ordre d'une dizaine de degrés à chaque fois.

Par contre, il y a autant de Backings, c'est à dire de périodes où le vent revient à gauche. Ce sont les Backings qui créent le doute dans l'esprit des équipages, pour qui une rotation à droite du vent se fait régulièrement sans retour.

Ces périodes de Backing, où le vent tourne à gauche sont de durée plus courte que les Virings (quelques minutes).

Concrètement, sur un bord de louvoyage d'une vingtaine de minutes, il y aura une ou plusieurs périodes de retours de vent sur la gauche, de Backings brefs que le Coureur devra utiliser pour se recentrer vers l'axe du parcours

C'est à dire qu'il faut profiter sans attendre des retours à gauche du vent car ils sont rapides et ne durent pas longtemps lorsque la tendance synoptique est une rotation à droite.

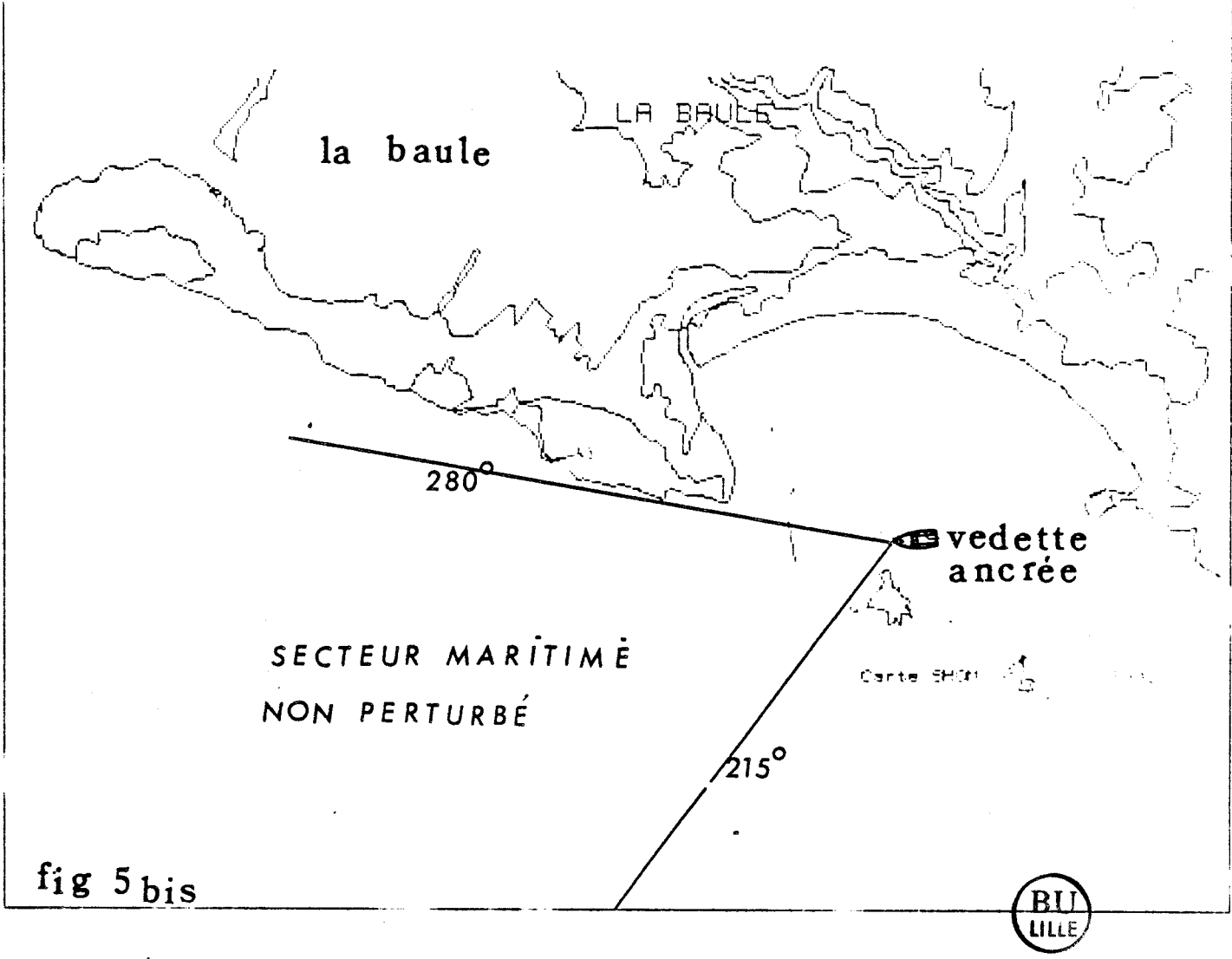


fig 5 bis

Site étudié

:
: Dans tous les cas, à chaque fois qu'une rotation de vent
: s'effectue graduellement dans un sens, il faut s'attendre à
: un retour rapide du vent dans l'autre sens. C'est durant précie-
: sément cette période brève que la différence entre les bateaux
: se crée et que se perdent ou se gagnent les régates.
:
:

2) Exemple mettant en évidence la notion de cap limite frontière
dû aux obstacles

Marseille 18/05/81 Tracés 6 et 7

Fichier M 42 F10 à F15

Championnat du Monde des Habitables Quarters

On assiste cette fois à un cap frontière limite de 127° correspondant à l'île Riou (distance : 9 milles du centre du cercle olympique).

Le Vent oscille entre 127° et 146° , mais ne dépasse jamais cette frontière de 127° .

Il faut donc, suivant l'origine du vent, à parcours maritime, déterminer les valeurs frontière du site (îles, pointes etc...) en reportant soigneusement sur les cartes marines, l'implantation des parcours olympiques par rapport au relief.

az^t

180

Lieu: MARSEILLE
 Date: 18/9/81
 Commentaire: METEO 14H56
 Type: Rapide
 Fichier: M42F10

165

AZT Vr

zone claire a parcours maritime

150



azimut

135

127°

Periode de filtrage: 180 sec

zone perturb
ile RJOU

10

20

30

40

50 mn

temp

trace 6

- 3) Exemple de Viring long (15 mn) et de retour rapide (3 mn)
en Backing pendant le championnat du monde de 470 à Quiberon
(21/08/81) sur un vent à parcours maritime, avec la notion de
cap limite imposé par le relief.

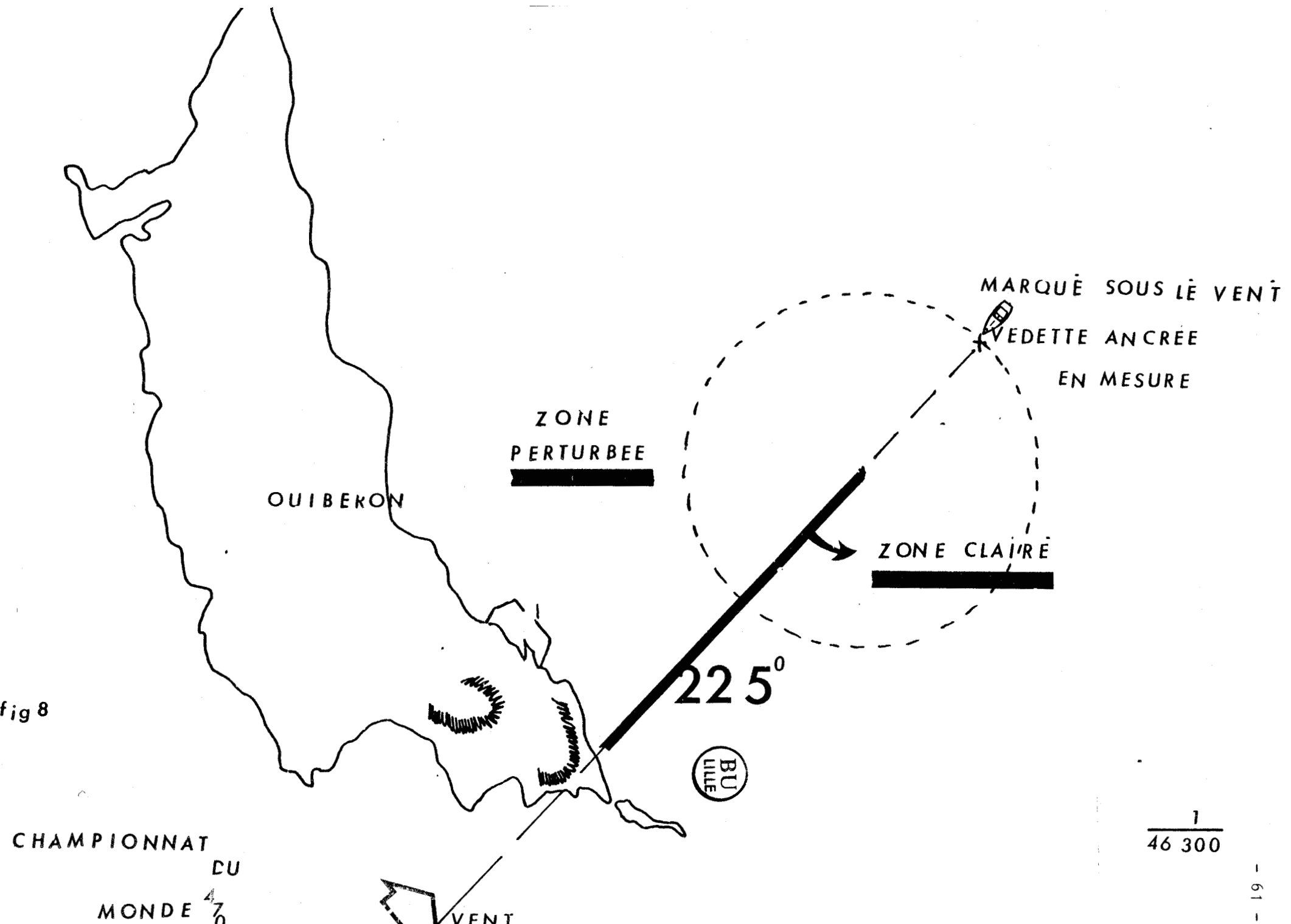
Première régata (3ème remontée au vent) : 15 H CO M 31 FO
Fig. 8 et 9

Le Vent d'origine maritime progresse par 3 paliers :

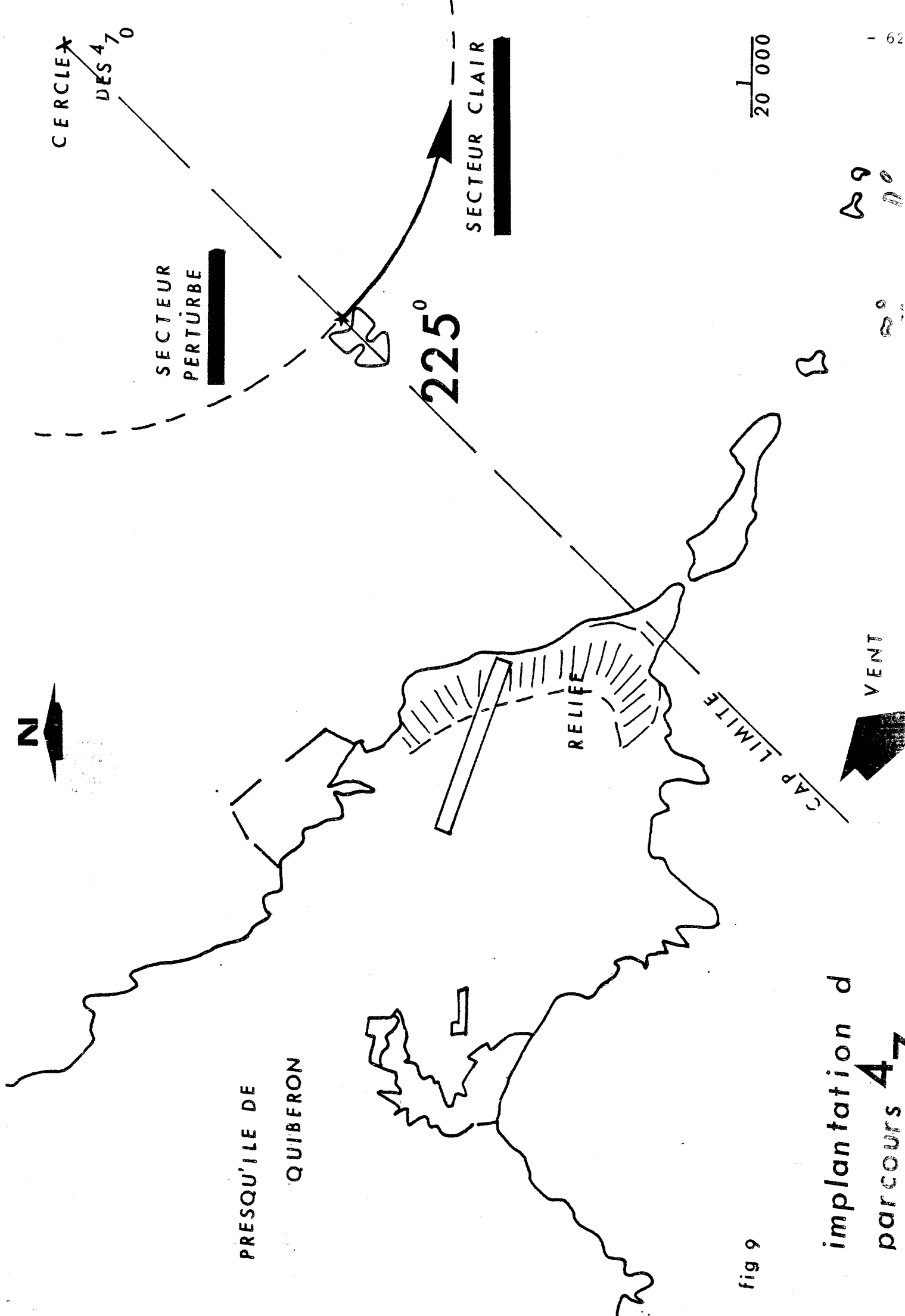
- a) une relative stabilité à 180° (fig 10)
- b) une évolution lente en viring jusqu'à 225° (cap limite déterminé par la terre à partir de la carte de Quiberon)
Puis un backing rapide 3 mn pour 40° (fig 11)
- c) une stabilité du vent entre 180° et 225° et une succession de valeurs limites à 225° montrant que le vent continuera son évolution vers la droite en profitant des zones à rugosités faibles ou des ruptures de relief (fig 12).

Le vent peut ainsi sauter de couloirs en couloirs, en passant à chaque fois par une série de caps limites où il bute pendant plusieurs dizaines de minutes (le cas le plus typique étudié est celui de Hyères où le vent s'engouffre entre les îles en une succession de petites étapes très marquées).

fig 8



$\frac{1}{46\ 300}$



CERCLE
DES 470

SECTEUR
PERTURBE

SECTEUR CLAIR

225°

RELIEF

CAP LIMITE

N

VENT

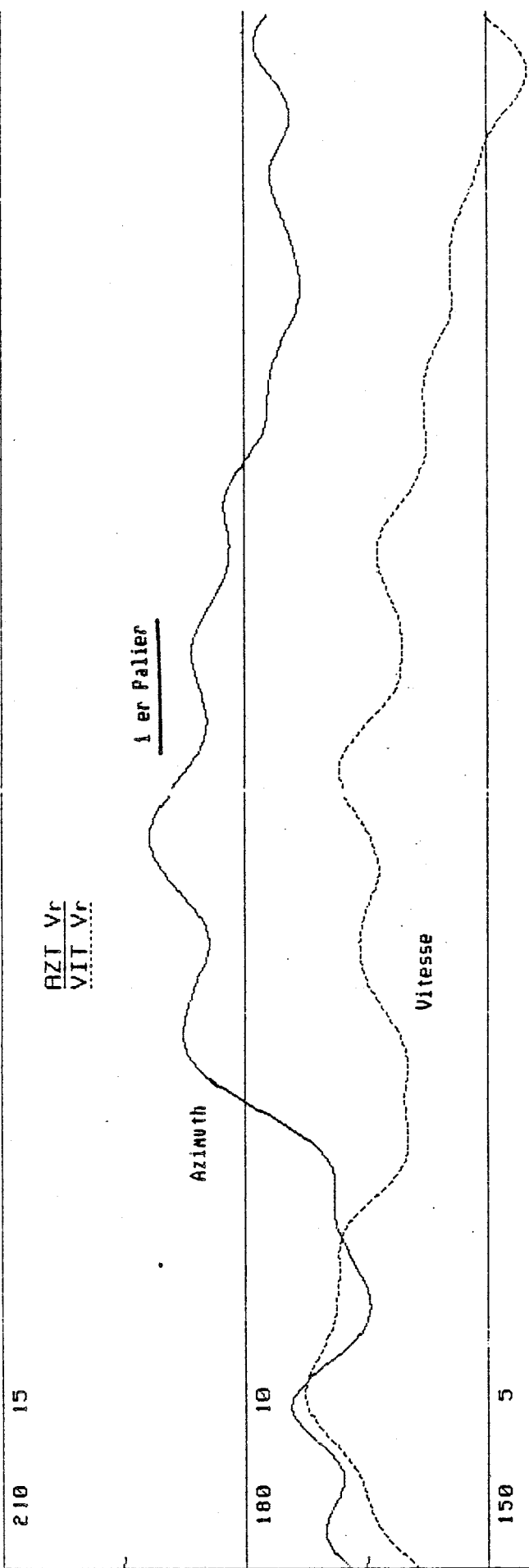
20 000

PRESQU'ILE DE
QUIBERON

fig 9

implantation d
parcours 47

240 20 Lieu: ENV
 Date: 31.8.81
 Commentaire: MONDE1 15h
 Type: Rapide
 Fichier1: M31F0 225°



Periode de filtrage: 120 sec 3 ème remontée au vent

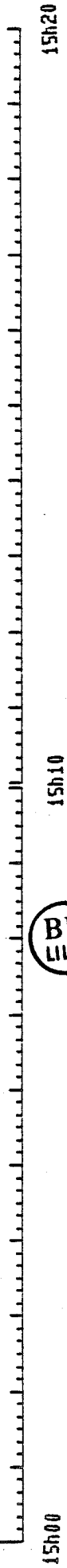


fig 10

240 20 Lieu: ENV
 Date: 31.8.81
 Commentaire: MONDE1 15h
 Type: Rapide
 Fichier1: M31F2

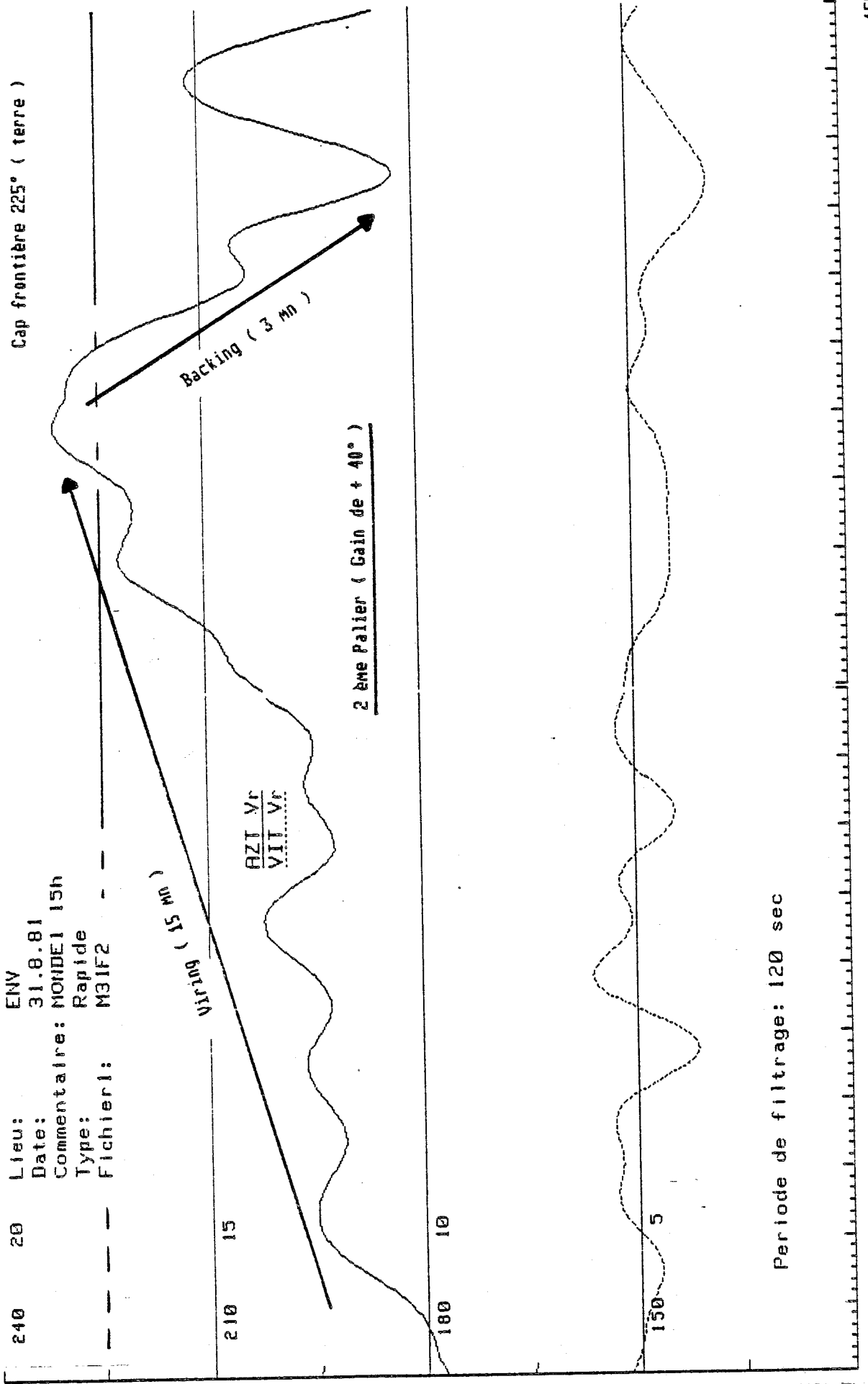
Cap frontiere 225° (terre)

0.11.19 (15 m)

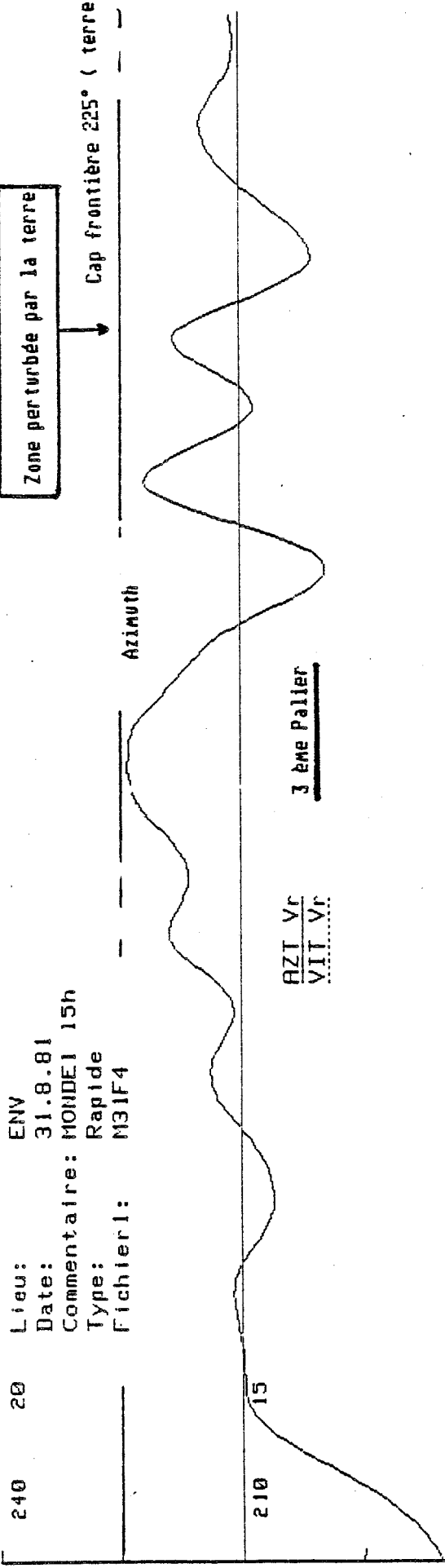
AZI Vr
 VIT Vr

2 ème Palier (Gain de + 40°)

Backing (3 m)



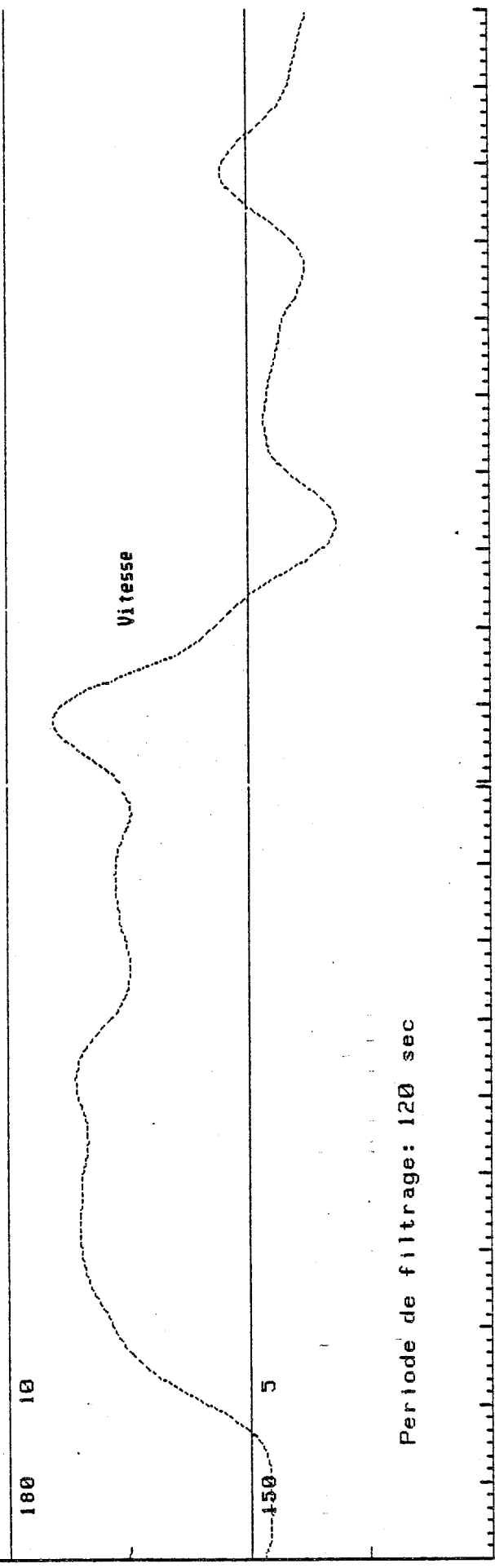
Lieu: ENV
Date: 31.8.81
Commentaire: MONDE1 15h
Type: Rapide
Fichier1: M31F4



AZI Vr
VIT Vr

3 ème Palier

Vitesse



Periode de filtrage: 120 sec



programme «courant»

c) PROGRAMME " COURANT "

Calcul de l'Azimuth et de la Vitesse
du Vecteur Courant

PROGRAMME "COURANT"

1) Description :

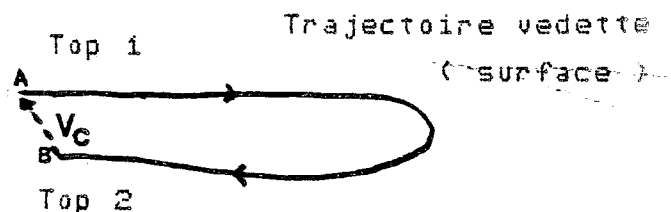
L'effet perturbateur du courant sur nos mesures nous a obligé à mettre au point un programme de restitution du vecteur courant.

Nous avons mis au point une technique d'évaluation du courant qui se déroule comme suit :

La Vedette part d'un point fixe (balise ^a encreée ou perche IOR mouillée par la Vedette) notée A. Simultanément, nous enregistrons un top événement sur bande noté 1, puis nous effectuons un parcours de 1 à 2 minutes en général, pour revenir au point de départ noté B que nous enregistrons sur la bande par un top n° 2.



A et B confondus
absence de courant



A et B distincts
vecteur courant V_c

A est une marque repère sur le fond

Connaissant la durée du parcours AB, on peut calculer le vecteur courant (intensité et direction).

Note Il faut recommencer l'expérience plusieurs fois, ce qui ne prend que peu de temps en notant l'heure et les conditions de vent rencontrées. (courant de surface)

Bien évidemment, lorsqu'à la Quarter Ton Cup, nous devions mesurer le courant par force 5 à 6, il n'y avait aucune possibilité de faire ces relevés. Néanmoins avant ce championnat du Monde nous avons établi une cartographie courant par vent nul voir très faible venant du 245°.

Tracé_n°_1 Marseille 17/09/81

Le facteur courant étant relativement plus important quand le vent est faible que lorsqu'il y a une mer très formée, ces mesures peuvent déjà mieux objectiver le facteur courant qu'avec la méthode traditionnelle de la pagaie à la dérive lâchée à partir d'un repère fond.

De toute manière, je ne vois pas qui à la Quarter Ton Cup de Marseille aurait pu mesurer le courant avec un vent de force 5 et une mer formée, ce n'était d'ailleurs pas le facteur déterminant dans la course.

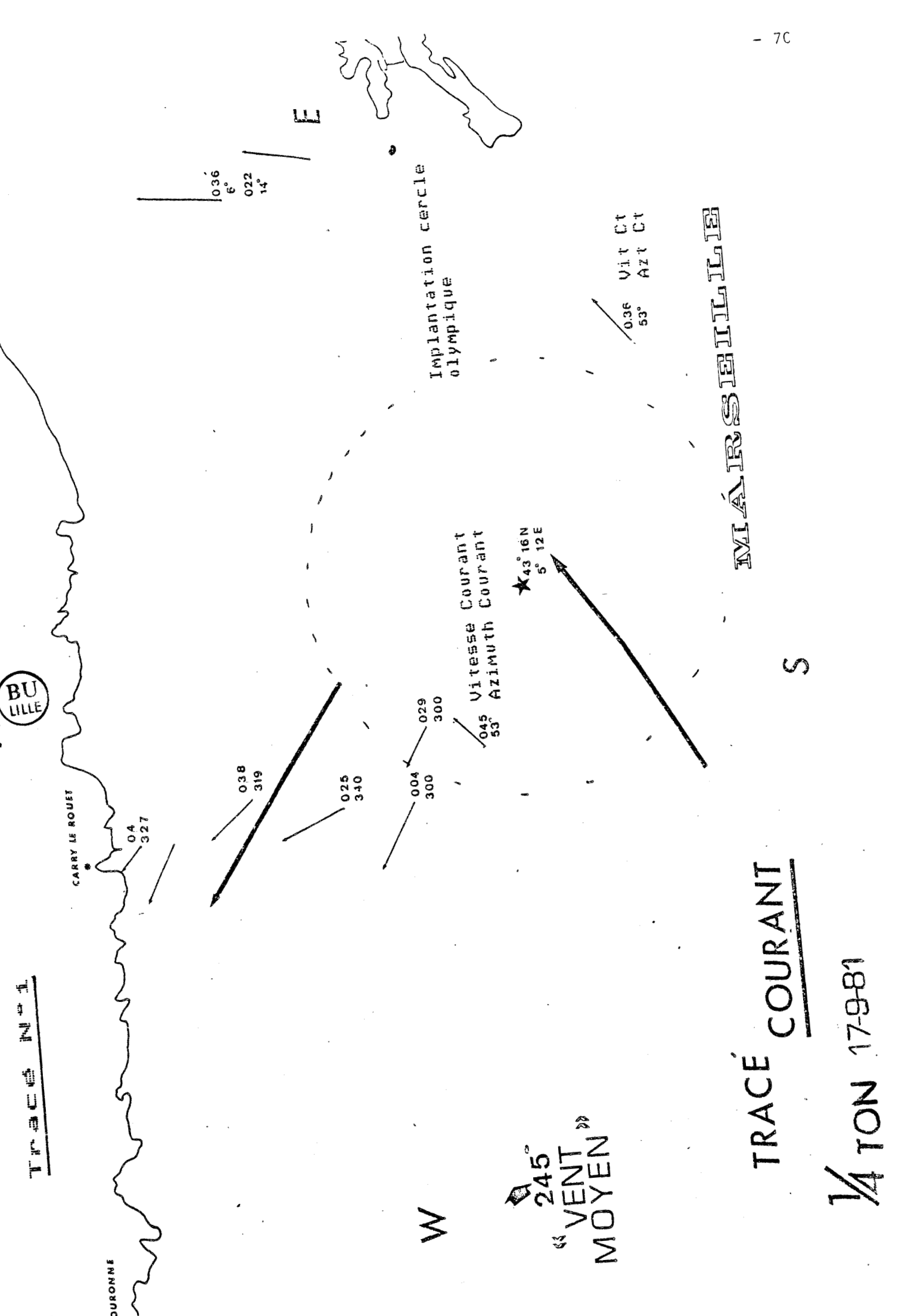
2) Interprétation :

Nous pouvons aussi calculer le courant moyen sur un temps plus long (1 à 3 heures) et sur une zone plus importante par la même méthode, cas de Hyères par exemple.

Par contre, lorsque nous sommes soumis à un courant de marée, il faut réaliser cette recherche à partir de plusieurs points fixes mouillés durant l'ensemble des mesures. Avec la Vedette, il suffit tous les 1/4 d'heures de réaliser ces enregistrements l'un derrière l'autre et noter nos observations en rapport avec la PM ou la BM (pleine et basse mer) (ex : PM + 1 - PM + 2 etc...) et le coefficient en centième.

CONCLUSION

Cette recherche de courant sur un site, fait l'objet d'une étude bien spécifique, car nous ne possédons pas encore de moyen de repérages suffisamment précis par rapport au fond (DECCA - RADAR - LORAN - etc...) pour calculer en temps réel ce vecteur courant,



TRACE N° 1

DURONNE

CARRY LE ROUET

BU LILLE

04
327

038
319

025
340

004
300

045
53

★ 43° 16' N
5° 12' E

036
53

VIT CT
AZT CT

W

245°
« VENT MOYEN »

Implantation cercle
olympique

E

036
6°
022
14°

MARSEILLE

S

TRACE COURANT

1/4 TON 17-981

programme

« cerc tranch decoup »

PROGRAMME "CERC" Notion de Cap limite et pourcentage de risque dans la tactique.

1) Description :

Ce programme sert à mettre en évidence les angles limites du vent, qu'il soit évolutif ou oscillant entre les bornes du relief.

On calcule sur un ou plusieurs fichiers de 10 mn le vent moyen et son écart type. On obtient donc les valeurs limites du vent. Puis on note ensuite les points extrêmes des minimum et maximum du vent, tout ceci à partir d'un diagramme polaire apparaissant sur la visuel couleur de l'ordinateur. Chaque couleur correspond à 10 mn d'enregistrement soit un fichier.

La représentation graphique se fait bien sûr à partir d'un repérage géographique classique N.S.E.W.

Ce diagramme polaire nous permet statistiquement de représenter les caractéristiques locales d'un site en fonction de l'origine géographique du vent et de la configuration du relief.

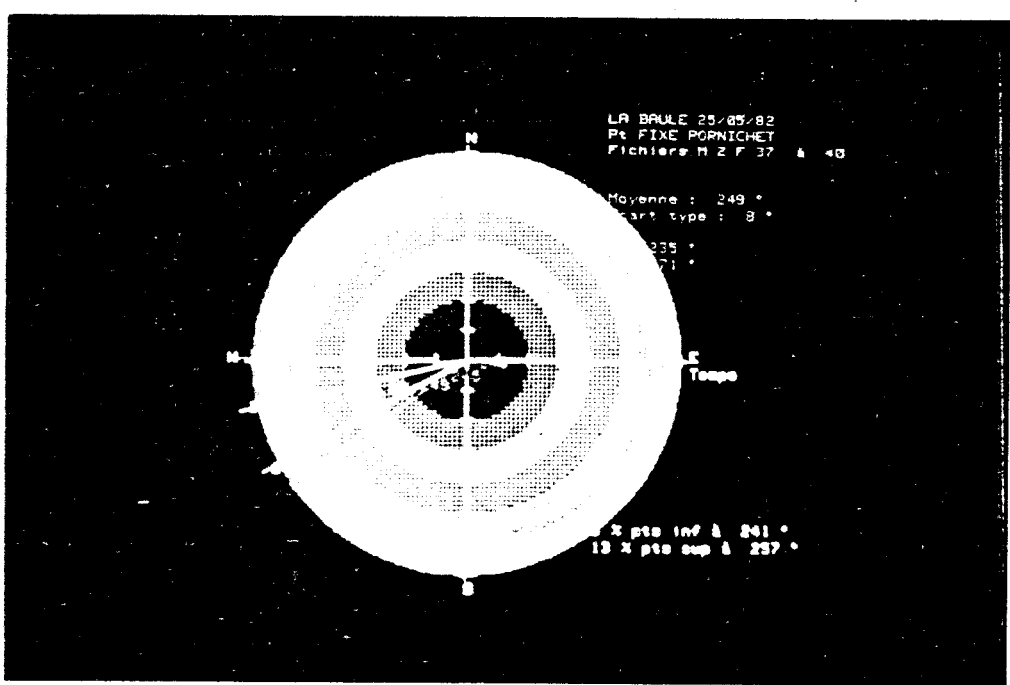
Il peut aussi, sur un vent évolutif, déterminer en fonction de l'heure, les valeurs angulaires limites du vent selon la topographie. C'est le cas précis des brises thermiques.

Enfin, ce programme calcule le nombre de points compris entre le vent moyen \pm , l'écart type et les bornes minimum et maximum extrêmes du vent, c'est-à-dire qu'il définit clairement le % de risque que prendrait un coureur en naviguant dans cet angle limite et bien sûr au delà.

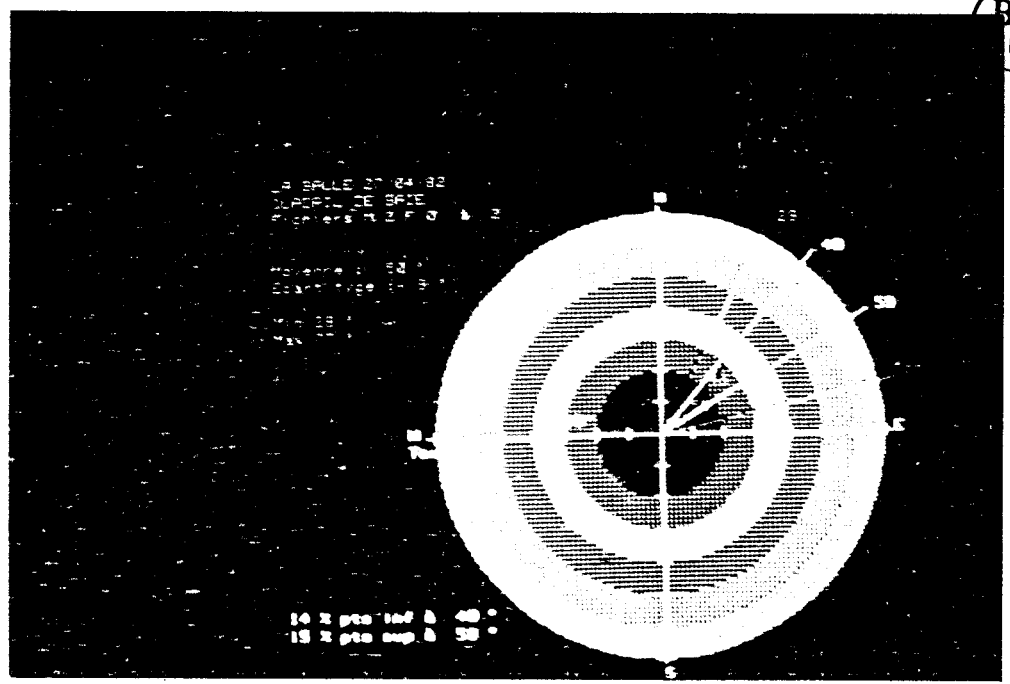
Ceci veut dire qu'à l'intérieur de ce secteur, le coureur n'a que par exemple 14% de chance de trouver du vent. L'amoureux des bords extrêmes trouvera là l'explication de ses déboires ou de ses succès, mais il faut qu'il sache qu'il ne dispose en moyenne que de 10 % de chance de réussir statistiquement dans son opération. La régata étant de toute évidence toujours un calcul en % de risque, ce type de programme doit nous permettre de repenser plus objectivement notre stratégie en fonction de ces indications.

2) Interprétation :

Photos 1 et 2



Vent de SW La Baule



Vent de NE La Baule

Il faut sur chaque plan d'eau composer ces diagrammes polaires en fonction de l'ensemble des conditions synoptiques possibles. C'est également une étude statistique à long terme, spécifique de chaque plan d'eau, mais surtout du cercle où se déroule la compétition (le cas de Hyères est significatif à cet égard, car il ne faudrait pas appliquer le diagramme polaire des 470 au rond des FD qui ne bénéficie absolument pas des mêmes conditions d'environnement topographique. Nous y reviendrons.

Kiel - 23/04/81 - 12 H 30 M 17 F16 à F17

Commentaire des valeurs calculées

a) moyenne : 35° - vent moyen Azimuth 35°

Le vent moyen calculé en prenant toutes les valeurs enregistrées pendant 20 mn est de 35° .

notion de vent moyen : c'est-à-dire que le parcours de régate serait vraisemblablement implanté au 35° . Mais ceci ne veut pas dire que le vent se répartit également à droite et à gauche de cette moyenne.

b) écart type : 8°

On a vu précédemment comment on calcule cet écart type.

Il nous permet de calculer les valeurs limites calculées du

vent

$$\text{vent moyen} + \text{écart type} = 35^\circ + 8^\circ = 43^\circ$$

$$\text{vent moyen} - \text{écart type} = 35^\circ - 8^\circ = 27^\circ$$

On peut considérer que le vent oscille à l'intérieur de cette fourchette

$$27^\circ \leftarrow \text{Vent moyen} \leftarrow 43^\circ$$

C'est entre ces deux valeurs, que le coureur construira sa course avec le minimum de risque. Ce qui ne veut pas dire que le vent n'a pas été au-delà de 27° et de 43° .

c) 7% points inférieurs à 27° } La notion des bornes extrêmes.
17% points supérieurs à 43° }

Entre 27° et 23° , on ne retrouve que 7% des points, c'est très faible.

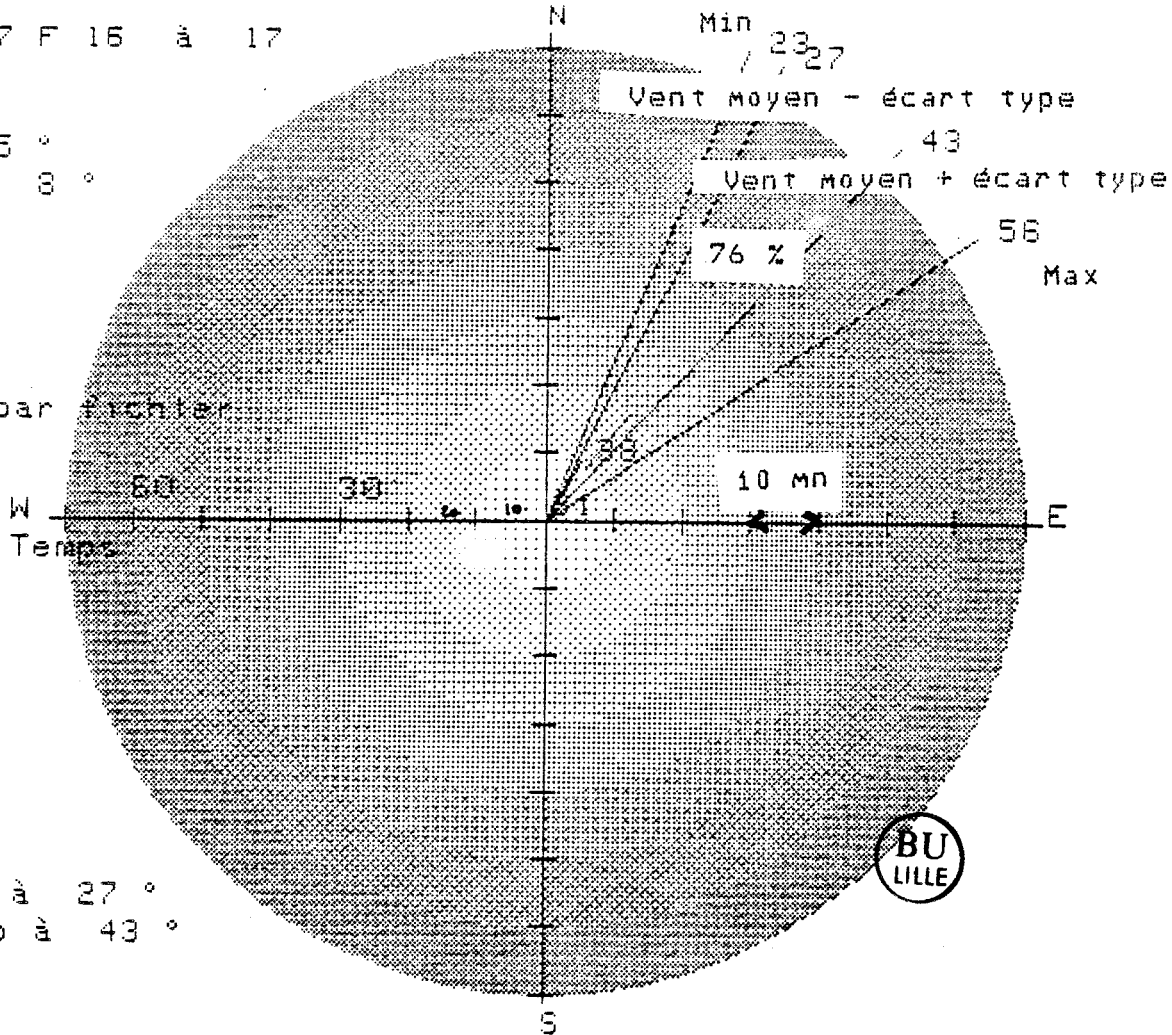
Par contre plus à droite, on retrouve 17% des points entre 43° et 56° .

KIEL 23-06-81
12h30/M3 470
Fichiers M 17 F 16 à 17

Moyenne : 35 °
Ecart type : 8 °

Min 23 °
Max 56 °

Moy.fichier par fichier
31 ; 38



7 % pts inf à 27 °
17 % pts sup à 43 °

Programme 'CERC'

Il faut noter que la borne des maximas de droite est beaucoup plus décalée que la borne des minimas de gauche.

On ne peut donc pas considérer ces bornes minimas et maximas de la même manière. La borne droite 43° avec 17 % de chance pour que le vent aille au 56°, doit influencer inévitablement la stratégie (il faudra rapprocher cette assymétrie des bornes avec la tendance synoptique du vent droite ou gauche).

On voit donc que ce programme analyse d'une manière statistique le vent en liaison directe avec la démarche analytique du barreur ou de l'équipier. C'est-à-dire que les informations du compas et le pourcentage de temps où le vent reste à certaines valeurs, sont des paramètres que tout coureur de haut niveau manipule facilement.

Simplement, on objective plus facilement par le calculateur les caractéristiques du vent

d) moyenne par fichiers 31° , 38°

Ceci veut dire que le vent moyen pour le fichier M17 F16 est de 31° , et pour le fichier M17 F17 38° .

Cette moyenne par fichier de 10 mn est souvent significative de la tendance du vent synoptique.

Hyères - 22/04/81

Semaine préolympique 14 H 40 - manche n° 3

Fichiers M11 F0 à F5 (rond des 470)

Durée 60 mn (6 fichiers)

Le rond des 470 est soumis à un régime de vent d'est, qui s'engouffre entre la côte (cap Bénat et l'île du Levant).

Ce diagramme polaire est très instructif, car il met en évidence la notion de cap limite imposé par le relief.

En effet le vent oscille à l'intérieur de deux caps (87° et 105°), excepté pour 14% des points entre 79 et 87° et 15 % des points entre 105° et 129°.

Le vent moyen est au 96° et l'écart type de 9°, c'est-à-dire que le vent est stable à l'intérieur de deux caps limites. Ce diagramme est caractéristique d'un flux d'air marin oscillant entre deux obstacles terrestres (la terre et une île). Nous verrons par le programme test comment on peut prévoir ces couloirs par un calcul sur carte, et vérifier à posteriori nos hypothèses.

Le vent moyen est très stable :

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1er fichier 91° | 4è fichier 104° |
| 2è fichier 92° | 5è fichier 95° |
| 3è fichier 98° | 6è fichier 95° |

Avec un parcours mouillé au 90° (cap compas) les coureurs auront pour cap limites (87° et 105°) c'est-à-dire que 71 % des points mesurés sont à l'intérieur de cette fourchette

Par vent d'Est - Rond 470 - Hyères

$$87^\circ < \underbrace{96^\circ \pm 9^\circ}_{\text{Vent moyen}} < 105^\circ$$

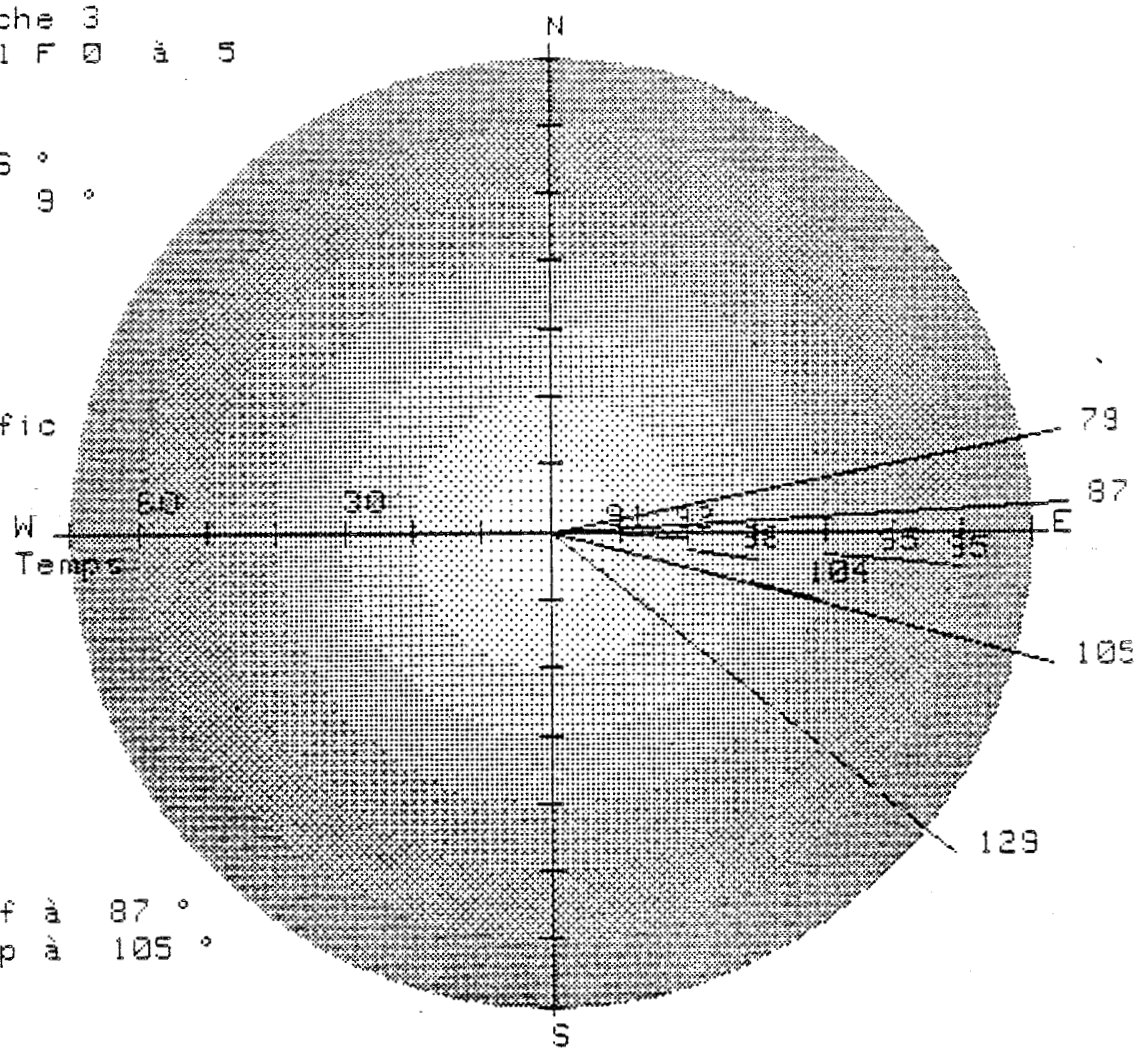
(71 %)

HYERES 22-04-81
14h40 et Manche 3
Fichiers M 11 F 0 à 5

Moyenne : 96 °
Ecart type : 9 °

Min 79 °
Max 129 °

Moy Fic par fic
81 ; 92
98 ; 104
95 ; 95



14 % pts inf à 87 °
15 % pts sup à 105 °

PROGRAMME "TRANCH " Répartition du vent en

Pourcentage de vent dans les différents secteurs angulaires (statistiques)

1) Description

Par ce programme, on compte en pourcentage, le nombre de points à l'intérieur de chaque secteur. C'est-à-dire qu'à partir des bornes limites trouvées par le programme "CERC" on dresse un tableau de 10° en 10° modifiable à ^{1a} demande pour un pas de mesure de 5° en 5° par exemple. Un pas de 10° en 10° a été choisi pour coïncider avec la précision des compas des coureurs dont les alidades vont de 10° en 10°. D'autre part, le balancement permanent de la rose magnétique ne permet pas une lecture plus précise sauf des cas très particuliers de mer plate et les yeux rivés sur la chiffraison. Enfin, il faut tenir compte de l'effet de parallaxe binoculaire du barreur, qui n'est pas dans l'axe du bateau et qui ne peut lire exactement l'alidade décalée à 45° en permanence. Un maximum de précision vient à l'encontre du but recherché qui est de toute évidence en terme de statistique.

On peut aussi statistiquement cumuler des dizaines de fichiers, voir des centaines de fichiers, pour vérifier cette hypothèse des caps limites et du coefficient de risque au-delà des bornes calculées.

Notre engin de mesure peut se permettre, en position de point fixe, ou en mouvement, de dresser ce tableau capital pour la navigation. Ce tableau dépend du point d'observation, du site et bien évidemment de l'origine synoptique du vent.

2) Interprétation :

a) Kiel 23/06/81

C'est le complément indispensable du programme précédent ("CERC").

On remarque que 50 % des points sont entre 30° et 40°. On peut d'une année sur l'autre, à partir d'un vent de même origine géographique, dresser de tels tableaux car il est évident qu'à Kiel comme à Hyères, le site influe sur la répartition du vent.

POURCENTAGE DE VENT DANS LES DIFFERENTS SECTEURS

10	20	30	40	50	Moy.	KIEL	23-06-81
0 %	0 %	33 %	65 %	3 %	0 %	31	FICHER M17F16
0 %	0 %	26 %	35 %	18 %	21 %	38	FICHER M17F17
0 %	0 %	30 %	50 %	10 %	10 %	35	Moy des fichiers

b) Hyères 22/04/81

M11 F0 à F5 et F6 à F17

Cette fois, on a fait une répartition statistique sur 18 fichiers de 10 mn soit 180 mn par vent d'Est - Rond des 470

Le vent moyen 91°, ne surprend pas les habitués de Hyères et les caps limites de 70° à 110° confirme nos hypothèses sur ce vent canalisé par le relief même s'il est éloigné de plusieurs milles, ce qui est le cas.

Les mêmes observations que précédemment s'appliquent sur le coefficient de risque dans les différents secteurs, c'est-à-dire qu'entre 80° et 100° on a déjà 55 % de chance que le vent reste, au-delà, ce pourcentage décroît rapidement 16 % puis 4 %.

Ceci veut dire qu'un vent moyen existe lorsque le vent peut osciller entre les deux bornes du relief. Ce programme nous renseigne sur la manière de naviguer au compas en terme de probabilités. Il ne nous dit pas comment le vent évolue finement, dans sa succession de viring et de backing (de refus et d'adonnante pour le coureur).

BU
LILLE

POURCENTAGE DE VENT DANS LES DIFFERENTS SECTEURS

70	80	90	100	110	Moy.	HYERES	22-04-81
0 %	3 %	52 %	31 %	15 %	0 %	91	14h40 FICHIER M11F0
0 %	0 %	42 %	48 %	9 %	1 %	92	FICHIER M11F1
0 %	0 %	25 %	25 %	46 %	4 %	98	15h FICHIER M11F2
0 %	0 %	0 %	19 %	68 %	10 %	104	FICHIER M11F3
0 %	0 %	25 %	55 %	15 %	2 %	95	FICHIER M11F4
0 %	1 %	23 %	55 %	20 %	1 %	95	FICHIER M11F5
0 %	16 %	32 %	49 %	3 %	0 %	88	FICHIER M11F6
0 %	2 %	19 %	57 %	22 %	0 %	95	FICHIER M11F7
0 %	0 %	27 %	59 %	14 %	0 %	94	16h FICHIER M11F8
10 %	6 %	23 %	62 %	0 %	0 %	88	FICHIER M11F9
0 %	26 %	28 %	19 %	20 %	6 %	90	FICHIER M11F10
16 %	43 %	29 %	5 %	0 %	0 %	76	FICHIER M11F11
12 %	56 %	28 %	3 %	0 %	0 %	77	FICHIER M11F12
44 %	29 %	3 %	2 %	3 %	3 %	70	FICHIER M11F13
3 %	31 %	23 %	28 %	15 %	0 %	87	17h FICHIER M11F14
0 %	77 %	23 %	0 %	0 %	0 %	78	FICHIER M11F15
0 %	3 %	4 %	16 %	18 %	35 %	111	FICHIER M11F16
0 %	0 %	8 %	46 %	26 %	17 %	101	FICHIER M11F17
5 %	16 %	23 %	32 %	16 %	4 %	91	Moy des fichiers

Vent moyen

Horaire

Programme 'TRANCH'

PROGRAMME "DECOUP"

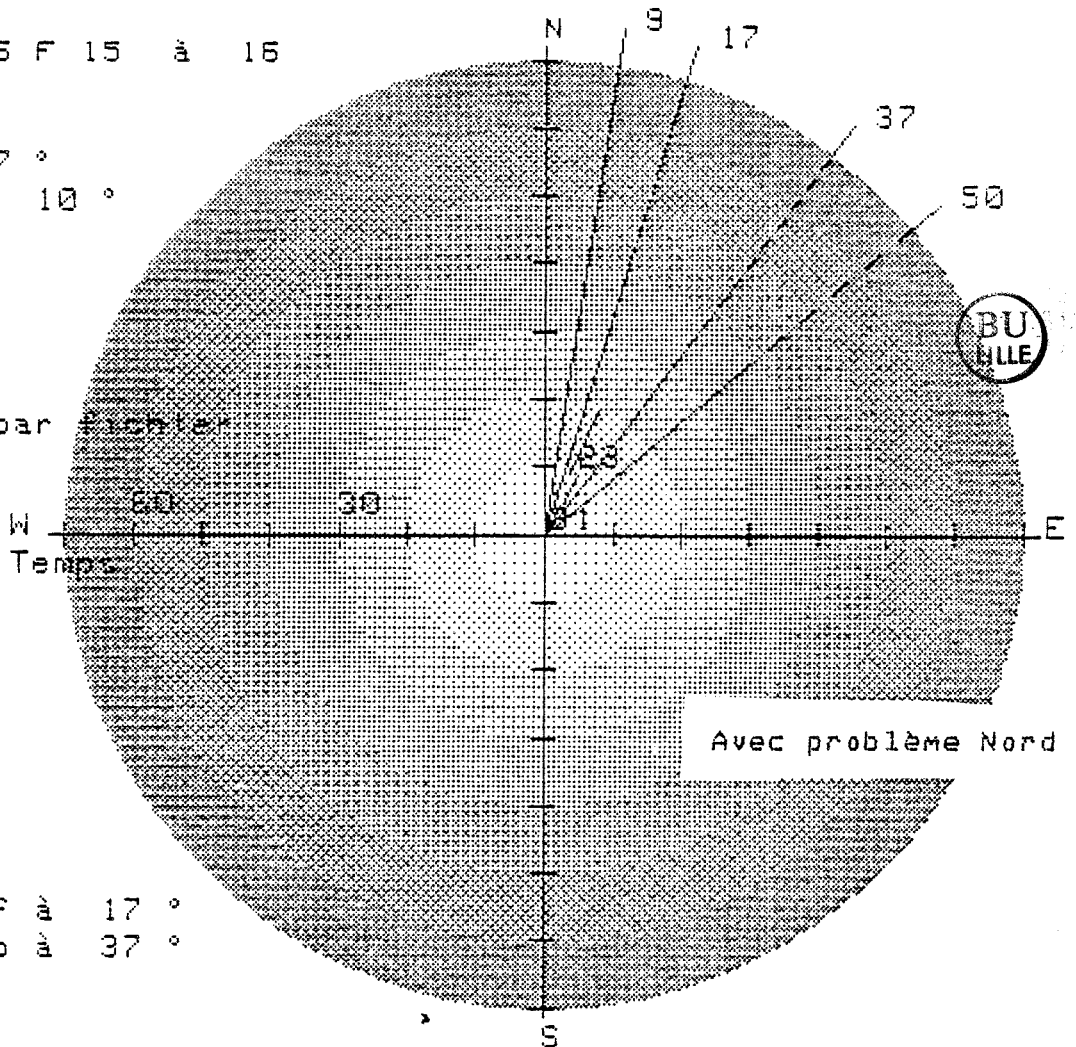
Sortie sur imprimante thermique de l'ensemble ^{du} diagramme polaire, et répartition du vent dans les différents secteurs.

KIEL 22-06-81
 12h00/M2 470
 Fichiers M 16 F 15 à 16

Moyenne : 27 °
 Ecart type : 10 °

Min 9 °
 Max 50 °

Moy.fichier par fichier
 31 ; 23



21 % pts inf à 17 °
 19 % pts sup à 37 °

POURCENTAGE DE VENT DANS LES DIFFERENTS SECTEURS							
10	20	30	40	50	Moy.	KIEL	22-06-81
0 %	24 %	19 %	40 %	16 %	1 %	31	FICHER M16F15
3 %	37 %	43 %	12 %	5 %	0 %	23	FICHER M16F16
2 %	30 %	31 %	26 %	11 %	0 %	27	Moy des fichiers

programme 'histo 2'

e) PROGRAMME "HISTO 2" Histogramme des azimuth/vitesse

Tactique de course et calcul des viring/backing en durée et fréquence par rapport à l'intensité du vent.

1) Description :

Ce programme a été réalisé dans l'optique très concrète de déceler le nombre de virings (rotation droite du vent) et de backings (rotation gauche du vent) tant en durée (1mn à 20 mn) qu'en amplitude (10°, 15°, 20° etc...) C'est le programme final, le plus proche des préoccupations des coureurs. C'est à partir de celui-ci que l'on peut bâtir sa stratégie de course. C'est d'ailleurs sur ce raisonnement de viring/backing que tout coureur élabore sa stratégie.

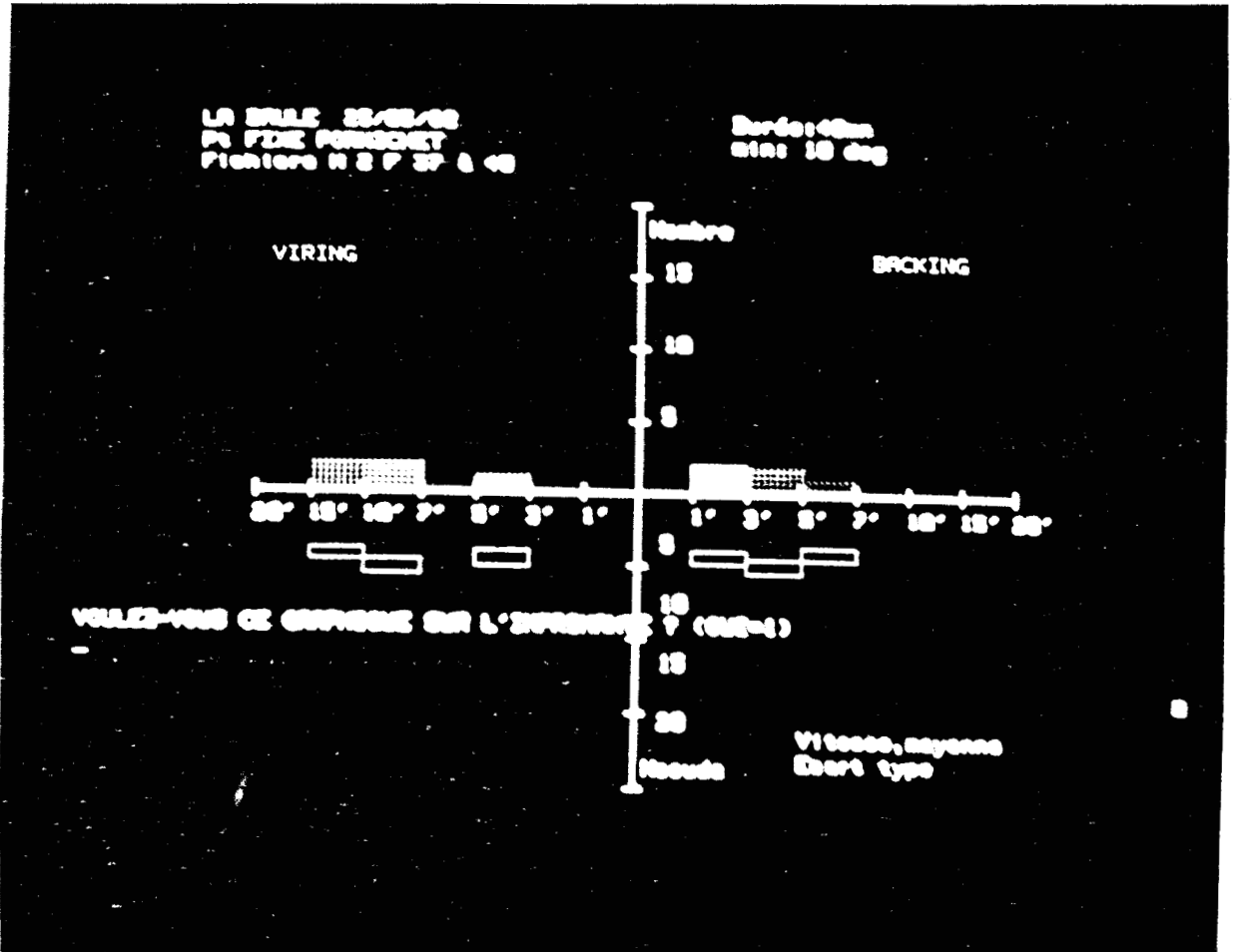
C'est presque le niveau le plus fin que nous puissions proposer aux coureurs. Seul le programme "extrem" va encore plus loin dans cette structure fine du vent, mais essentiellement dans la conduite et la propulsion du bateau.

Avec ce programme "Histo 2", on recense statistiquement les évolutions du vent et on analyse le mécanisme. Comment à la barre, le coureur pourra-t-il anticiper sur une rotation droite ou gauche du vent? Quel est le % de chance pour que les oscillations soient de petites ou grandes amplitudes ou pour qu'elles soient longues ou courtes? Nous calculons tout cela, car je suis parti du raisonnement que tiennent les coureurs confrontés à la découverte du vent à la barre de leur bateau avec pour information objective les caps compas et une évaluation de la durée des oscillations (chronomètre).

Le vent que nous allons étudier dans quelques cas type fonctionne toujours par une succession de viring/backing.

LA SEULE DIFFERENCE ENTRE LES REGIMES DE VENT, C'EST L'AMPLITUDE ET LA DUREE DE CES OSCILLATIONS.

Ce programme répond très précisément à ce problème.



LA BAULE : 25/05/82

PHOTO DE L'ÉCRAN DE L'ORDINATEUR

b) La Baule : 25/05/82

Fichiers M2 F37 à 40 (tracés e1, e2)

Point fixe d'observation (balise de Pornichet-La Baule dans le Nord des Evens) Vent à parcours maritime.

Durée 40 mn - Seuil minimum de détection des virings-backings : 10°.

Avant de tirer des renseignements de cet histogramme d'azimut du vent réel, nous pouvons observer que le tracé d'azimut/vitesse montre sur 40 mn, une très légère tendance du vent à tourner à droite (de 245° vers 265°).

Cette rotation droite ne se fait pas brutalement, elle se fait par une succession de petites oscillations à tendance droite et bien évidemment des retours à gauche, sinon le vent tournerait à droite sans étape, ce qui n'est pratiquement jamais le cas. Nous nous intéresserons en priorité à ces types de **vent** car ils progressent si lentement qu'ils interviennent dans des durées compatibles avec un premier près de régata ou une durée de compétition moyenne.

Si le vent accuse une rotation de 90°, voir 180°, ce qui arrive à Cannes par exemple, le Comité de course annule et fait recourir. Ces conditions seront étudiées au cours de cette recherche, mais elles ne sont pas actuellement primordiales, car statistiquement peu nombreuses.

Le vent tourne donc de 20° en 40 mn. Analysons comment cette évolution se déroule.

Les virings sont en durée légèrement plus longs que les backings, ce qui confirme déjà ce que nous avons écrit il y a 4 ans sur le vent évolutif (Réf. Mémento technique BOUET/GOUARD). Le vent tourne à droite par une succession de virings longs (3 mn à 15 mn) et d'amplitude de 11° à 23°.

Les cinq retours à gauche sont plus rapides (entre 1 mn et 7 mn 30 s) et d'amplitude (12° à 17°).

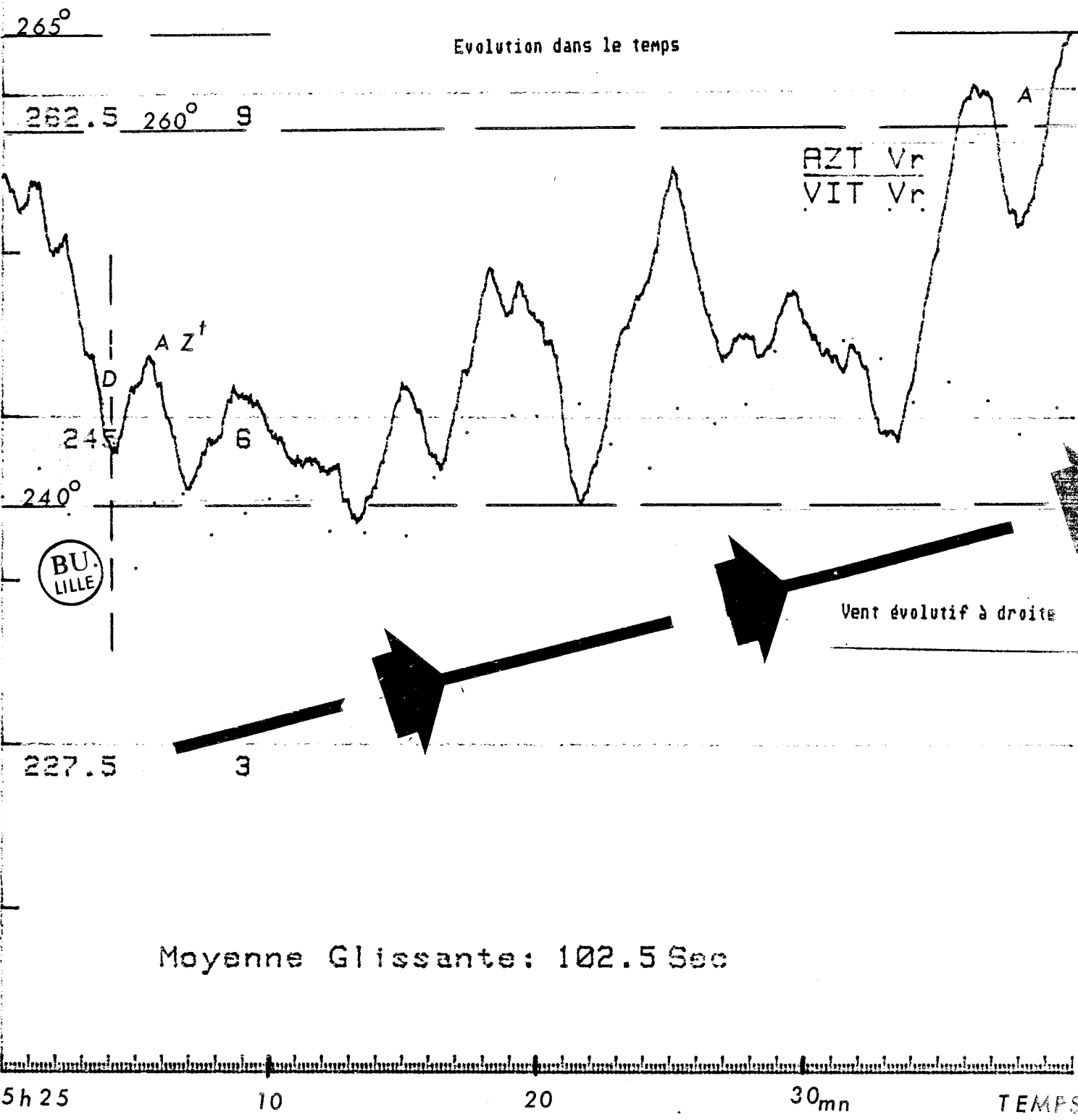
Il y a exactement le même nombre de virings et de backings. Cependant, le vent tourne à droite en procédant de la manière suivante :

Un viring long (durée moyenne 7 à 15 mn), un retour rapide (durée 1 à 5 mn principalement) et ainsi de suite. Sur 40 mn, le gain se fait donc à droite.

AZ^t
232°

12nd

Lieu: LA BAULE
Date: 25/05/82
Commentaire: Pt FIXE PORNICHE
Type: Rapide
Fichier: M2F37

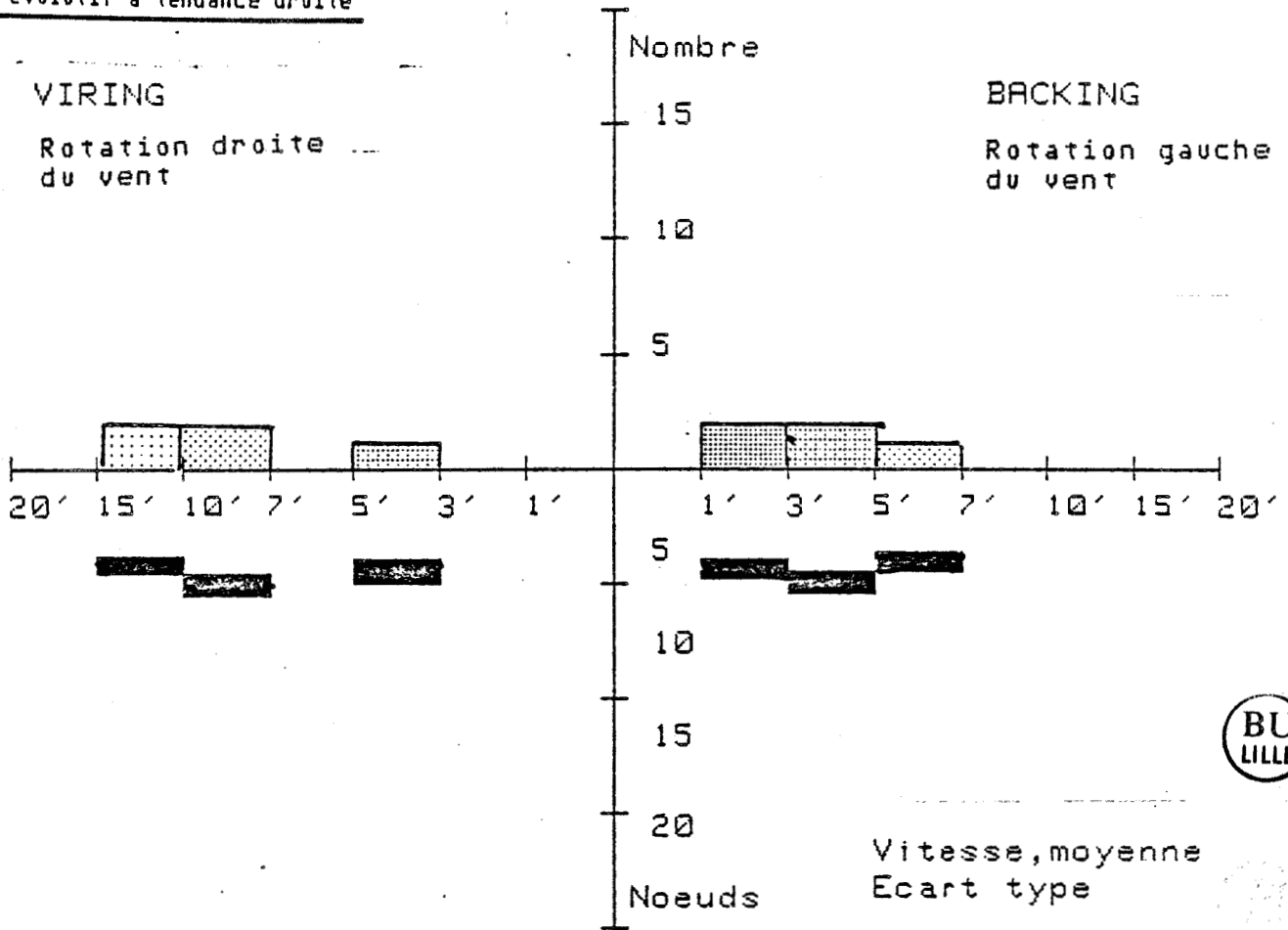


TRACE e₁

LA BAULE 25/05/82
 Pt FIXE PORNICHE
 Fichiers M 2 F 37 à 40

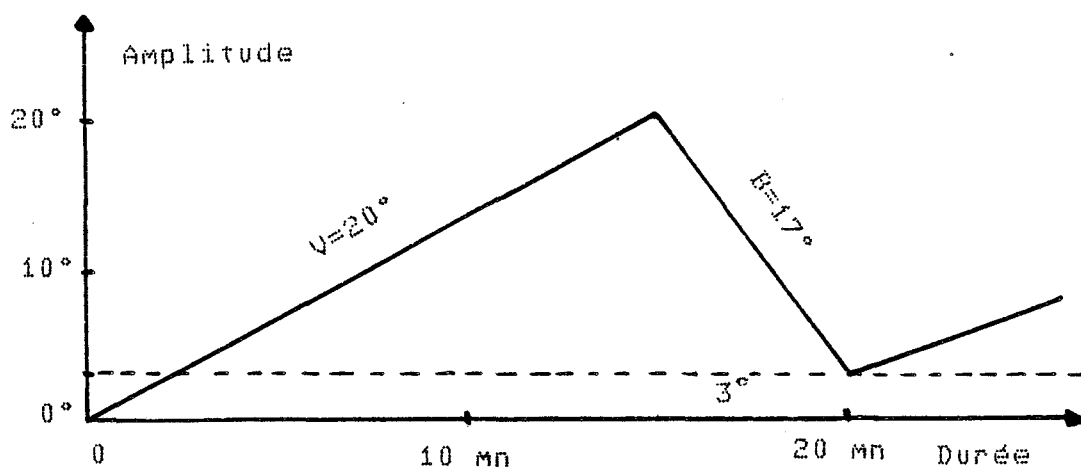
Durée: 40mn
 min: 10 deg

Vent évolutif à tendance droite



	VIRINGS					BACKINGS				
	40°	30°	20°	15°	10°	10°	15°	20°	30°	40°
30s à 1'										
1' à 3'						17	°+- 2		2	
3' à 5'				1	11	°+- 0	17	°+- 4	1	1
5' à 7'30						12	°+- 0	1		
7' à 10'		1		1	18	°+- 7				
10' à 15'		1	1		23	°+- 4				
15' à 20'										

fig e2



En schématisant, on pourrait définir le gain à droite, de la manière suivante (1 viring de 20° -moyenne entre 18 et 23°-) auquel succède un backing de 17° soit un gain de 3°.

Les 20° de rotation à droite en 40 mn, résultent de cette addition des gains relatifs de 3° à peu près. Cette notion est déterminante dans la navigation car elle sous entend tout le choix tactique. D'autre part, elle informe le coureur sur la tendance du vent à droite ou à gauche.

Enfin, elle fait prendre conscience du caractère oscillant du vent qui fonctionne sur une succession de viring/backing ici en nombre égal (5) mais de durée et d'amplitude très différente.

Tout coureur de haut niveau, décèle à la barre ces fluctuations en durée et en amplitude, donc il saura déterminer seul une tendance droite et tirer profit à temps des retours à gauche du vent pour se recaler. On ne peut être plus concrèt. En fait, on peut admettre que sur un bord de près, par ce vent d'ouest, (que nous mesurons dans ces évolutions dans le temps sans tenir compte des effets de côte qui déforment l'écoulement du vent) un coureur rencontrera forcément un viring long et backing (un bord de près dure 20 mn à peu près, même un peu plus ici car le vent fait 5 noeuds), donc c'est une certitude, il faudra qu'il utilise immédiatement ces retours à gauche qui encadrent le viring long indiquant le sens de rotation droite du vent.

Il est très clair, que la notion de durée des viring/backing est déterminante suivant que le coureur utilise une planche à voile, un dériveur, un multicoque.

C'est-à-dire qu'il faut alors raisonner en durée de bord de près, que nous calculons facilement à partir de la vitesse de l'engin (VMG) & sa perte au virement de bord et la durée du parcours. A partir de cette information, on peut connaître les éventualités sur le premier près de

&: VITESSE DE RÉMONTÉE DANS LE VENT

naviguer durant un viring, un backing etc...

Notamment pour les planches à voile, il faudra être vigilant sur cette notion de durée, car il est alors très facile de faire la course à l'envers, c'est à dire qu'en planche à voile on navigue sur des durées nettement plus courtes donc inférieures à ce que j'appelle une période de vent (constituée d'un viring + un backing : durée 20 mn à peu près).

On peut donc naviguer à l'intérieur d'une tendance droite ou d'une tendance de retour gauche pendant tout un près. Il n'y a alors pratiquement plus de chances de recroiser pour revenir sur ceux partis du bon côté car le vent ^{peut conserver} ses caractéristiques durant 10 mn. Alors qu'en dériveur, on est à peu près sûr d'avoir au moins une période complète et un retour de vent et une partie d'une autre période de vent car les durées de louvoyages peuvent être de 25 mn.

Enfin, il est essentiel de situer son départ dans cette succession de viring/backing de telle manière à naviguer en phase avec le vent. Les exemples de course où le coureur navigue en opposition de phase et ne fait qu'accentuer son retard sont fréquents.

Réciproquement, mal parti, un coureur peut sauver son premier près simplement en respectant cette alternance ^{de} viring/backing.

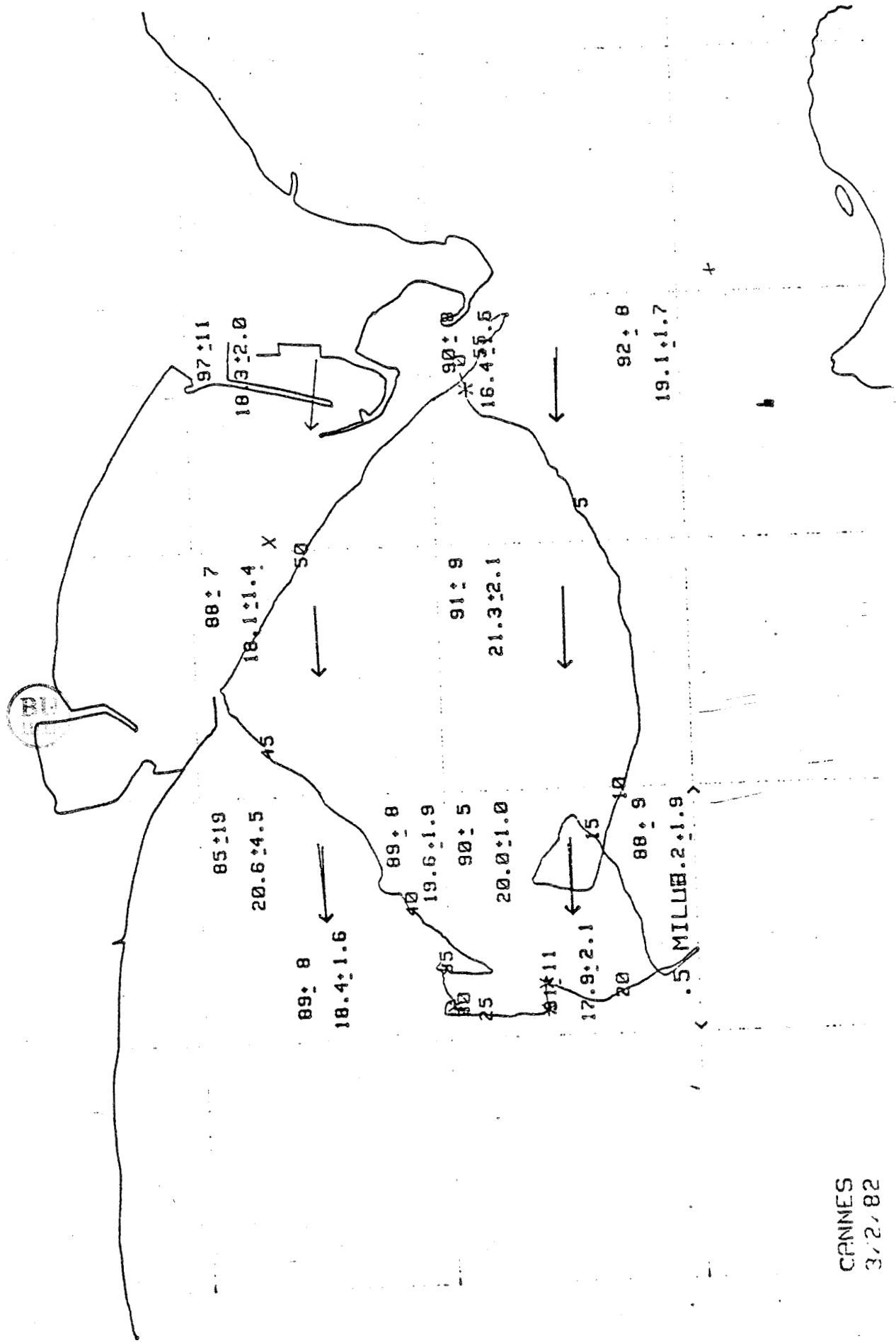
Conclusion :

Le fait de naviguer avant une compétition pour régler le bateau est capital, étant donné les faibles différences de vitesse entre les équipages. Par contre, il faut au moins 20 mn avant le départ se recaler par rapport aux successions de périodes de vent.

La navigation sur le premier près commence déjà 20 mn avant le coup de canon de départ. Ce raisonnement n'est valable qu'en présence d'un vent à parcours maritime qui ne soit perturbé par aucun obstacle naturel ou accidentel (un porte-avions par exemple). Par contre dès que le vent souffle d'un relief ou rencontre un obstacle durant son parcours (une île par exemple) il faut immédiatement abandonner ce raisonnement faisant appel aux périodes de vent pour raisonner à partir des caps-limites du relief qui seront utilisés grâce aux indications fournies par le compas.

chapitre III

résultats expérimentaux



CANNES
3.2.82

2 ème manche Finn et 470

fig 5h

1) Déflexion du vent à la frontière terre-mer due à une discontinuité de rugosité

Procédure de travail :

Nous avons en Février 82, à Cannes, au cours des régates de Ski-Yachting, bénéficié d'un régime d'Est pendant plusieurs jours. Nous sortions tous les jours pour des prises de mesures sur l'eau avec comme objectif d'isoler les effets côtiers sur ce régime de vent. C'est à dire que nous travaillons sur plusieurs dizaines d'heures d'enregistrement par vent d'Est à différents endroits du plan d'eau.

Comme nous travaillons à partir de tracés de vent à même échelle, il nous est assez facile au bout de plusieurs jours, d'isoler l'effet de côte de l'évolution temporelle du vent. Tout ceci se faisant à l'aide de programmes de statistiques sur les différentes zones du parcours (cf catalogue des programmes). Quand on retrouve les mêmes déviations côtières en pourcentage statistique sur plusieurs jours, sur plusieurs mois, sur plusieurs années (cas de Cannes par exemple), on peut établir une carte du vent par lignes d'écoulement du flux d'air. —

Les deux exemples de trajectoire de Vedette-météo, montrés par les figures 3a et 3b, illustrent cette méthodologie et la construction des fichiers de vent d'Est à Cannes en vue de leur traitement statistique.

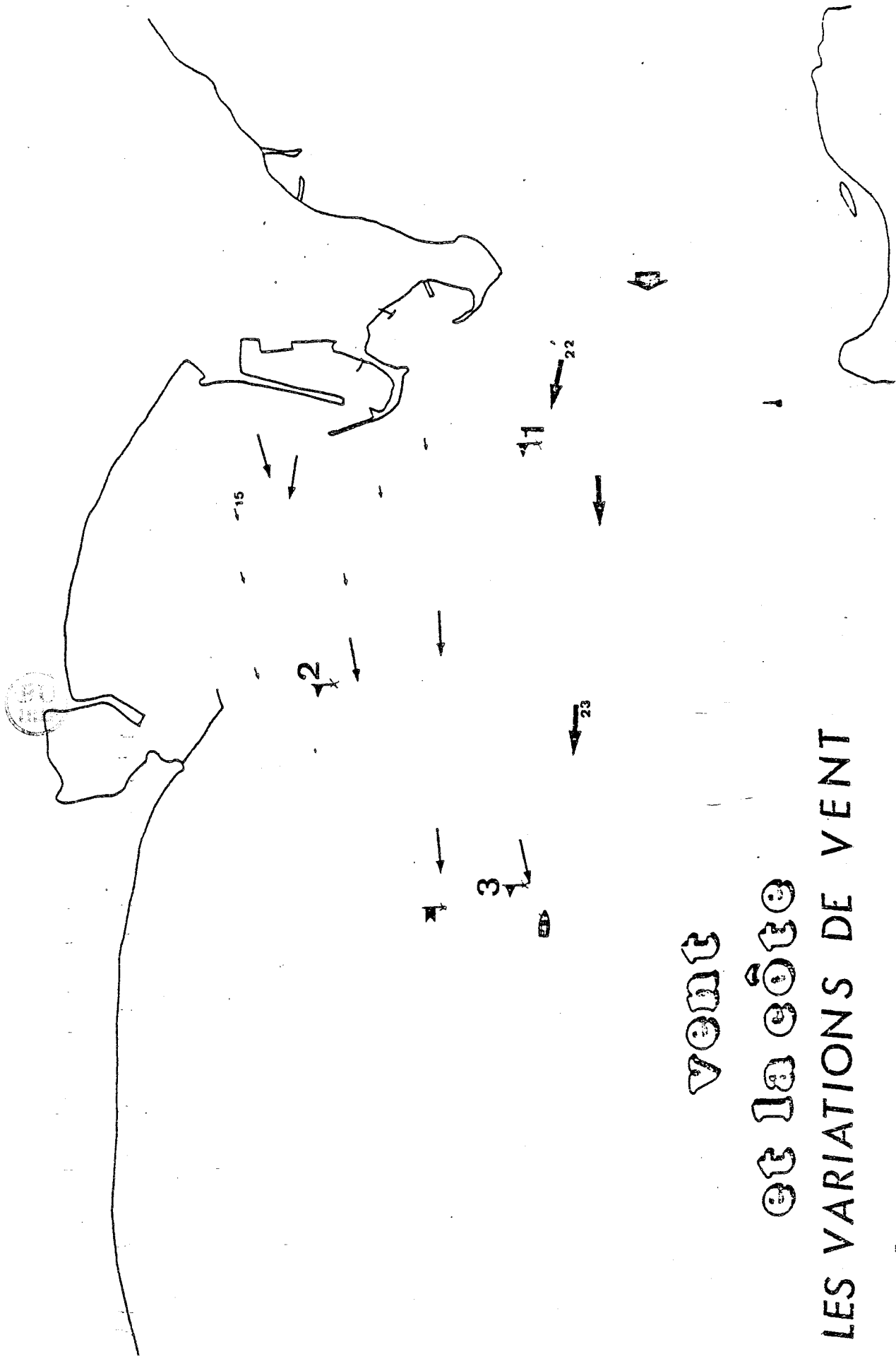
Le premier type de représentation possible consiste en une cartographie des vitesses de vent réel par rapport au tracé de la côte (Fig 3c).

La chiffraison est en noeuds :

- l'épaisseur des flèches traduit l'importance de l'intensité du vent
- l'implantation du parcours est réelle (N° 1,2,3), distance 13 cm = 1 mille ; Echelle : 1/14400 (Fig 3d)
- l'identification des marques de parcours se fait à partir du tracé de reconnaissance de parcours (fichier M1 F 46 - M1 F 47)

Il est ainsi plus facile aux Coureurs de situer nos recherches sur le vent par rapport à leur vécu à la barre.

CANNES



vent et la côte LES VARIATIONS DE VENT

Intensité du vent en noeuds
(Synthèse des différents fichiers)

A partir du programme "GRICHO" sur plusieurs dizaines de fichiers, on peut aboutir à ce type de représentation plus parlant pour le Coureur. Cela revient à concevoir un maillage très fin d'identification du vent réel (azimuth - vitesse) et d'y intégrer l'ensemble des azimuths vent réel ainsi obtenus (Fig. 3e)

Un autre type de représentation est possible pour l'identification des zones de vent à l'approche d'une côte. Ici on associe les fluctuations de vitesse et de direction du vent réel en fonction du contexte de rugosités (Fig. 3f).

Les bandes horizontales répondent à des caractéristiques précises de vent. Il n'est pas très évident de concevoir une stratégie en fonction uniquement de ces informations.

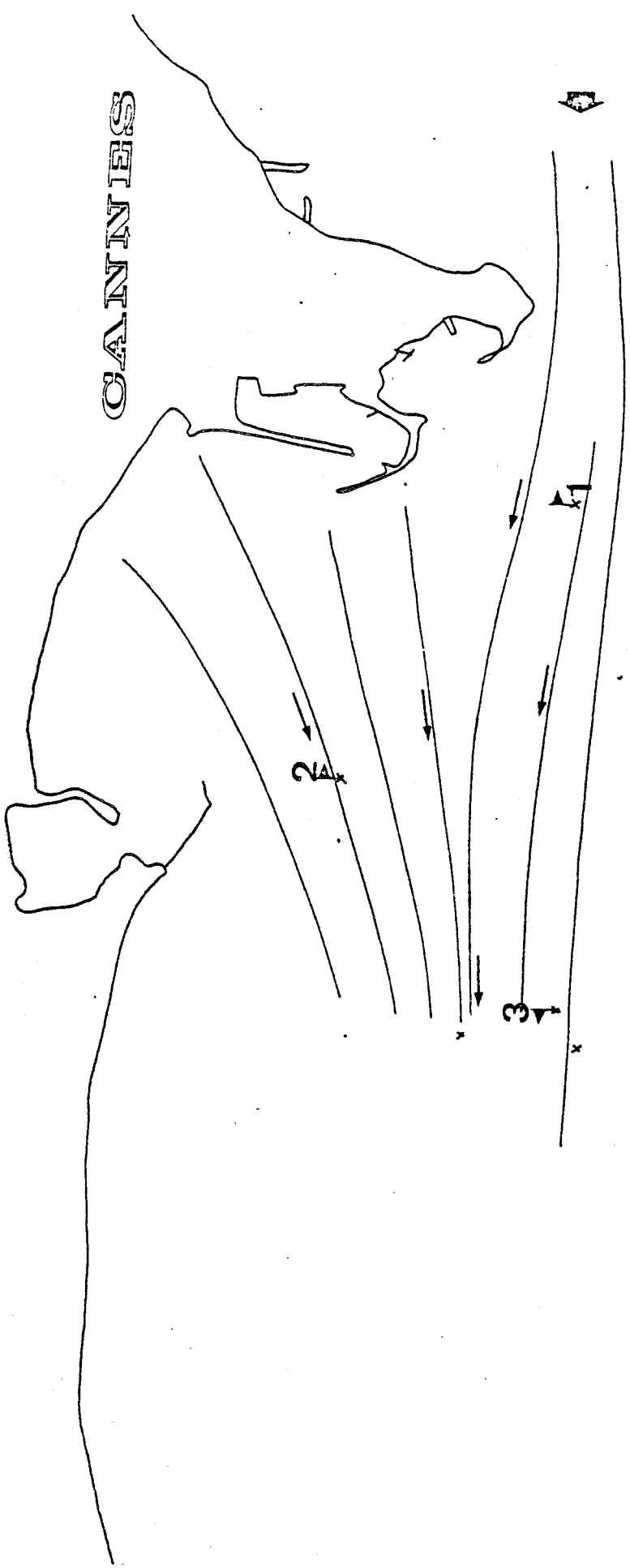
Il faudrait d'abord connaître la polaire de vitesse du voilier, puis faire une simulation sur ordinateur en y entrant les conditions de vent réel mesurées. On retrouve en permanence l'intérêt d'avoir à notre disposition une banque de données de vent réel du site qui nous permet dans cette phase de recherche de nous livrer à tous les types de simulation (cf Jeu tactique sur ordinateur Chapitre V).

En résumé, à partir de cette représentation du vent dans l'espace, fallait-il ?

- 1°/ Aller à terre où le vent adonnait sérieusement en babord (75° à 80°), mais avec une intensité de 14 noeuds au lieu de 19 à 23 noeuds au large
- 2°/ Aller en zone claire, avec un vent au 98° et une intensité de 19 à 23 noeuds.

Tout ceci pour un parcours mouillé au 90° ?

On peut dire, sur les résultats de ces régates de Ski-Yachting, que les coureurs partis dans la zone 2 au voisinage de la côte ont à la fois tiré profit d'une rotation importante de vent à gauche sans une trop grande perte d'intensité de vent; c'était la moins mauvaise solution.



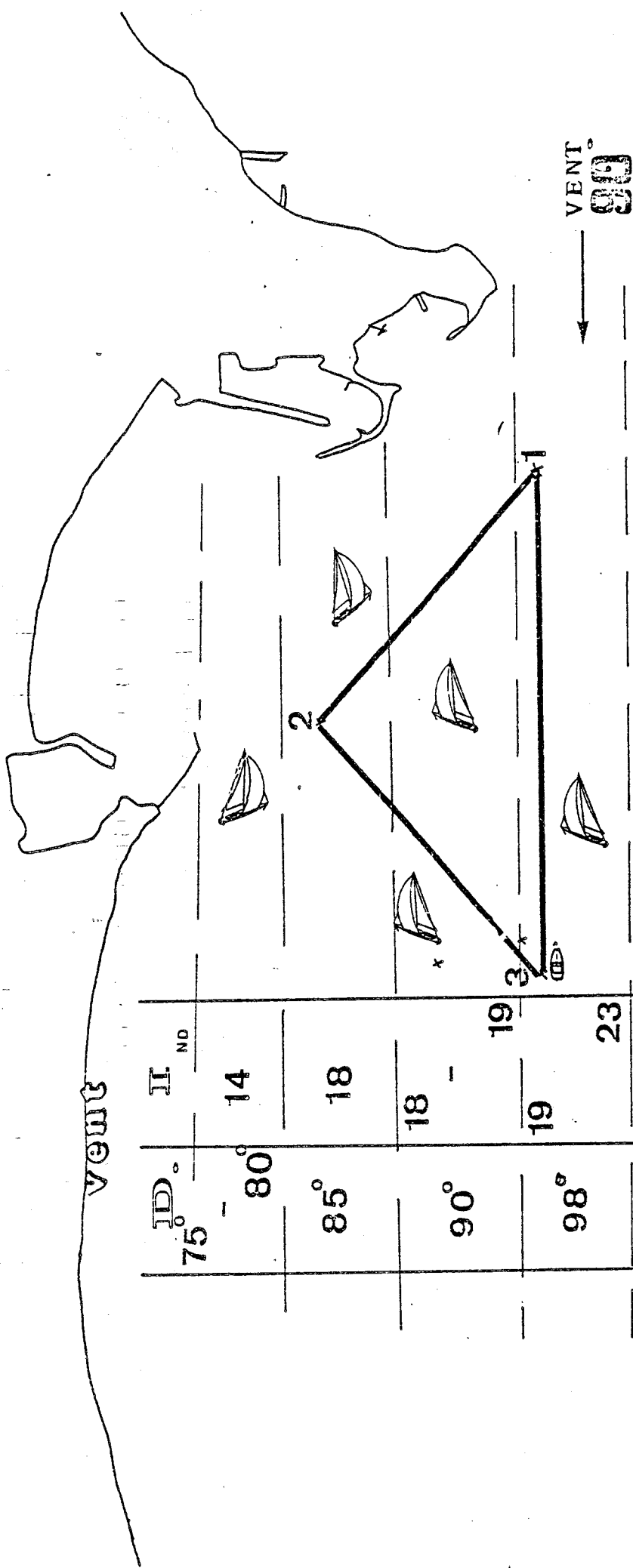
LIGNES DE COURANT

Par vent d'Est (Etude stastique : synthèse de plusieurs dizaines de fichiers d'enregistrement)



fig 3 e





CANNES

STRATÉGIE MÉTÉO

PARCOURS OLYMPIQUE 470

fig 5 f

2) Les couloirs de vent : Hyères



Hyères ; Semaine préolympique (P.O.82)

La rade d'Hyères est le lieu de rendez-vous chaque année des meilleurs régatiers du monde entier pendant la semaine préolympique.

C'est pour cette raison que nous avons établi à partir du programme "GRICHO" qui trace le vent moyen rencontré sur un maillage très fin, les lignes de vent sur les différents cercles olympiques. C'est à partir de plusieurs dizaines de fichiers et de plusieurs années d'études que l'on a pu tracer cette cartographie du vent.

D'autre part, on représente les différentes possibilités de vent que peut rencontrer un régatier à Hyères. C'est à dire que toutes les possibilités du vent synoptique sont étudiées.

En réalité, tout se passe comme si, dans la rade de Hyères, nous ne recevons le vent que sous certains angles. Le vent synoptique évolue à sa guise au vent de la côte c'est à dire à l'extérieur du chapelet d'îles, et nous n'en recevons que partiellement les effets par les couloirs des îles.

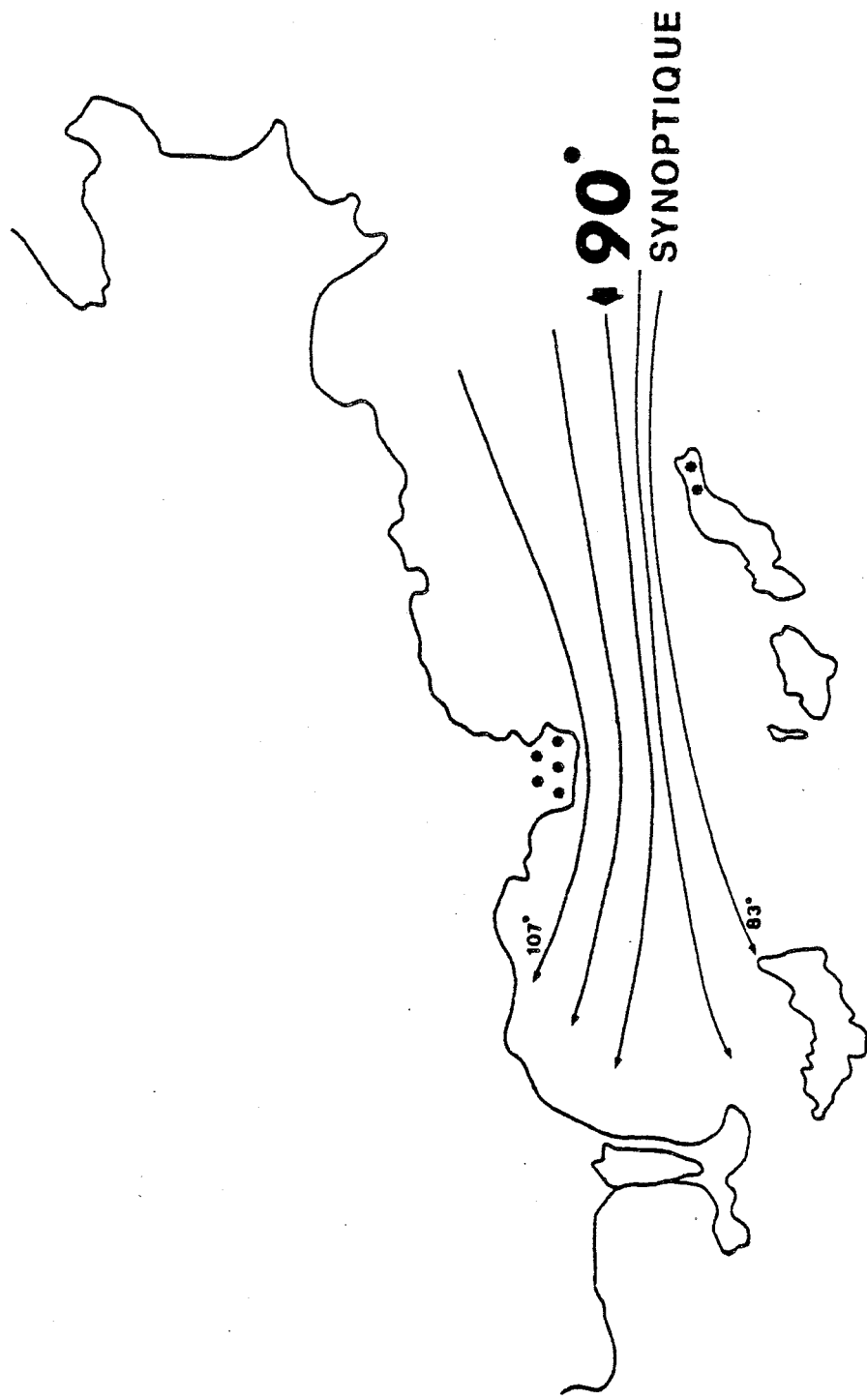
Imaginons une rotation progressive du vent synoptique tout autour de la rose des vents.

Lorsque le vent synoptique souffle de l'Est il s'engouffre dans le premier couloir entre le cap Benat et l'île du Levant (voir Fig. 3g) et le vent reçu à l'intérieur de la baie évolue du cap 83 au cap 107 au fur et à mesure que le synoptique tourne vers le Sud.

Le synoptique continuant à tourner on observe une brusque saute de vent du 107 au 133 qui correspond au début d'un second couloir situé entre l'extrémité Ouest de Porquerolles et l'île de Port-Cros (voir Fig 3h). Le vent reçu reste alors dans les limites de ce second couloir du 133° au 171°... et ainsi de suite.

Au total on dénombre sur le plan d'eau d'Hyères 6 couloirs de vents représentés sur les Figures 3i et 3j.

Bien sûr, il n'est pas exclu d'observer un vent soufflant à l'extérieur de l'un de ces couloirs, en particulier lorsque le synoptique dans son évolution est à cheval entre deux couloirs, mais les résultats statistiques montrent que ces observations sont très peu fréquentes. Enfin, il peut se produire, lorsque le vent synoptique est faible, des échanges thermiques entre la terre et la mer, autour des îles, ce qui crée un phénomène de brise thermique très localisé. Dans ce cas précis, le vent, bien évidemment, n'empreinte pas les couloirs cités ci-dessus.



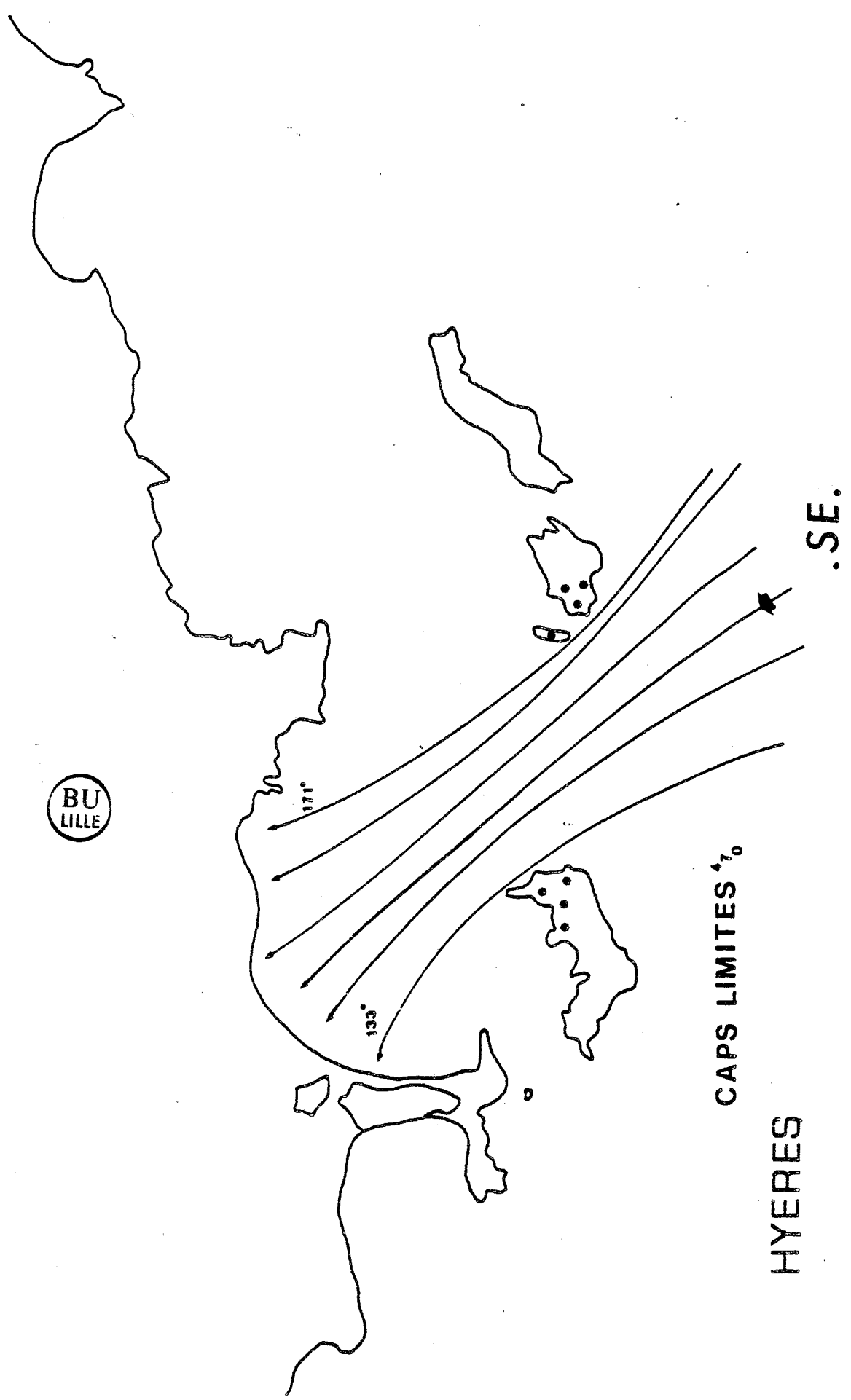
CAPS LIMITES

HYERES



150320

fig 9 g



BU
LILLE

177°

133°

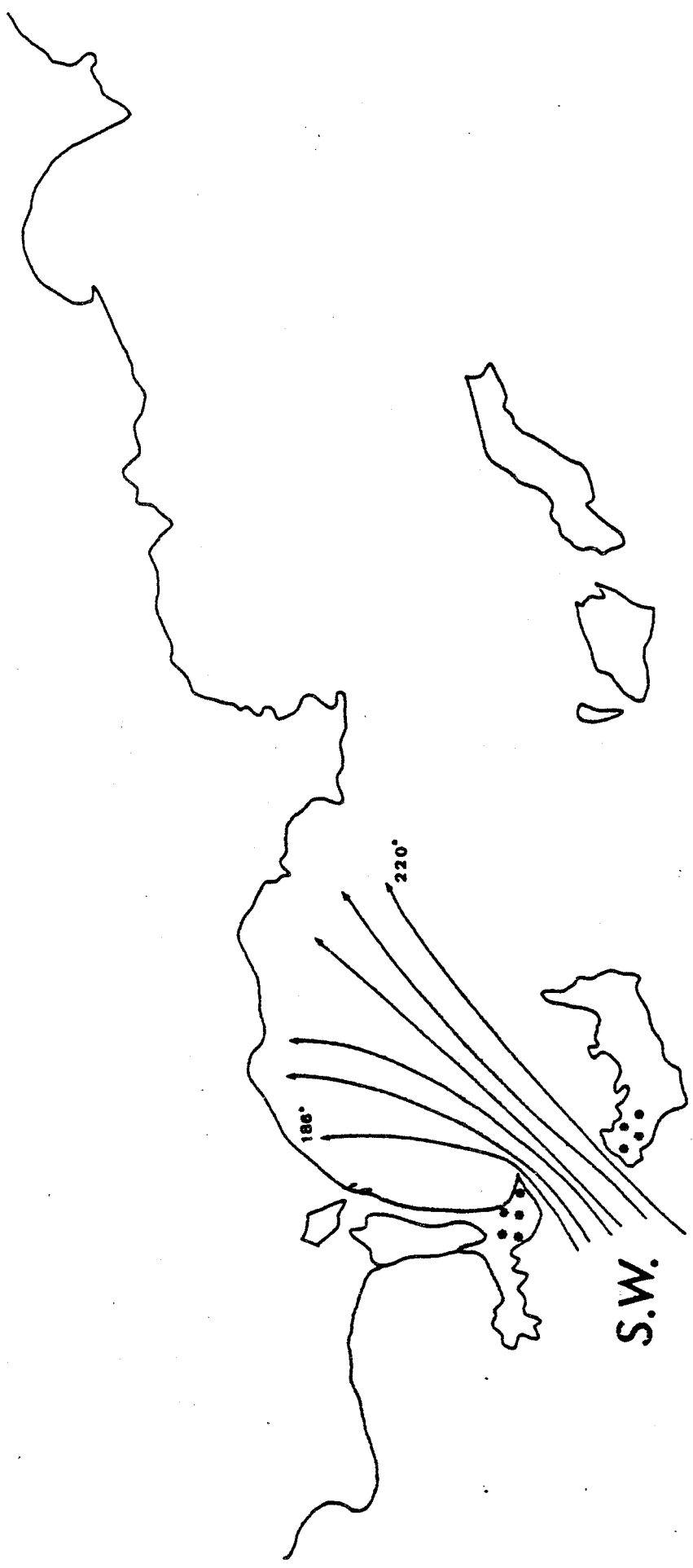
.SE.

CAPS LIMITES 1/10

HYERES

150 520

fig 5 h



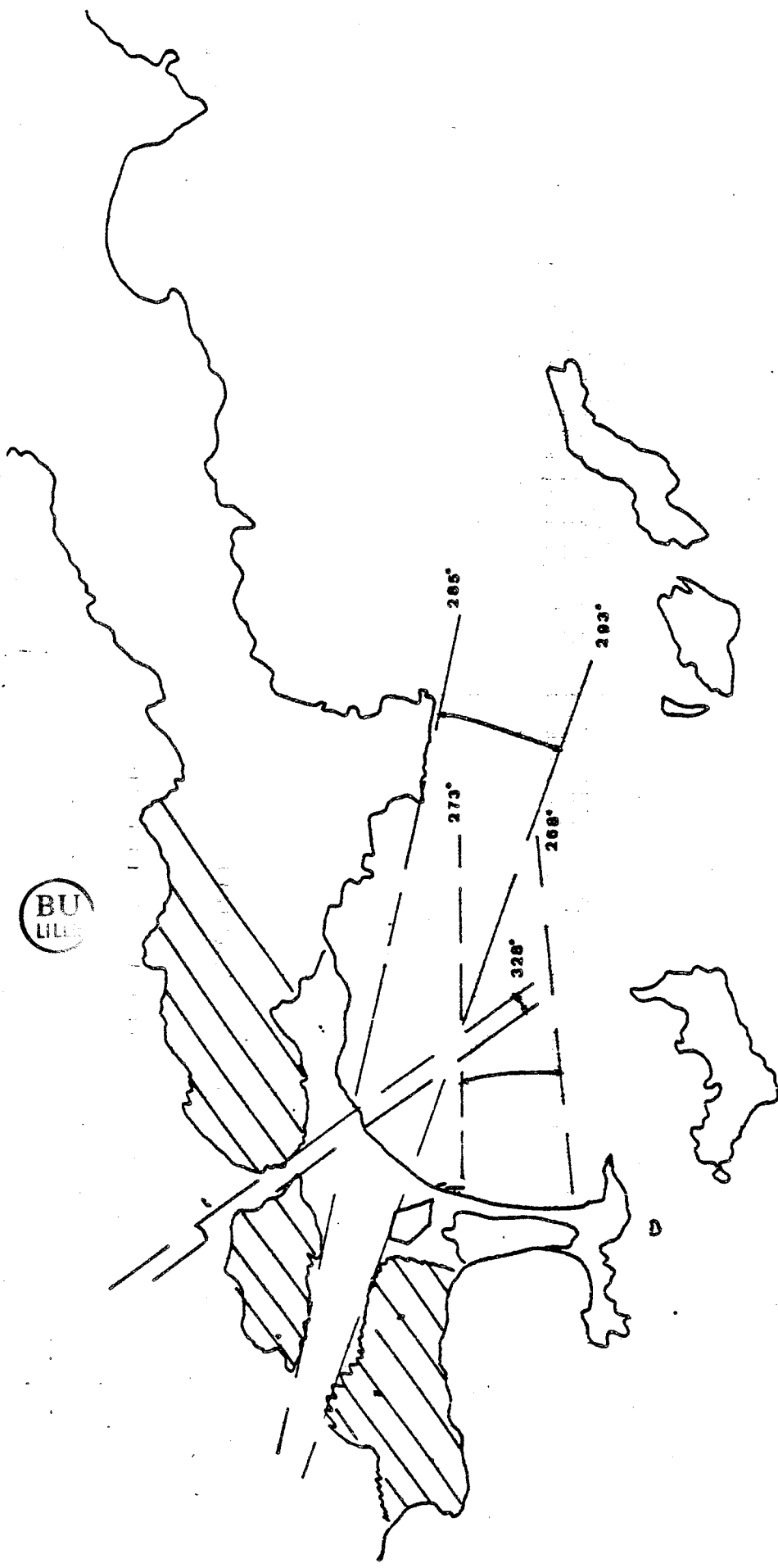
1
150520

CAPS LIMITES 4%

HYERES



fig 5 i



1
150 520

HYERES VENT DE TERRE

fig 3j

CAPS LIMITES

3) Effets d'île : La Baule

A) Trajectoire de la Vedette par rapport à l'île

Sur la carte digitalisée de La Baule, il est possible de tracer par ordinateur la trajectoire sur le fond en effectuant une correction du vecteur courant (0,47 nds portant au 47°). Cette trajectoire est régulièrement contrôlée par le passage à proximité de différentes marques ou balises identifiées sur les cartes numérisées.

Un programme calcule à chaque carreau de maillage de 0,22 M de largeur, le vent moyen réel ainsi que son intensité en noeuds. Chaque flèche correspond à l'azimuth du vent réel, annotée de l'écart type correspondant c'est à dire globalement de son degré de fluctuation par rapport à sa valeur moyenne.

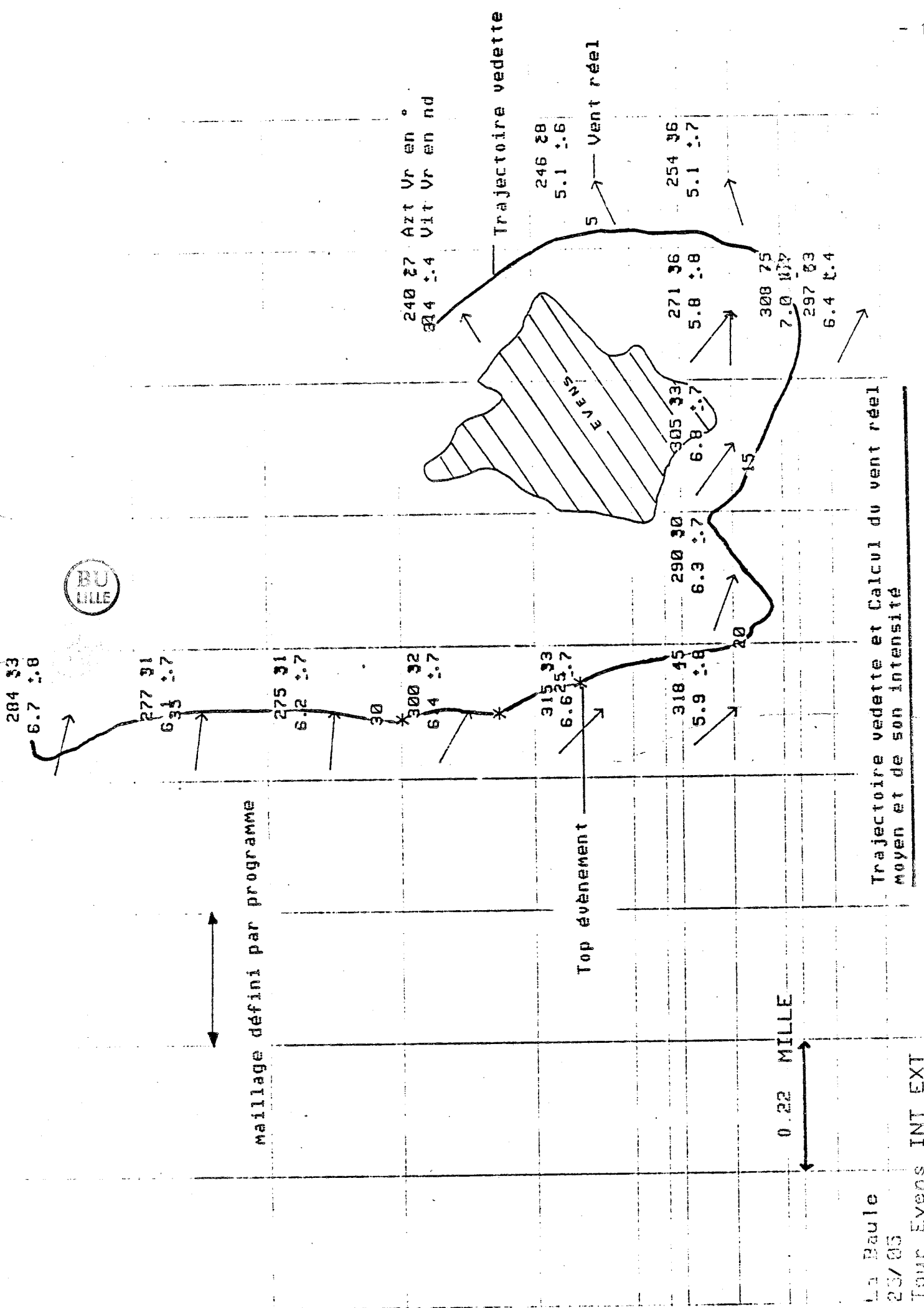
A chaque fois que la vedette passe à l'intérieur d'un carreau, l'ordinateur recalcule le vent réel moyen pour cette portion de trajectoire. On peut ainsi accéder à des statistiques complètes sur les effets d'île, ainsi que sur tous les sites où se produisent des interactions : rugosités/vent. (Fig.3k)

B) Modifications des écoulements aux abords d'une île

- Effets de l'île sur le vent synoptique
- Au nord de l'île il se crée un couloir modifiant les écoulements entre l'île et la pointe de Penchâteau, ce qui entraîne des régimes de vent différents entre le Nord et le Sud de l'île (40°).

C) Lignes de courant à l'approche d'une île (Fig. 3l)

Un programme nous permet ensuite de supprimer la trajectoire de la vedette et le maillage pour ne laisser que les indications sur le vent réel. A partir de ces indications, on peut (manuellement actuellement et par programme à l'avenir), tracer les lignes de courant traduisant les déviations du vent par le relief de l'île.



maillage défini par programme

Top événement

Trajectoire vedette et Calcul du vent réel
Moyen et de son intensité

0.22 MILE

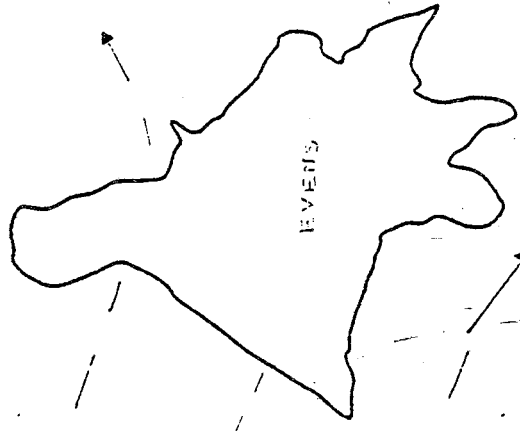
La Baule
23/05
Tour Evens INT EXT

Effet de la pointe de Penchateau qui crée un couloir entre la côte et l'île (modifications des écoulements)

Ligne de courant modifiée par la pointe de Penchateau

Ligne de courant

W
Vent d'Ouest



Ligne de courant autour d'une île mesurées par la vedette météo . Vent d'Ouest

fig 1

Cette méthode mérite d'être affinée afin d'obtenir un plus grand nombre de fichiers pour constituer un maillage très précis des abords d'une île. Néanmoins, on se rend compte des déviations importantes du vent à l'approche d'une île qui s'étendent jusqu'à 0,6 Mille de celle-ci.

La Figure 3L propose une hypothèse des déviations du vent autour de l'île des Evens en fonction des mesures réalisées par la Vedette-Laboratoire.

4) Détection des courants = LOS ANGELES

4) Détection du courant : Los Angelès

Il existe à Los Angelès une centrale thermique qui déverse un courant d'eau chaude dans la baie. Ce courant intéresse plus spécifiquement le cercle des Planches à voile qui se situe à moins d'un Mille du canal de sortie des eaux chaudes (26°)

a) Graphe N° 1

La Vedette décrit une trajectoire à vitesse réduite pour localiser la veine de courant d'eau chaude sortant de la Centrale thermique.

En quarante minutes, la Vedette décrit une trajectoire où les températures de l'eau enregistrées sont reportées toutes les minutes.

b) Graphe N° 2

On trace l'enveloppe des températures supérieures à 24°, puis celle des températures comprises entre 23° et 24°.

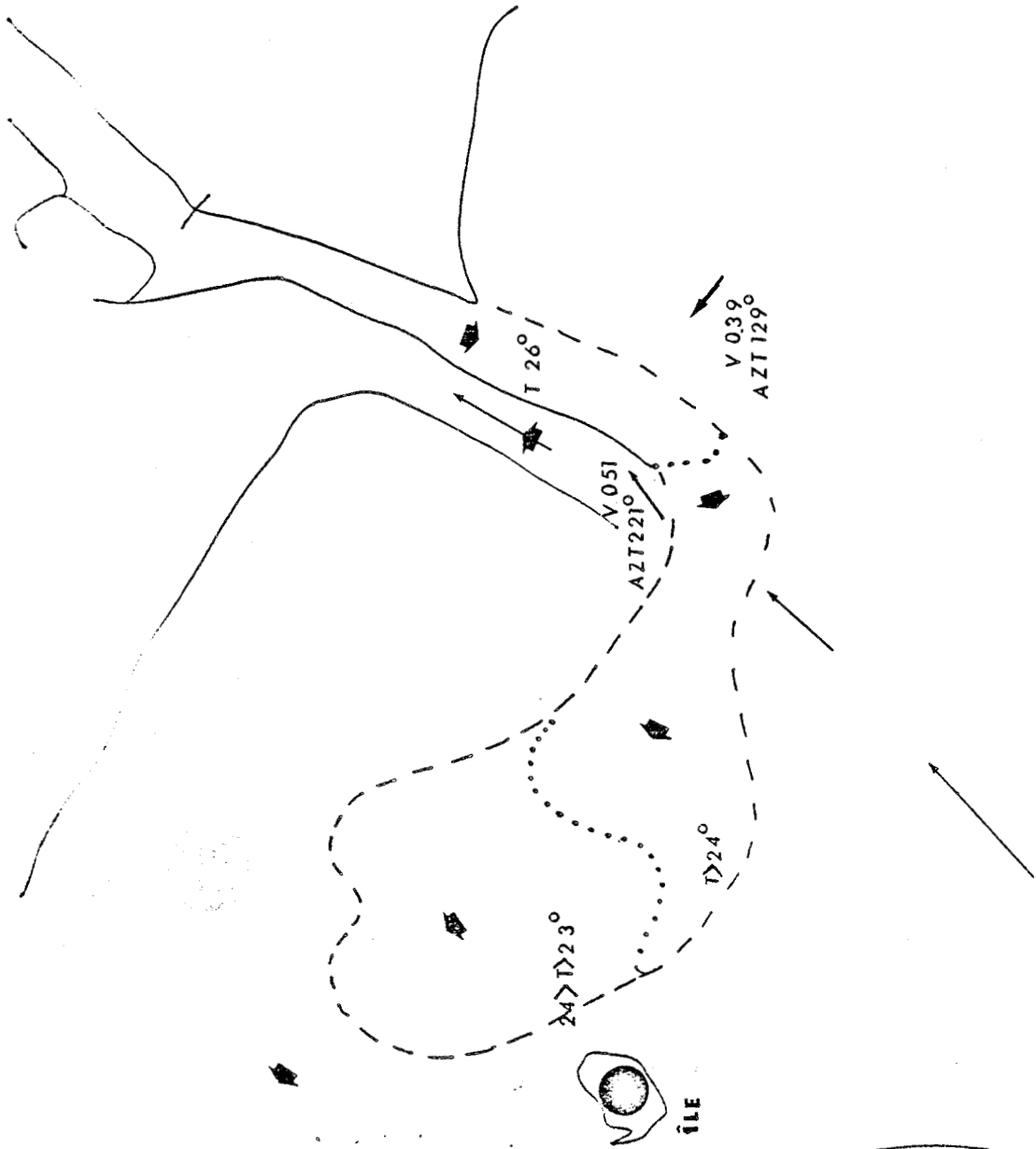
On obtient une indication sur la répartition de la veine de courant le long de la côte entre Island Chaffee et la plage.

c) Graphe N° 3

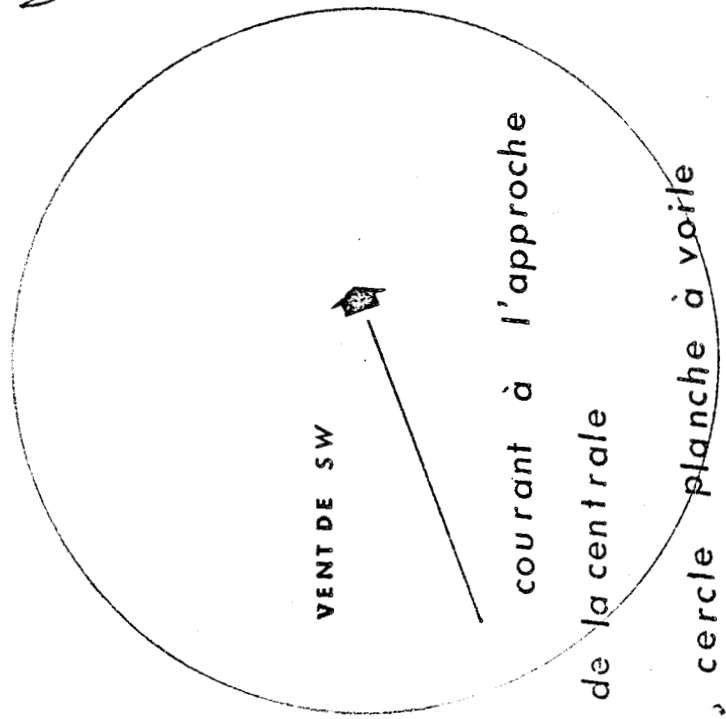
Détection du courant global grâce à la méthode classique du point fixe (marque mouillée à pic) et du parcours en boucle de la Vedette, en repassant par ce point fixe (programme courant), on recalcule Azimuth et vitesse du courant sur un courant général dans la baie portant au Nord Est, on observe le long de la plage, un contre-courant portant au Nord-Est, de faible intensité qui est très local et que nous avons pu isoler.

Le cercle des Planches à voile ne mesure que 0,8 Mille de diamètre et l'existence d'une veine de courant de 600 m de largeur peut modifier le choix des bords des coureurs de Planches à voile dans leur stratégie de course.

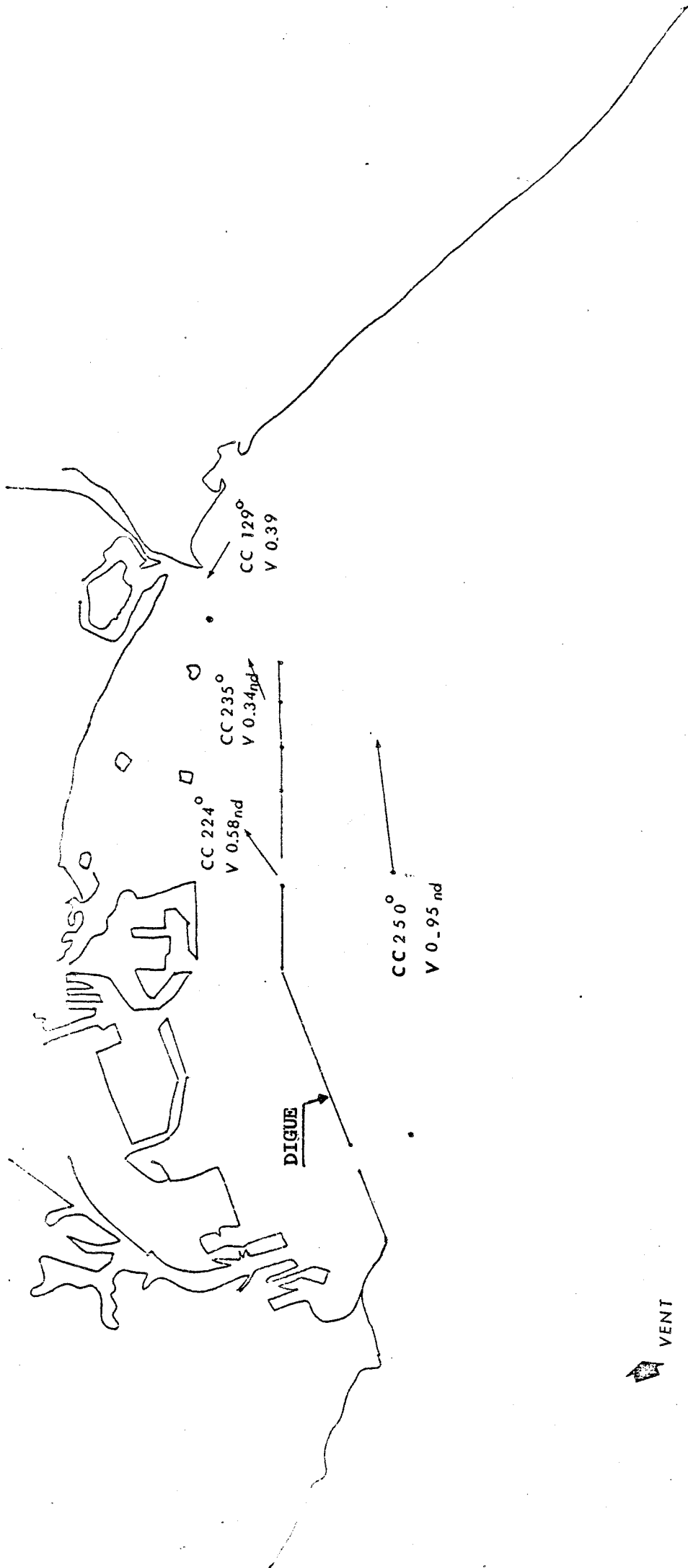
Cette recherche très précise sur les courants locaux est une indication importante pour le véliplanchiste quand on sait que les écarts à la marque au vent entre les premiers sont de quelques secondes seulement.



T 21.4°
TEMPERATURE DE LEAU



V.034
AZT 235°



TRAITÉ
ART
AVANT

16h

COURANT

REPRESENTATION DU COURANT GENERAL A LOS ANGELES SUR
LES CERCLES QUADRILQUES.

GRAPHE N°3

chapitre IV

utilisation des résultats

par les régatiers

Si dans un premier temps, nous avons mesuré et analysé les conditions de vent sur les plans d'eau a posteriori, nous nous sommes très rapidement rendu compte qu'il existait un certain nombre de points communs entre les différents sites. A travers l'expérience de quelques plans d'eau, il nous était donc devenu possible de prévoir et de représenter sous forme de lignes d'écoulement les déviations du vent sur les lieux de compétition où nous devons nous rendre. C'est ainsi que la rade d'Hyères fut étudiée et qu'un an avant d'aller à la semaine préolympique de Los Angeles, toute la cartographie des vents était diffusée aux Coureurs.

Nous nous sommes servis essentiellement des interprétations de nos mesures sur le vent en situation et d'autre part d'une étude bibliographique et des résultats obtenus par les chercheurs du C.S.T.B. en ce qui concerne leurs recherches sur l'intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti. (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)

Dans ce chapitre, il est fait essentiellement référence à l'utilisation de nos mesures pour la prévision du vent.

C'est au cours du Chapitre VI que nous comparerons nos résultats aux références bibliographiques.

1) Notes techniques prévisionnelles remises aux Coureurs avant une Compétition

a) HYERES

Dès le mois de Mars, nos coureurs de l'Equipe de France ont reçu cette Note confidentielle qui synthétise l'ensemble des conditions de vent sur ce site.

En fonction de l'implantation des cercles dans la rade d'Hyères, j'ai recalculé toutes les valeurs limites du vent en fonction du vent synoptique (graphes 4_A, 4_B, 4_C, 4_D, 4_E)

Le graphe 4_A reprend tous les caps-limites du vent en fonction des îles et du relief montagnieux côtier.

Le graphe 4_B s'applique uniquement aux conditions locales de vent rencontrées sur le cercle des 470 assez proche de terre et de l'aéroport.

Le graphe 4_C s'applique uniquement aux conditions locales de vent rencontrées sur le cercle des FD et des Solings, proche de l'île de Porquerolles. Il n'est pas possible de calculer les caps limites entre l'île de Porquerolles et la presqu'île de Giens à cause de la proximité trop importante de cette île.

Le graphe 4_D s'applique uniquement aux conditions locales de vent rencontrées sur le cercle des Tornados, le plus à l'extérieur de la baie.

Le graphe 4_E s'applique uniquement aux conditions locales de vent rencontrées sur le cercle des Planches à voile à proximité immédiate des jetées du port de Hyères.

Nous avons également reproduit ci-après le texte d'explications à l'intention des Coureurs qui accompagne ces graphes.



FÉDÉRATION FRANÇAISE DE VOILE

55, AVENUE KLEBER • 75784 PARIS CEDEX 16

TEL : 553.68.00

CH. POST. PARIS 1466-05 J

Telex : 630881

PARIS, le 25 Mars 1983

DIRECTION TECHNIQUE

PG/CA/83.03.27

A l'attention des coureurs et des entraîneurs
Nationaux P.O.

Objet : Hyères 1983

Chers Amis,

Avant cette semaine P.O., j'ai repris les différentes possibilités de caps limites de Vent, en fonction de l'implantation de vos cercles (PAV, 470, FD, Tornado), de 1982.

- Ces caps limites sont rapportés sur un cercle sous forme de secteurs, pour pouvoir fournir sur une seule feuille l'ensemble des caps limites possible suivant la tendance synoptique.
- Il est évident, mais je le rappelle, que le vent ne souffle pas à l'intérieur de ces cônes, ce n'est qu'une simplification permettant le calcul des valeurs angulaires limites. Je recherche par ce procédé, les effets de sillages des Iles qui encerclent le plan d'eau.
- Pour fixer très précisément les idées, j'ai reproduit sous forme de "lignes de courant" les 3 exemples de visualisation des écoulements avec caps limites pour le cercle des 470 (SE . SW . et Est).

Il suffit pour les autres cercles de modifier les valeurs angulaires mini-maxi, pour obtenir ce type de tracé.

Enfin, sur des vents de terre, j'ai repris à partir des cartes au 1/150.520, les couloirs de vent possible.

Vous possédez donc tous, l'étude théorique générale, qu'il faudra recalculer avec le synoptique sur place - qu'aujourd'hui nous ignorons -.

.../...

En fonction sur place de synoptique, je pourrai vous en définir ses caractéristiques et sa turbulence.

Ceci fera l'objet du travail de la semaine précédant Hères.

N.B. : Ce travail représente plus qu'une étude théorique de carte, il fait appel à une synthèse des observations sur ce plan d'eau très typé.

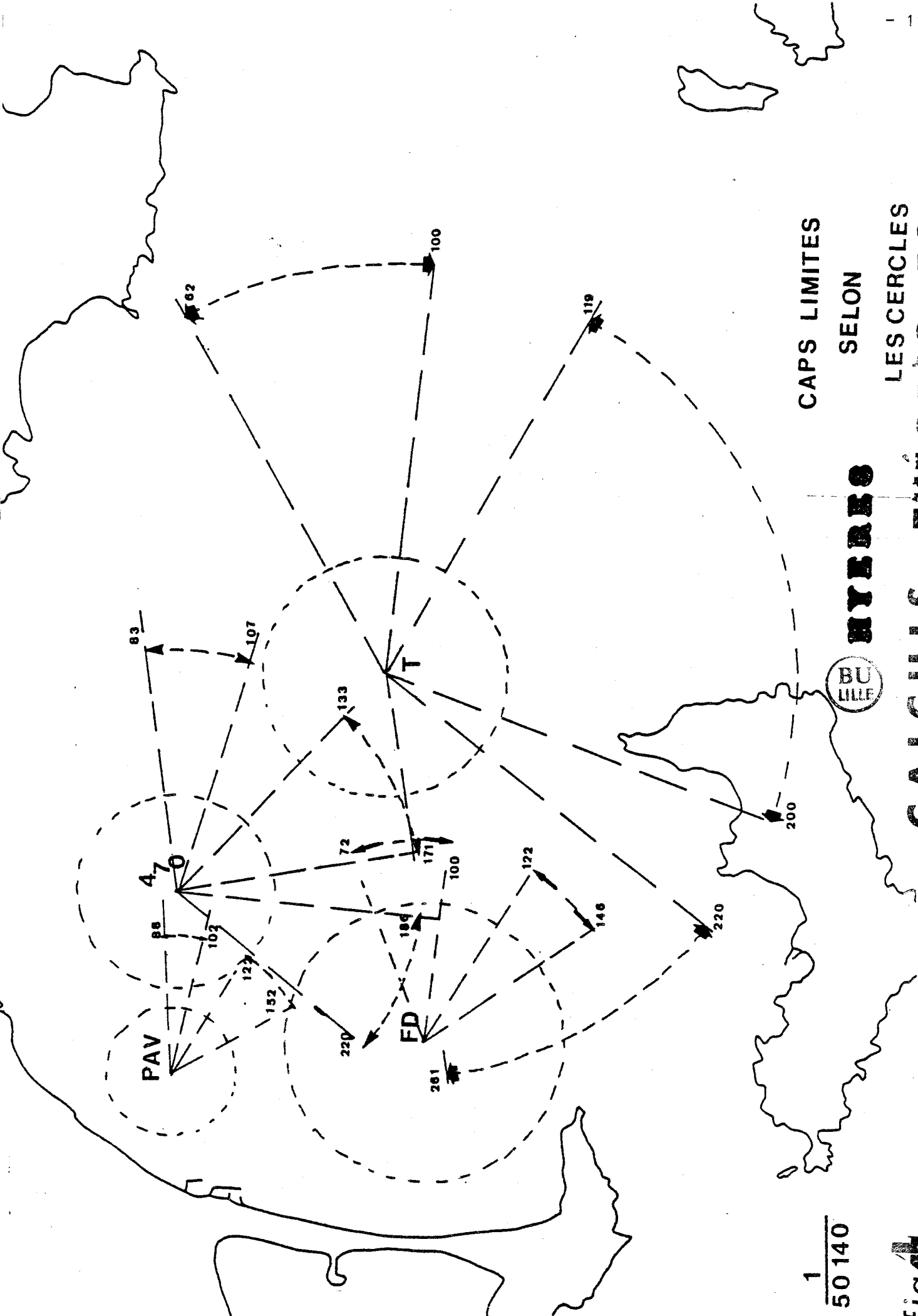
Enfin, aujourd'hui, j'ignore comme vous, l'implantation exacte des cercles, qui détermine les caps limites de vent.

C'est sur place, un affinement qu'il faudra faire ensemble.
En déplaçant un cercle de quelques centaines de mètres, beaucoup de valeurs changent surtout pour les FD et les Tornado à cause de la proximité des rugosités du relief.

Bien amicalement.

Philippe GOUARD
Entraîneur National



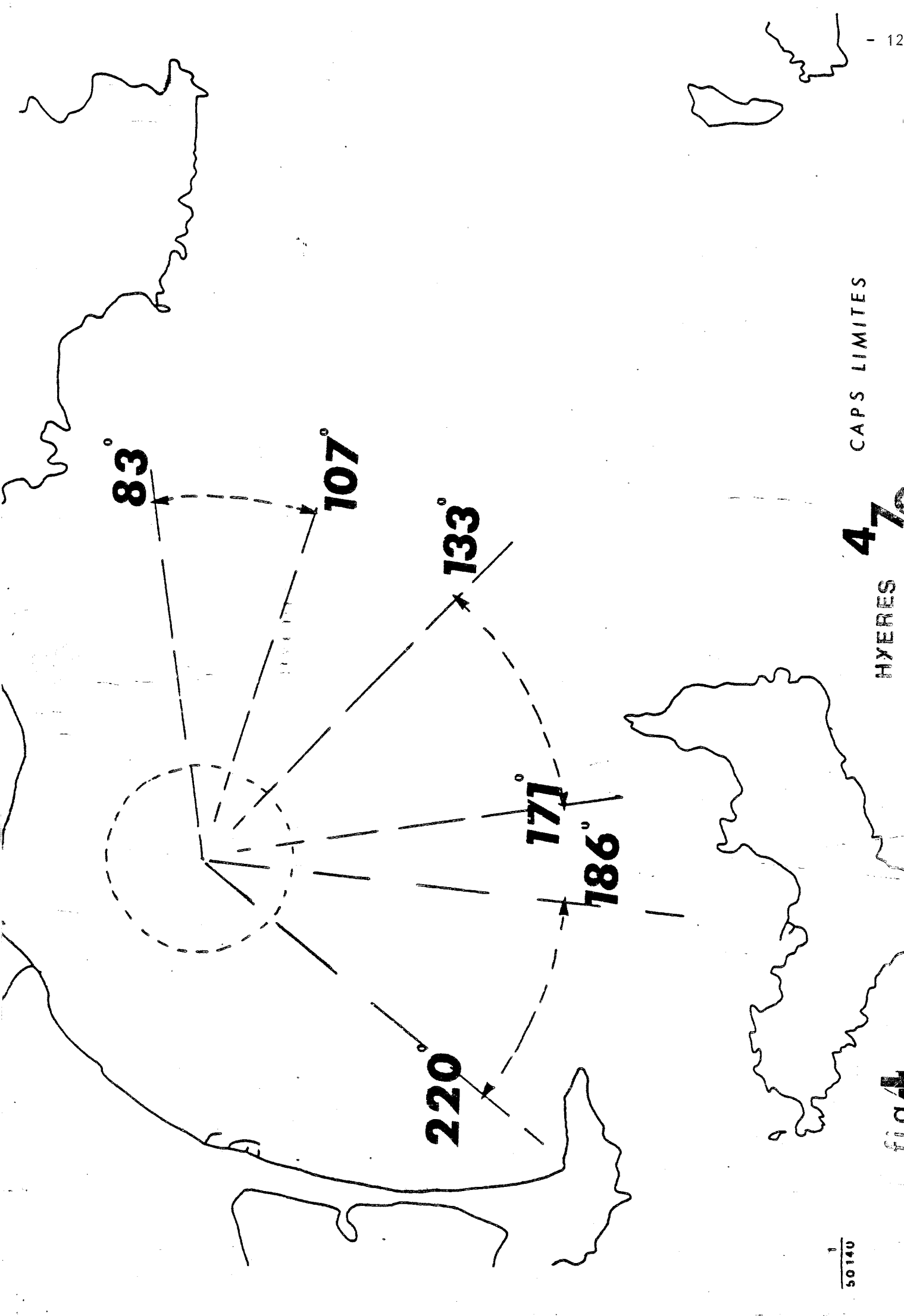


CAPS LIMITES
SELON
LES CERCLES
THEORIQUES

BU
LILLE

1
50140

fig 4 A

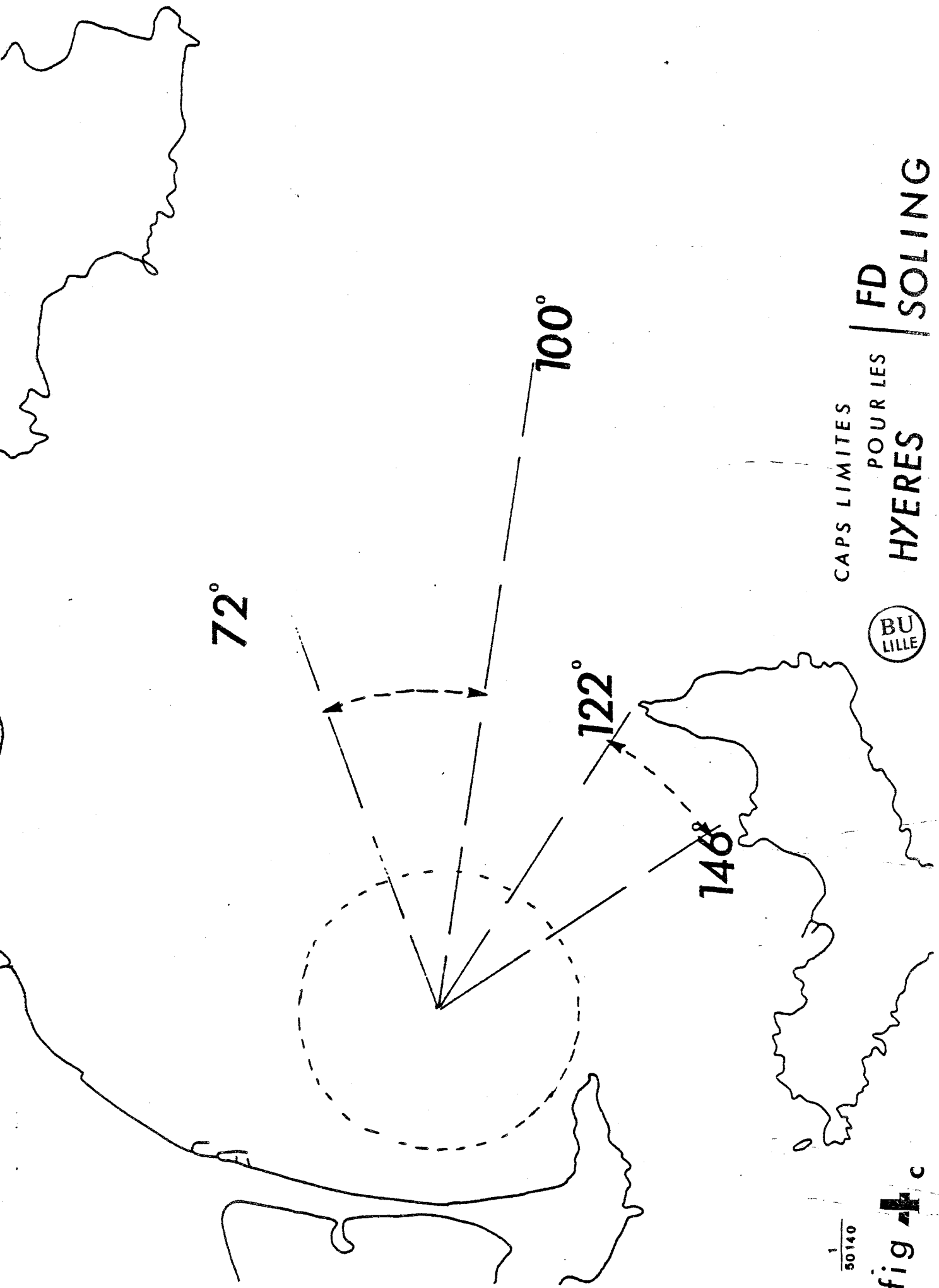


CAPS LIMITES

47°

HXERES

fiat



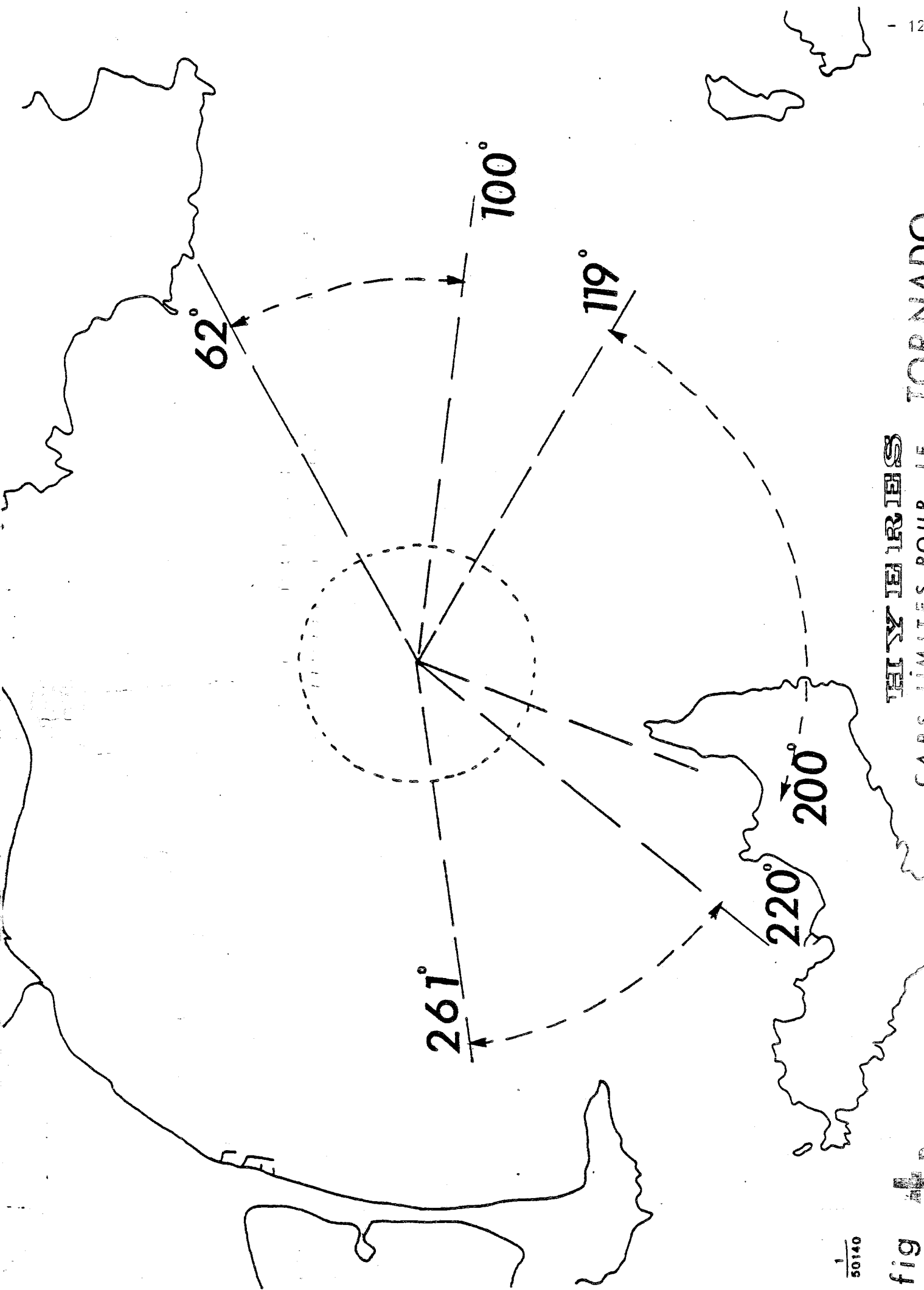
CAPS LIMITES
POUR LES
HYERES

FD
SOLING

BU
LILLE

1
50140

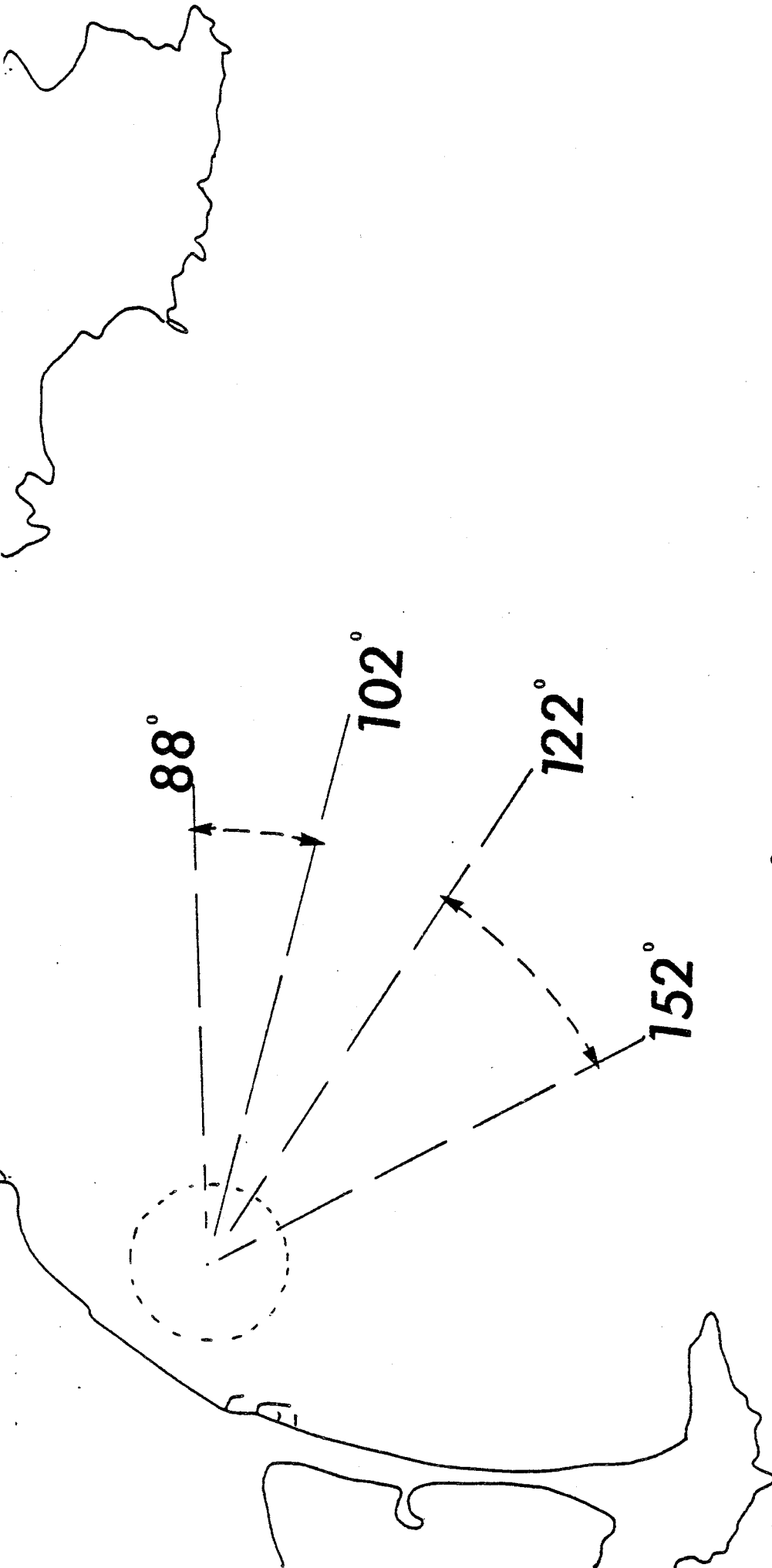
fig 4c



LES LIMITES POUR LE TORNADO

fig 4

50140



HYERES

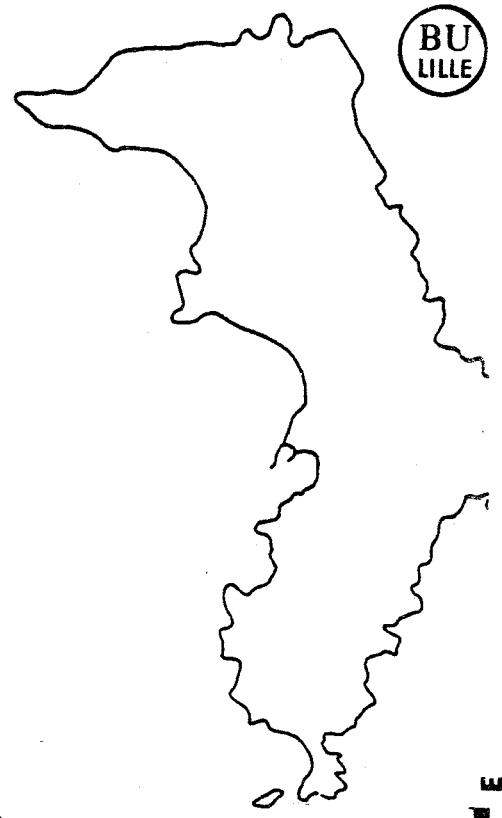
PLANCHES A VOILE

CAPS LIMITES



1
50140

fig. 4 E



b) LOS ANGELES

Notes techniques prévisionnelles remises aux coureurs
avant la semaine préolympique de Los Angelès 1983

a) Document de présentation (1982)

Tous les Coureurs de l'Equipe de France et leurs Entraîneurs ont reçu, dès le mois de Juin, un document complet sur le site des compétitions.

Ce document permet aux coureurs de découvrir non seulement le plan d'eau sur le plan géographique, mais de connaître les angles limites du vent en fonction de l'implantation des cercles.

D'autre part, un jeu tactique sur ordinateur permet en France de régater dans des conditions de vent de Los Angelès. Ceci est très important dans une sélection olympique, où les coureurs sélectionnés en 82 ou 83 pour la semaine préolympique ne seront pas forcément ceux de 1984.

Notre but est précisément de transmettre le maximum de renseignements objectifs à ceux qui ne seront jamais venus.

On veut réduire le décalage entre les Etrangers et notamment les Américains qui s'entraînent sur place presque toute l'année.

Le document remis aux Coureurs des Equipes de France de voile en 1982 figure dans l'Annexe N° 2.

b) Document confidentiel remis aux coureurs avant les compétitions de 1983 suite aux trois semaines de mesures sur l'eau (document édité à Los Angelès par un programme de traitement de texte sur HP 45 C)

Ce document fait la synthèse des mesures sur le site des Jeux Olympiques.

Il fournit très précisément les angles limites du vent, sa vitesse d'évolution et tous les renseignements portant sur la stratégie de course.

D'autre part, une étude spécifique sur l'Ile d'Island Chaffee a été réalisée pour les Planches à voile.

Enfin, nous avons contrôlé nos prédictions de vent réalisées l'année précédente.

On peut admettre plus de 90 % de réussite dans les calculs d'angles limites.

Le document remis aux coureurs des Equipes de France de Voile en 1983 fait l'objet de l'Annexe N° 3.

2) Vérification de la validité des Prévisions

- a) PROGRAMME "TEST" Détermination des caps limites à partir du relief et de l'origine du vent synoptique par calcul sur les cartes à l'aide d'une règle de Cras (à l'attention du coureur et de l'entraîneur).
- 1) Description

Ce programme est conçu pour vérifier, a posteriori si nos prévisions de cap limites, à partir de l'étude des cartes marines et de relief, sont fiables ou pas. Le programme recherche le nombre de points situés à l'intérieur des bornes calculées théoriquement sur la carte et calcule leur pourcentage.

Nous soumettrons systématiquement nos résultats à ce programme, pour vérifier à posteriori.

dans nos prévisions les caps limites de vent imposés par le site/ Ce programme permet aussi de faire un bilan par plan d'eau sur les caps limites de vent.

2) Interprétation :

a) Hyères - 22/04/81 : Nos prévisions angle du vent entre 80° et 110° sur 10 fichiers

9 % de chance pour ^{que} le vent aille au-delà de 110°.

12 % de chance pour qu'il soit inférieur à 80° (en cap vrai).

soit 78 % de réussite dans la prévision

BU
LILLE

POURCENTAGE DES POINTS TROUVES A L'INTERIEUR DES BORNES			
INFERIEUR A 110 °	SUPERIEUR A 80 °	HYERES	22-04-81
96 %	86 %	FICHER	M11F9
95 %	94 %	FICHER	M11F9
82 %	96 %	FICHER	M11F9
72 %	99 %	FICHER	M11F9
88 %	85 %	FICHER	M11F9
91 %	91 %	FICHER	M11F9
99 %	68 %	FICHER	M11F9
90 %	87 %	FICHER	M11F9
98 %	93 %	FICHER	M11F9
97 %	80 %	FICHER	M11F9
91 %	88 %	MOYENNE DES 10 FICHERS	

Donc 9 % au delà de la borne des Maximas
et 12 % en-deça de celle des Minimas

80° et 110° sont déterminés théoriquement sur la carte

b) Calcul théorique de ces angles limites en fonction de l'implantation d'un cercle olympique :

Cas de Hyères : Semaine préolympique

En avril 1982, j'avais à l'aide d'un calque, retracé le contour des îles à partir de la carte N° 5329, c'est à dire l'île du Levant, Port-Cros, Porquerolles et la presqu'île de Giens.

Puis, à partir des instructions de course, j'ai implanté le cercle des 470, Tornados et FD dans cette rade d'Hyères. Depuis le Championnat du Monde des 470 en 1981 à Quiberon et la Quarter Ton Cup de Marseille la même année, je m'étais livré à une étude statistique sur les caps limites du vent en fonction du relief, ce qui m'avait montré que les fonctions classiques de corrélation (vitesse/direction) évaluées au cours de l'établissement d'une brise thermique ne s'appliquaient plus dès que le vent touchait le relief ou le parcourait.

J'ai donc effectué un certain nombre de représentation sur cartes des caps limites observés en reportant sur le calque les caps limites avec une règle de Cras (en tenant compte de la correction de la déclinaison bien sûr). On s'aperçoit qu'une visée à partir du point de mesure vers les bornes du relief ou les frontières droite et gauche du relief avec la mer ou une rupture dans le relief (Quiberon) ou un couloir île-terre (Marseille) donne de très bons résultats en ce qui concerne les caps limites du vent (méthode décrite dans le point suivant concernant l'exemple de Hyères)

Remarque :

Le programme test permet de contrôler nos prévisions. C'est donc un moyen de vérification objectif.

On remarque au passage la précision des prévisions des caps limites du vent suivant l'implantation des cercles sur un site. C'est très précisément ce type d'information qui faisait défaut aux Coureurs de Haut Niveau.

c) Exemple de Hyères : bilan chiffré de pourcentage de réussite dans nos prévisions

(Document envoyé aux Coureurs en Mai 1983 après la semaine préolympique, ainsi qu'aux Présidents de Comités de Course).

d) Conclusion

Sur l'ensemble des plans d'eau où nous avons pu vérifier les prévisions, le programme "test" donne un pourcentage de réussite de l'ordre de 80 à 90 %. Dans ces conditions, ceci nous confirme que les influences locales sur le site sont prépondérantes et doivent être étudiées avec un maximum de précision. Ceci justifie encore plus aujourd'hui l'intérêt de la Vedette-laboratoire sur les sites de compétition pour affiner nos prévisions et donner aux Coureurs des renseignements très complets.

Enfin, pour ceux qui n'ont pu se rendre à Los Angeles et qui doivent "apprendre" rapidement les caractéristiques locales de ce site avant d'y aller, nous avons mis au point un jeu tactique sur ordinateur.

Ce jeu tactique réutilise les informations sur le vent prélevées sur le site de compétition et permet aux Coureurs de s'habituer progressivement au plan d'eau sur lequel ils n'ont jamais navigué.

C'est l'objet du chapitre suivant.

DOCUMENTCOUREURSPLAN D'EAU HYERES 1983Bilan des Caps limites par Ph. GOUARDI - BILAN CHIFFRE DU POURCENTAGE DE REUSSITE : avec enregistrements fournis à l'appui

70 % *	22/04/83	470 - FINN)	
)	
98 %	22/04/83	FINN)	par blocs de 40 à 50 mn
)	
100 %	22/04/83	470 - FINN)	
	21/04/83	P.A.V.		Secteur non calculé
99 %	20/04/83	F.D.		
83 %	20/04/83	P.A.V. 3 M		
94 %	20/04/83	P.A.V.		
80 %	19/04/83	P.A.V.		
88 %	17/04/83	P.A.V.		Entraînement

Remarque :

* Secteur recalculé à cause du déplacement du cercle par rapport à l'emplacement de 1982 et du diamètre différent (plus petit).

II - ETUDE THEORIQUE ET LIMITES DE L'ETUDE :

Un mois avant cette Semaine P.O. de Hyères, j'ai calculé ces angles limites à partir des cercles de 1982. Il suffit de déplacer le centre d'un cercle de 1 Mille pour que les valeurs évoluent de 10° ou 20°, et ça je ne pouvais le savoir avant.

Ces résultats sont donc encourageants et j'attends vos suggestions pour améliorer encore ces données.

III - REPRESENTATION ET VALEURS LIMITES :

En fait, il apparaît après coup, que la représentation sous forme de lignes d'écoulement est juste, car sur un vent d'Est par exemple, entre le parcours des 470 au 105°, on mouille au même moment un parcours des F.D. au 85°. Reportez-vous aux lignes d'écoulement du vent d'Est, vous verrez que ceci se vérifie.

.../...

Ce qui veut dire en clair, que sur l'ensemble du plan d'eau à un instant, on n'a pas le même vent sur la totalité des cercles (plus à droite au Nord - plus à gauche au Sud).

Chacun en tirera des enseignements sur sa tactique dans son cercle, où l'on retrouve avec moins d'amplitude ce phénomène. La représentation par lignes d'écoulement est donc fort juste.

IV - VALEURS LIMITES ET EFFETS DE COTES :

Nous avons été surpris sur le cercle des 470 de ne pas trouver un effet de côte sur le côté babord du plan d'eau comme l'année précédente (vent 70° - voir même 60°). Nous étions en fait trop loin pour saisir cet effet. Par contre, dès que le parcours a été rallongé, l'effet a de nouveau été sensible.

Un cap limite ne tient jamais compte des effets de côte =

470 = proximité côte dans le Nord
PAV = jetées à proximité
FD = proximité Porquerolles

Ceci fait partie d'un autre chapitre qui s'intitule effet de côte et qui vient modifier le vent provenant du secteur défini par les angles limites. (*)

a) effet de feinage, donc diminution de la force de "coriolis".

→ parcours des 470 - adonnantes babord avec alternance de la vitesse du vent

b) effet de surpression - haute pression (mouvement anticyclonique en amont des jetées)

d'où rotation du vent légèrement à droite.

Cet effet peut jouer entre la Marque au vent et la Marque sous le vent. On peut très bien avoir quelques degrés de différence entre 0,8 M de distance.

c) Vent d'Est - stable

Suivant la remarque de Nicolas LODAY, le vent n'était pas le facteur prédominant dans ces conditions à terre, il y avait un peu moins de mer (dernière journée par Vent d'Est) et donc la vitesse était meilleure.

V - CALCUL DES VALEURS THEORIQUES :

A - Fourniture des cartes du site

- a) Carte 1/100.000 voir même au 1/250.000
- b) Carte 1/ 50.000
- c) Carte 1/ 25.000

Il faut se procurer à l'E.P.S.H.O.M., à partir de répertoire international, les cartes du plan d'eau à étudier.

L'implantation du parcours (cercle) doit être faite avec le plus grand soin. (si une modification intervient, il faudra modifier les résultats (cf. Hyères 83).

(*) : Voir page Chap.

.../...

Plus on travaille avec de la précision, plus on a besoin de rigueur dans l'implantation du parcours.

Il faut le savoir. Notre marge de tolérance est faible à moins de prévoir une incertitude sur cette implantation.

Il est essentiel de s'appuyer sur les Cartes au 1/100.000 avec la disposition des Iles, du relief, etc ... avant même de travailler sur une carte au 1/25.000 qui est utile uniquement pour mouiller un parcours et prendre des amers.

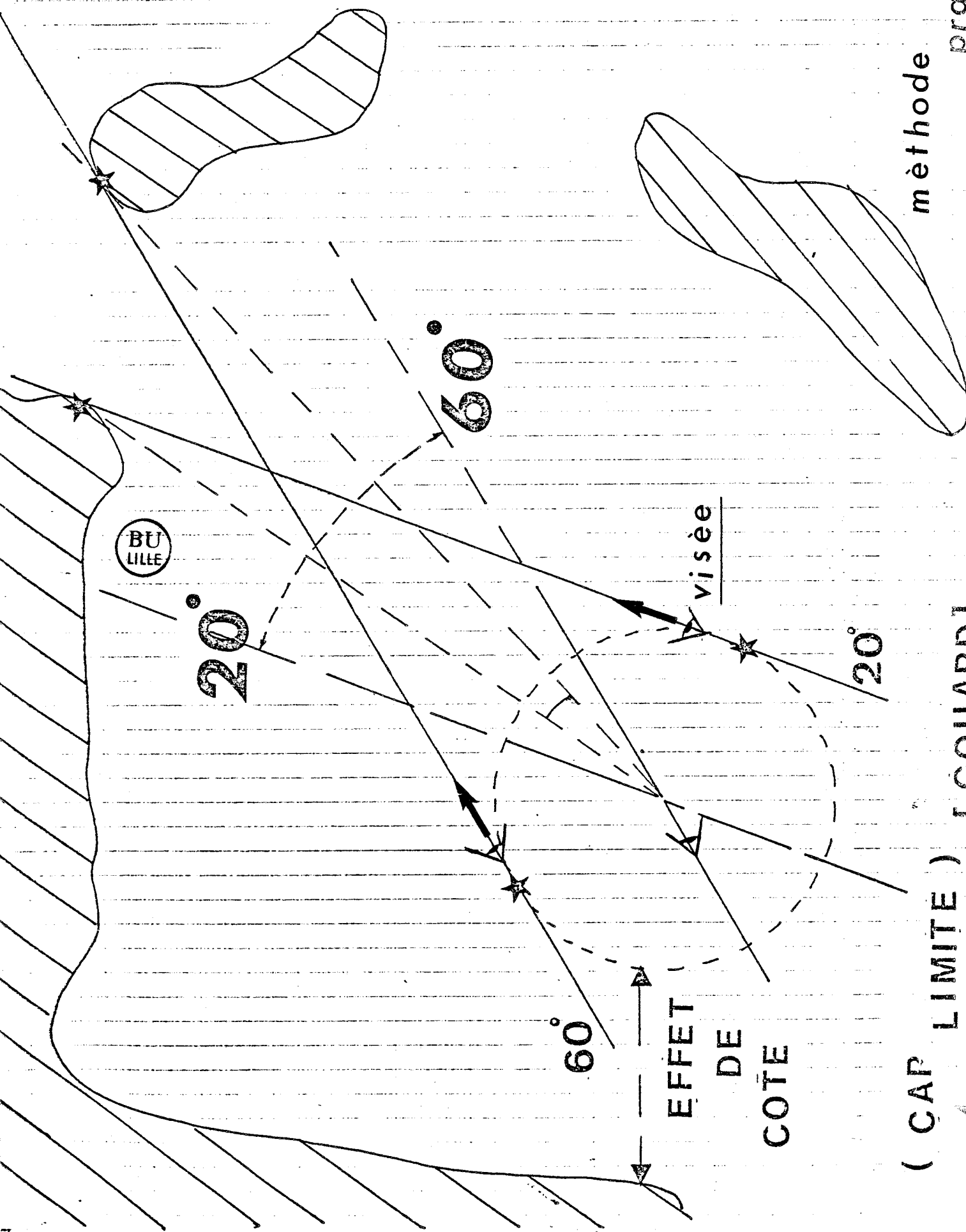
B - Calcul théorique : méthode mise au point par Ph. GOUARD (Fig. 4 A)

A partir du cercle, vous visez les bornes du relief le plus fort. Dans un premier temps vous pouvez utiliser le centre du cercle et vous visez les limites du relief. Ensuite, à la règle CRAS vous calculez les valeurs angulaires vraies que vous convertissez en caps compas.

Il est bien évident qu'en utilisant le centre du cercle par commodité pratique, vous ignorez les points extrêmes à droite et à gauche, c'est-à-dire les bords du cadre.

Pour ne pas ignorer cette région, il faut à partir d'une tangente au cercle recalculer les valeurs limites ; c'est-à-dire qu'alors nous tenons compte de tous les points possibles à l'intérieur du cercle. On peut étendre la méthode sur l'extérieur du cercle, dans des conditions particulières où il faudra sortir du cadre (vent évolutif) et calculer alors les limites.

—————→ Schématisation (voir Hyères et angles limites).



(CAP LIMITE)
 REQUIARD

C - Limites à l'interprétation des caps limites :

Il est évident, mais il faut le répéter, que les caps limites ne tiennent pas compte des effets de côte par exemple sur la gauche du cercle en exemple (effets de freinage, de haute pression, et de dépression, ne sont pas pris en compte dans cette étude).

Ceci ne veut pas dire que nous n'en tenons pas compte. Ceci veut dire qu'il faut mener une autre recherche, que nous faisons à partir d'effets stables d'Iles, de côtés suivant toutes les possibilités d'orientation du vent par rapport à la rugosité.

D - Signes avant coureurs du passage du vent d'un couloir à un autre :

Avant tout, il faut connaître la tendance synoptique, pour évaluer les possibilités de saute de vent. C'est-à-dire qu'une tendance évolutive droite doit laisser supposer cette saute de vent. C'est une donnée qu'il faudra rechercher auprès des Météorologues.

Pour le coureur sur l'eau, une stagnation du vent à 60° avec une anarchie dans les Virings/Backings par rapport à la vitesse du vent, (des Virings courts puis longs) doivent mettre le coureur en éveil.

E - Conclusion :

En menant parallèlement, étude théorique, mesures sur l'eau et explication scientifique en laboratoire, il apparaît que cette étude sur les sillages à l'approche des obstacles est déterminante pour le vent. Nous sommes dans 90 % des cas dans ces conditions et il faut mieux connaître ces phénomènes d'une manière plus schématique. C'est l'objet de notre travail.

F - Navigation - Forme des Voiles - Turbulence :

Vous avez pu lire à chaque fois le degré de turbulence du vent, qui est une donnée essentielle dans la forme et le volume des voiles. Pour le moment, cette donnée objective peut nous permettre de revoir en fonction des voiles utilisées, le créneau d'utilisation et leurs possibilités.

HYERES - MANCHE N° 1 - 13 h 50

19 Avril 1983

A - OBSERVATIONS - M3 F 39 à 42

Caps théoriques 88°/102° 80 % de réussite

Caps mesurés mini 99°
 maxi 120°

Mini 105° }
Maxi 113° } 31 % des points

B - OBSERVATIONS - M3 F 43 à 45

mini 86° 99 % de réussite

maxi 123°

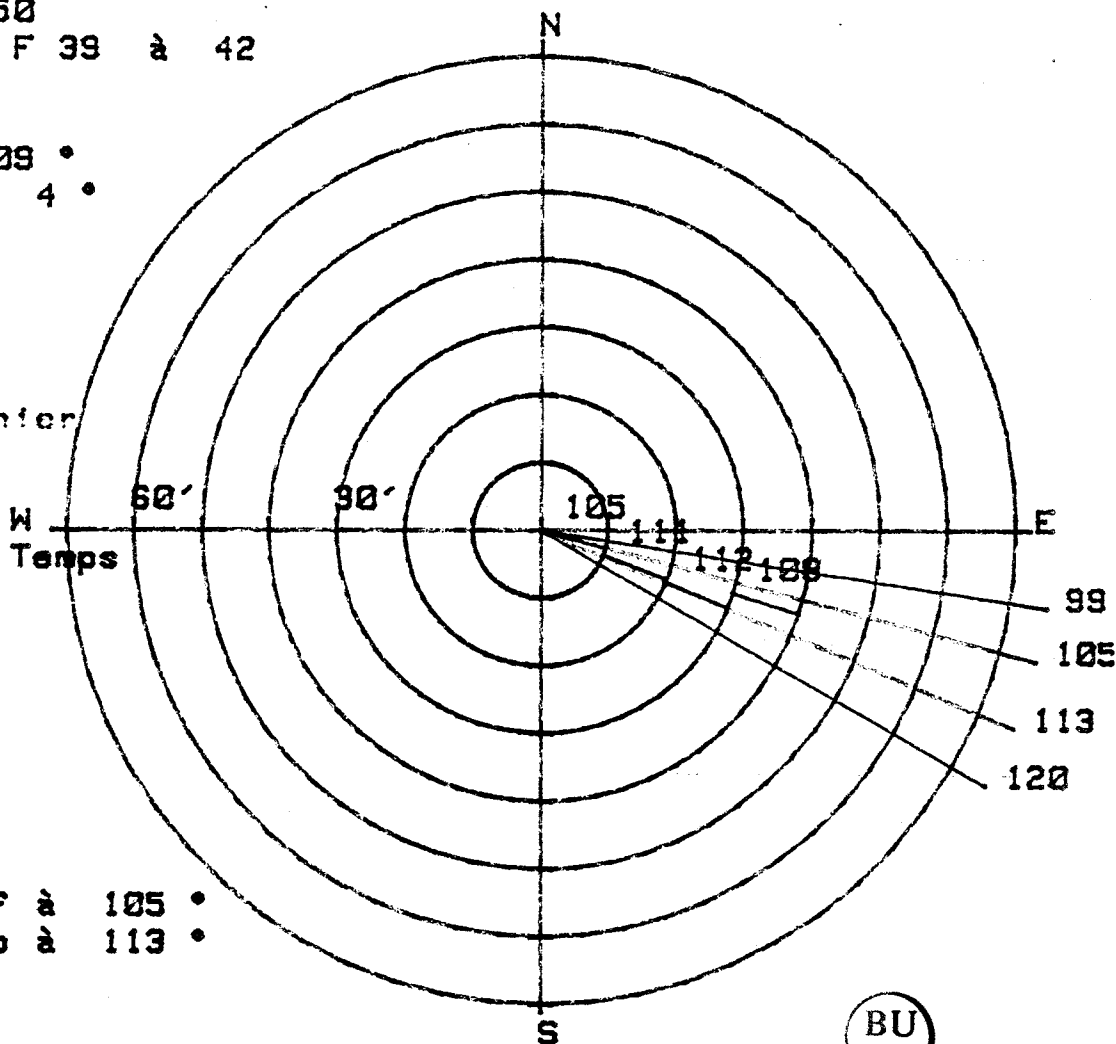
Mini 88° }
Maxi 97° } 83 % des points

HYERES 19/04/83
 PAV Man1 13h50
 Fichiers M 3 F 39 à 42

Moyenne : 109 °
 Ecart type : 4 °

Min 99 °
 Max 120 °

Moy. par fichier
 125 : 111
 112 : 108



13 % pts inf à 105 °
 16 % pts sup à 113 °

ENTRÉE		DIR. VENT		VITESSE		NOMBRE	REMARQUES
100	110	120	130	140	150		
0	0	93	1	0	0	94	...
0	0	45	59	0	0	104	...
0	0	11	79	4	3	117	...
0	0	73	14	0	3	190	...
1	1	11	40	0	1	52	...

HISTOGRAMME AZIMUTH ET VITESSE VENT
FICHIERS M3F39 à F42

HYERES
19/04/83
PAV Man1 13h50

AZIMUTH

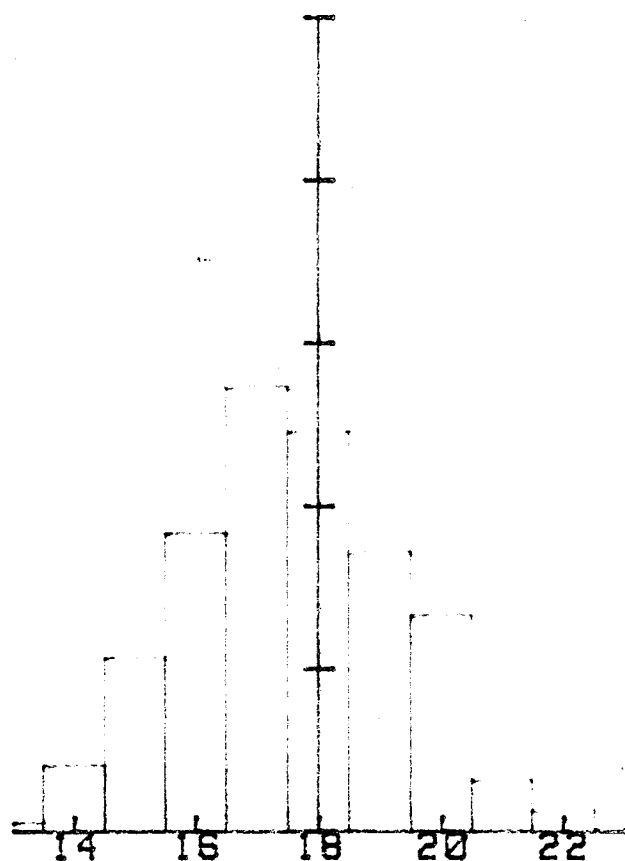
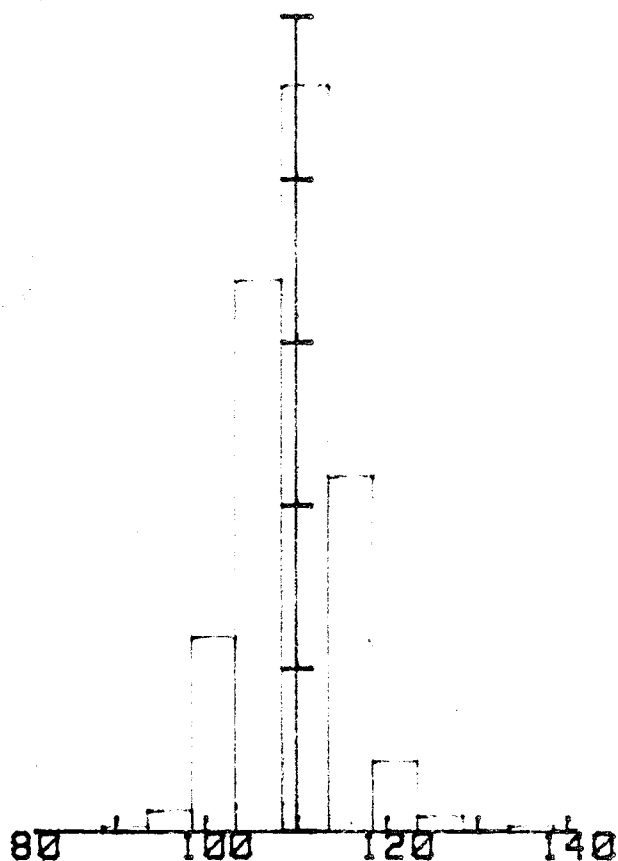
VITESSE

MOYENNE: 109 deg

MOYENNE: 18 nds

DISPERSION: 5.3

DISPERSION: 1.7



HYERES - 20 Avril 1983

F.D. Manche n° 2 - 14 h 45

Parcours mouillé au 85°

A - OBSERVATIONS :

Caps théoriques 72 ° - 100 °

99 % de réussite

Mini 86°

Maxi 110°

Mini 90 °

Maxi 96 °

} 65 %

91° - 94° - 94° - 94° - vent moyen sur 40 mn.

Vent très stable.

Vitesse entre 18 nd et 26 nd.

Aucune corrélation entre vitesse et rotation du vent.

Par contre, les Virings sont les plus long en durée que les Backings.

B - REMARQUES :

Vent très stable et de turbulence forte 7 à 9° ce qui est très important par parcours maritime mais mer forte.

L'agitation du plan de voilure par les vagues crée artificiellement une turbulence du vent. La forme des voiles en sera d'autant modifiée.

C - RECONNAISSANCE DU PARCOURS :

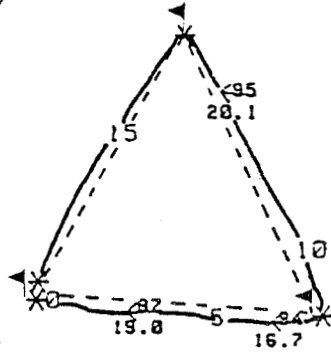
1,5 M mesuré par Vedette - 1er largue très légèrement plus long que le second.

Angle de 95° entre les deux largues.

D - STRATEGIE :

En babord amure, le vent devait être plus favorable du fait du décalage du parcours par rapport au vent moyen 93° (presque 10 % à gauche)..

HYERES
20-04-85



MANCHE 3

PLANCHE

DIST.: 0,76 M

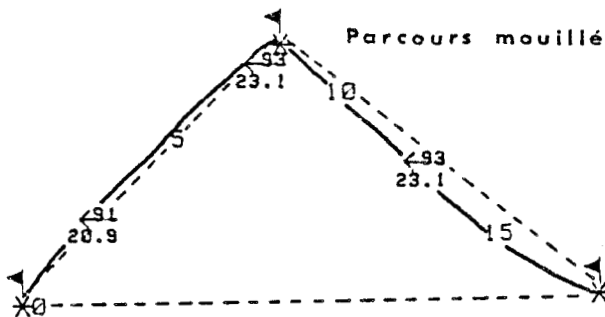
Parcours mouillé au 105



DIST.: 1,5 M

MANCHE 2

FD



Parcours mouillé au 85

7.4 cm = 1 Mille

**IDENTIFICATION
DES CERCLES**

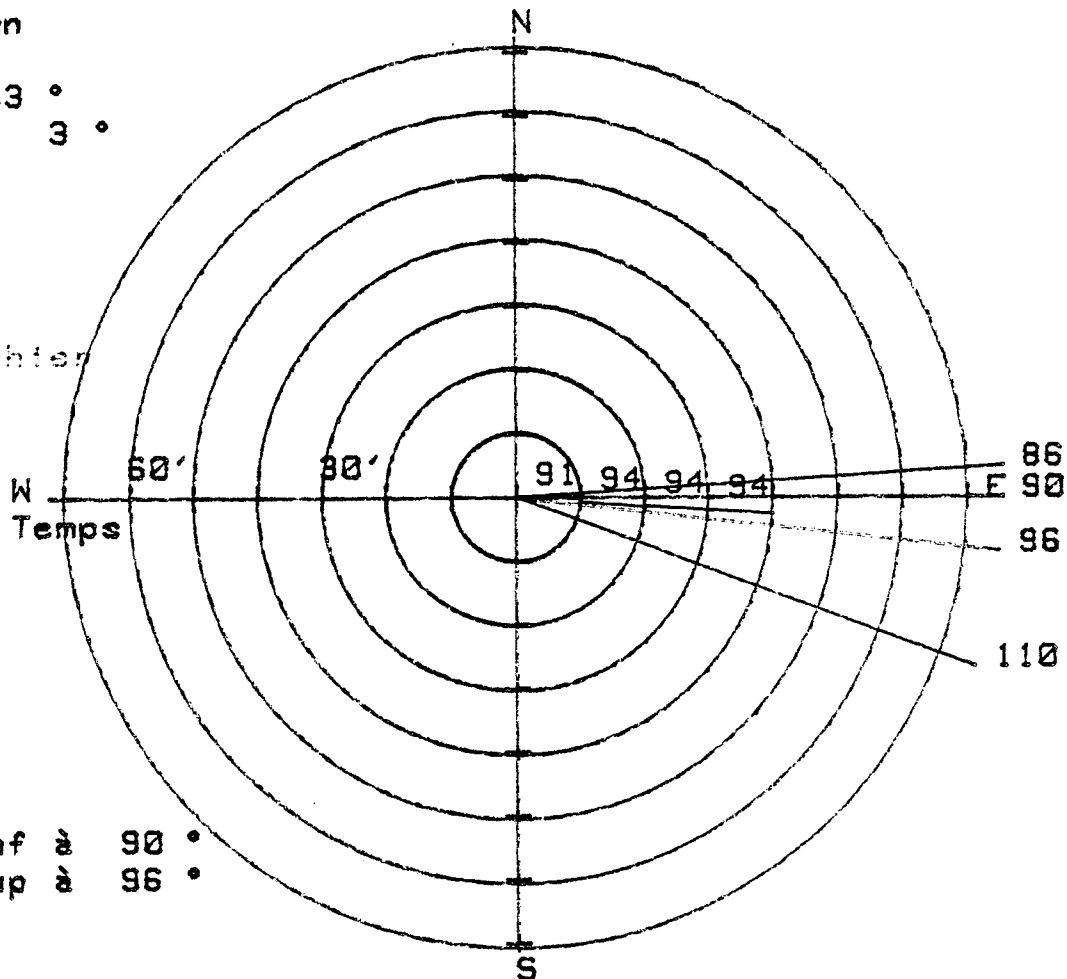
HYERES 20/04/83
 FD Man2 14h45
 Fichiers M 3 F 57 à 60
 Durée : 40 mn

Moyenne : 93 °
 Ecart type : 3 °

Min 86 °
 Max 110 °

Moy. par fichier

57 ; 94
 58 ; 94

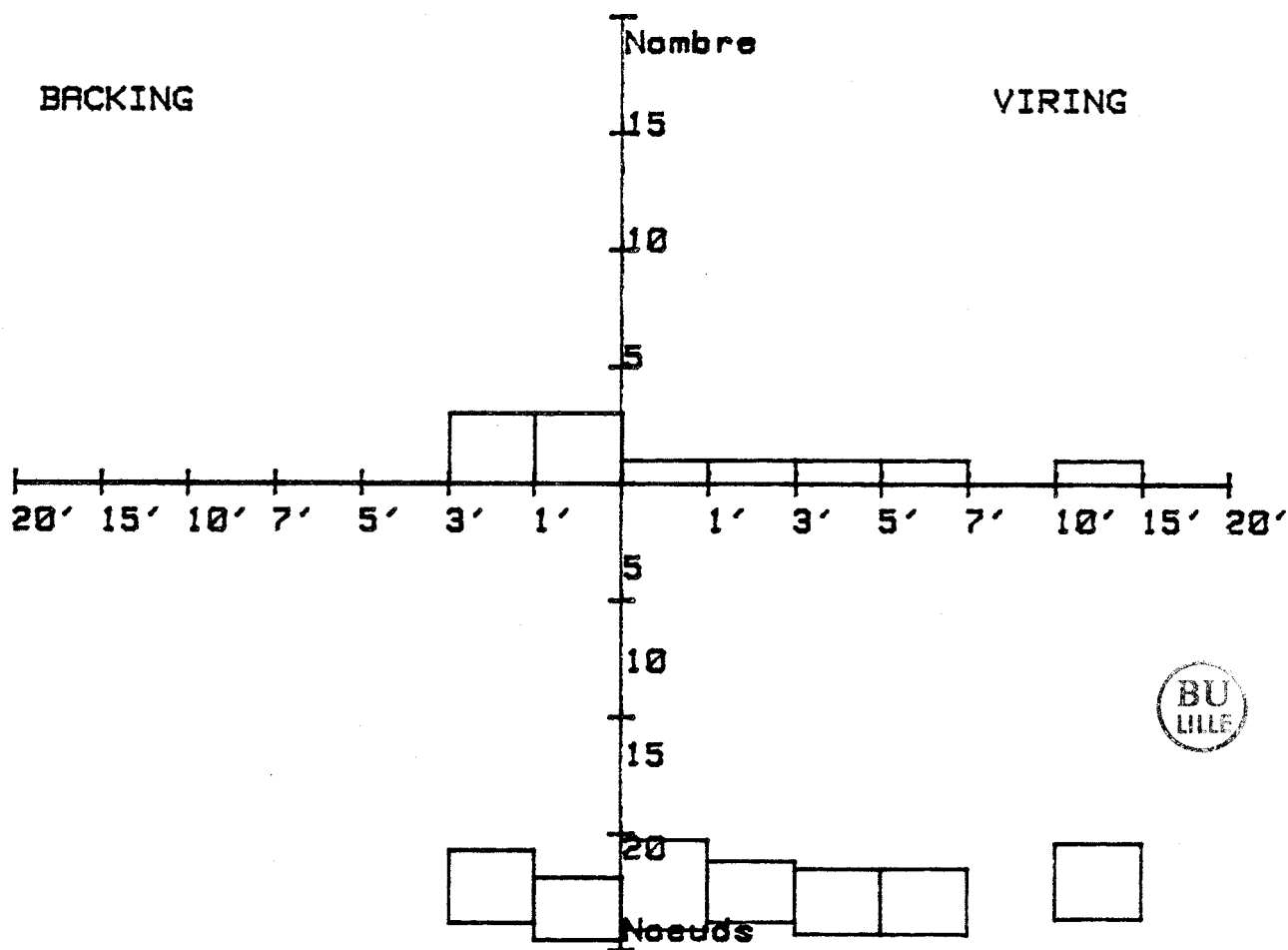


17 % pts inf à 90 °
 18 % pts sup à 96 °

HYERES 20/04/83						FD Man2	
Fichier		Min	Max	Moy	Ecart	Temps	Notes
57	58	94	94	94	0	94	Fichier 57
58	59	94	94	94	0	94	Fichier 58
Moy. par fichier		94	94	94	0	94	Moy. des fichiers

HYERES 20/04/83
 FD Man2 14h45
 Fichiers M 3 F 57 à 60

Durée: 40mn
 min: 5 deg



BACKINGS

VIRINGS

	40°	30°	20°	15°	10°		10°	15°	20°	30°	40°
30s à 1'				2	11	°+- 2	*	5	°+- 0		
1' à 3'					7	°+- 1	*	2	°+- 0		
3' à 5'							*	8	°+- 0		
5' à 7'30							*	15	°+- 0	1	
7' à 10'							*				
10' à 15'							*	13	°+- 0	1	
15 à 20'							*				

HISTOGRAMME AZIMUTH ET VITESSE VENT

FICHIERS M3F57 à F60

Durée : 40 mn

HYERES

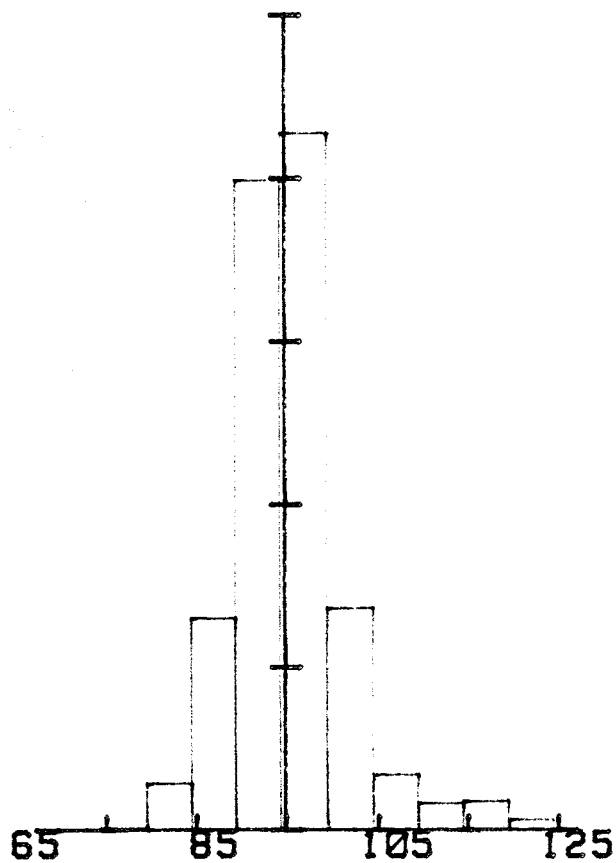
20/04/83

FD Man2 14h45

AZIMUTH

MOYENNE: 93 deg

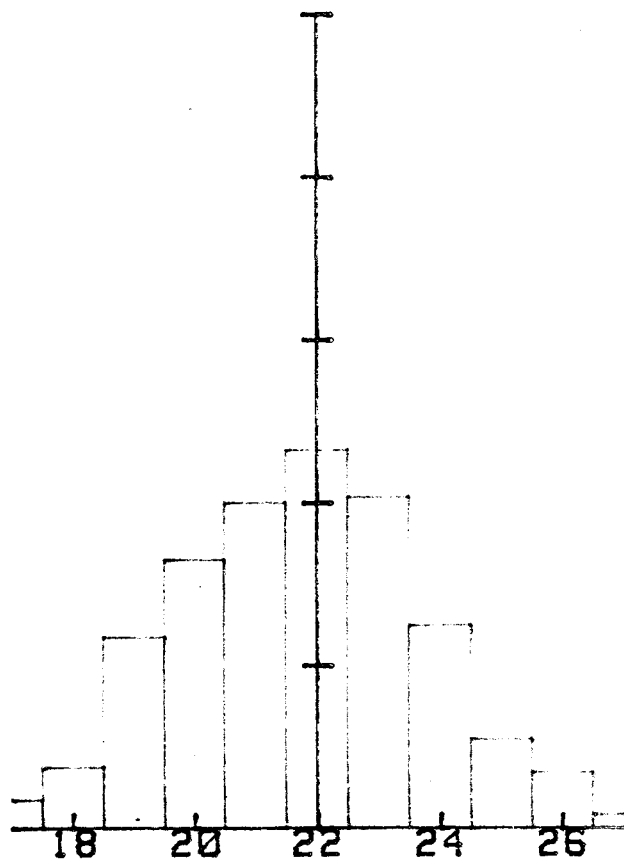
DISPERSION: 6.4



VITESSE

MOYENNE: 22 nds

DISPERSION: 2.0



HISTOGRAMME AZIMUTH ET VITESSE VENT

FICHIERS M3F46 à F51

Durée : 60 mn

HYERES

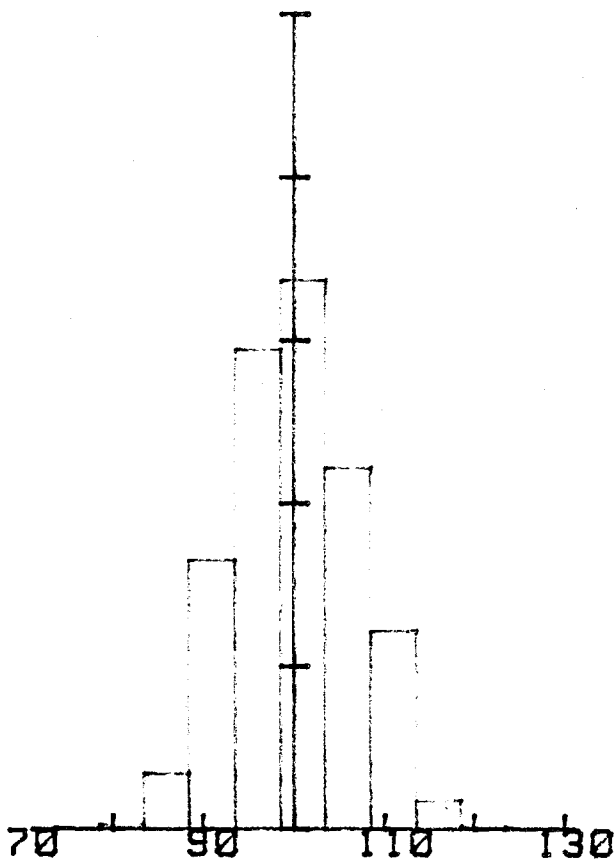
20/04/83

PAV Man3 12h30

AZIMUTH

MOYENNE: 99 deg

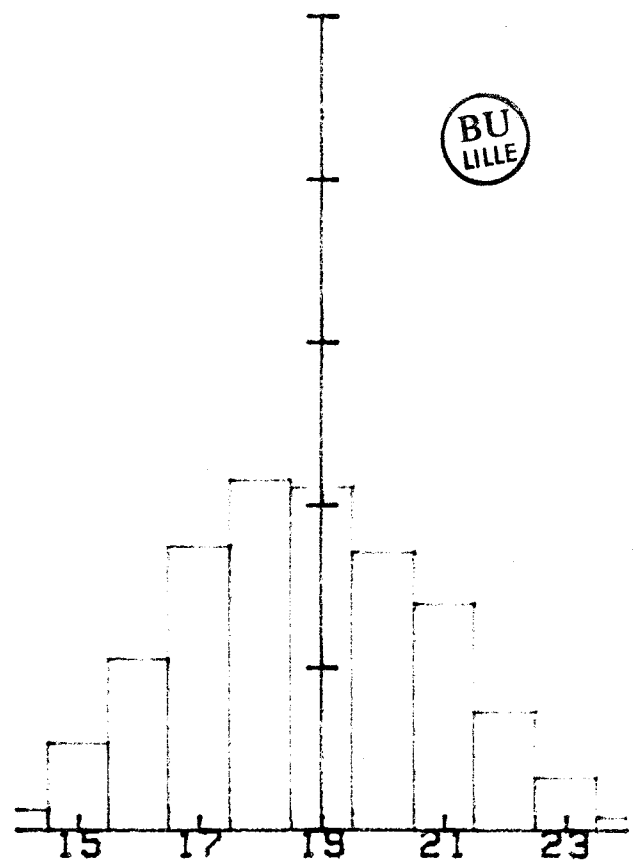
DISPERSION: 7.5



VITESSE

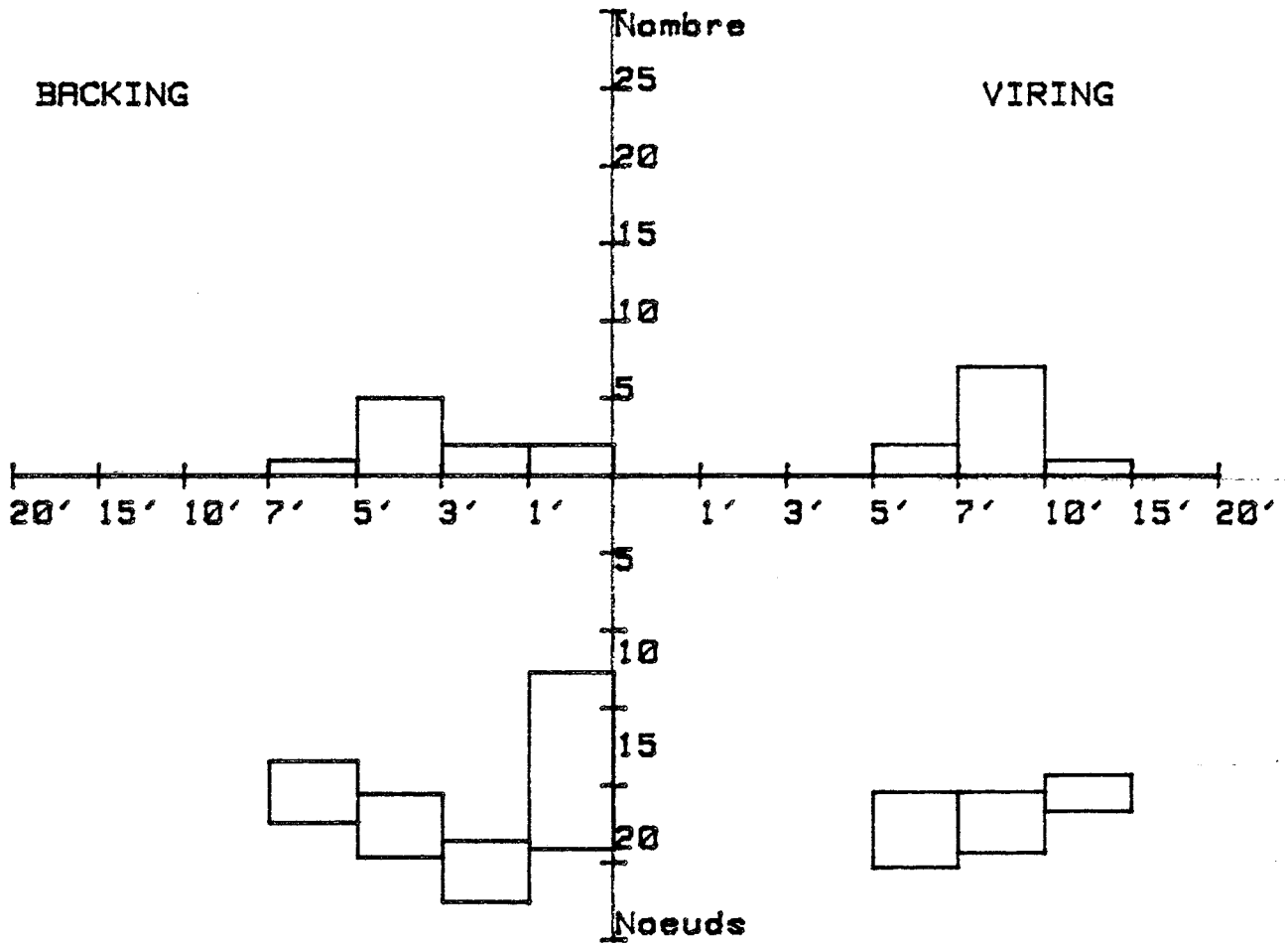
MOYENNE: 19 nds

DISPERSION: 2.1



HYERES 20/04/83
 PAV Man3 12h30
 Fichters M 3 F 46 à 51

Durée: 1H.0mn.
 min: 5 deg



	BACKINGS						VIRINGS				
	40°	30°	20°	15°	10°		10°	15°	20°	30°	40°
30s à 1'					5	°+- 1	*				
1' à 3'		1			17	°+- 2	*				
3' à 5'				2	9	°+- 2	*				
5' à 7°00					10	°+- 6	*	10	°+- 5		1
7' à 10		0					*	10	°+- 3	3	
10' à 15							*	10	°+- 0		
15' à 20							*				

140

30

Lieu: HYERES

Date: 20/04/83

Commentaire: FD Man2 14h45

Type: Rapide

Fichier: M3F57

Moyenne Glissante: 102.5 Sec

120

25

Max Rzt
Min Rzt
Vitesse



100

20

80

15

Largeur de Bande :

M3F57 : 7 °

M3F58 : 5 °

M3F59 : 8 °

M3F60 : 9 °

D - VENT DE SUD OUEST = ANALYSE DU VENT :

a) 40 mn avant départ :

La première constatation vient du fait que le cercle des 470 n'est pas implanté comme prévu. J'ai retracé les deux cercles de 1982 et de 1983 et recalculé les valeurs théoriques. Ceci nous donne pour 1983

\longrightarrow mini 208°
 \longrightarrow maxi 240°

Le cercle, comme on peut le constater est décalé à droite et nous ouvre un angle plus ouvert entre Giens et Parquerolles. Les valeurs angulaires gagnent 20° à droite, à tel point que sur l'eau on pouvait remarquer l'ouverture entre les Iles, ce qui n'est pas le cas normalement. Les deux Iles s'occultent partiellement si le cercle est décalé à gauche.

Résultats entre 234° et 243° (70 % des points)

 entre 230° et 250° (96 % des points)

Calcul théorique 208/240°.

Erreur sur la mesure 30 %.

Cependant, il faut remarquer que le tableau ne différencie pas 241° et 249° ; il compte toutes les valeurs entre 240° et 250°.

Evolution 239° - 239° - 243° - 233° en valeur moyenne.

Parcours implanté à 240°.

C'est-à-dire que le vent a atteint sa valeur maxi.

Dès lors, il ne peut que sauter à l'autre couloir W, à condition que l'appel thermique se fasse, ce qui ne fut pas le cas, ou revenir osciller entre 208° et 240°, ce qu'il n'a d'ailleurs.

Cette alternative est impossible à prévoir à 90 % en temps réel. Simplement, on peut raisonnablement penser qu'un vent ayant atteint un cap limite et y stagnant peut présenter deux cas :

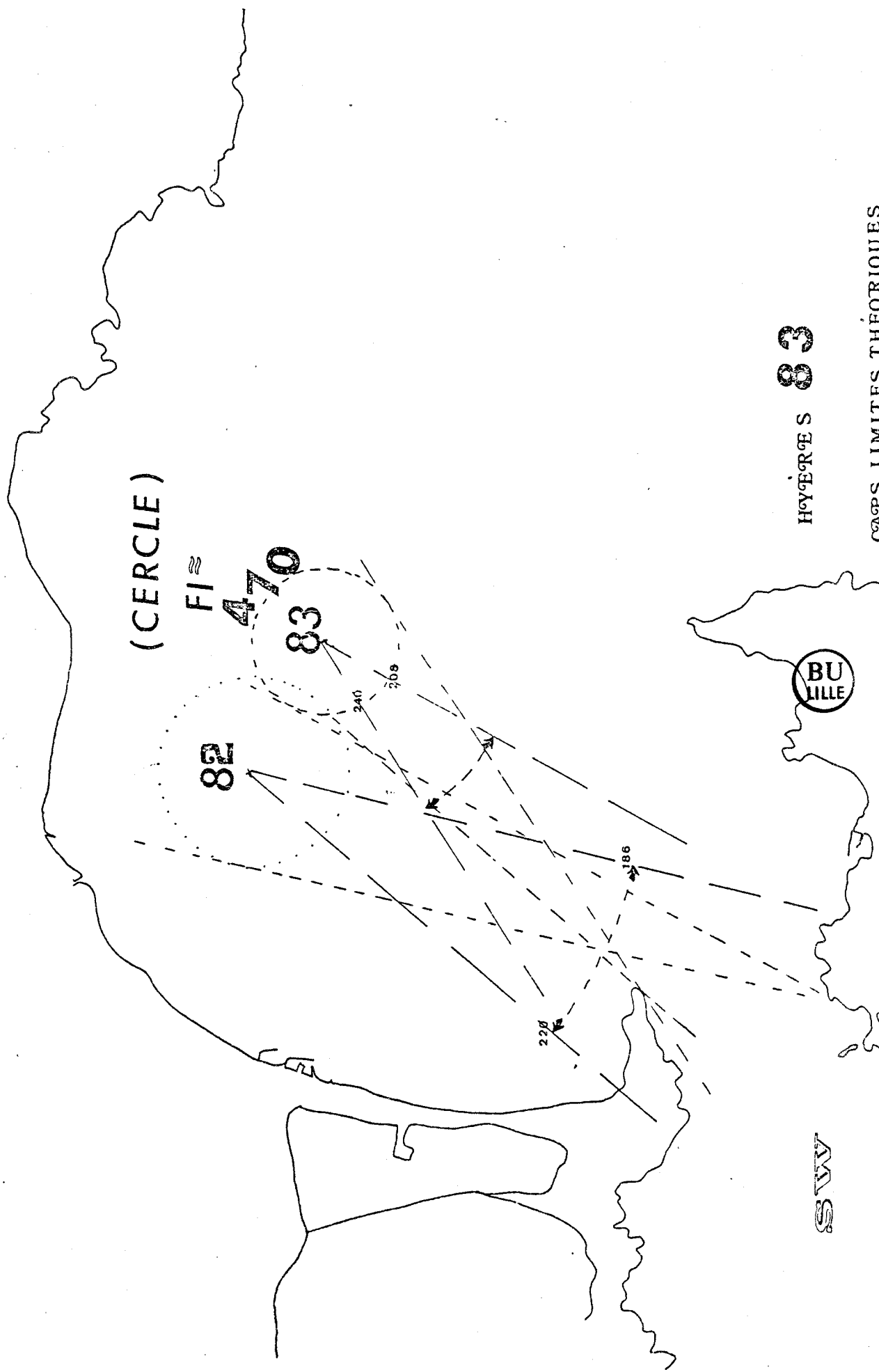
- 1- - synoptique fort
- combinaison brise thermique

Résultat : saute vers la droite

- 2- synoptique faible

Peu d'ensoleillement (couverture nuageuse forte).

Retour à un vent oscillant dans un couloir, ce qu'il fait.



HOMÈRES 83

CAPS LIMITES THÉORIQUES

LE

COURANT

MESURES

 Fichier : M3F65
 Date : 22/04/83
 Lieu : HYERES
 Commentaire : Courant 470.Finn

 Top1 : 2 Temps : 42.5 sec
 Top2 : 3 Temps : 150 sec

Azimuth courant : 274 degrés
 Vitesse courant : .38 noeuds

 Fichier : M3F65
 Date : 22/04/83
 Lieu : HYERES
 Commentaire : Courant 470.Finn

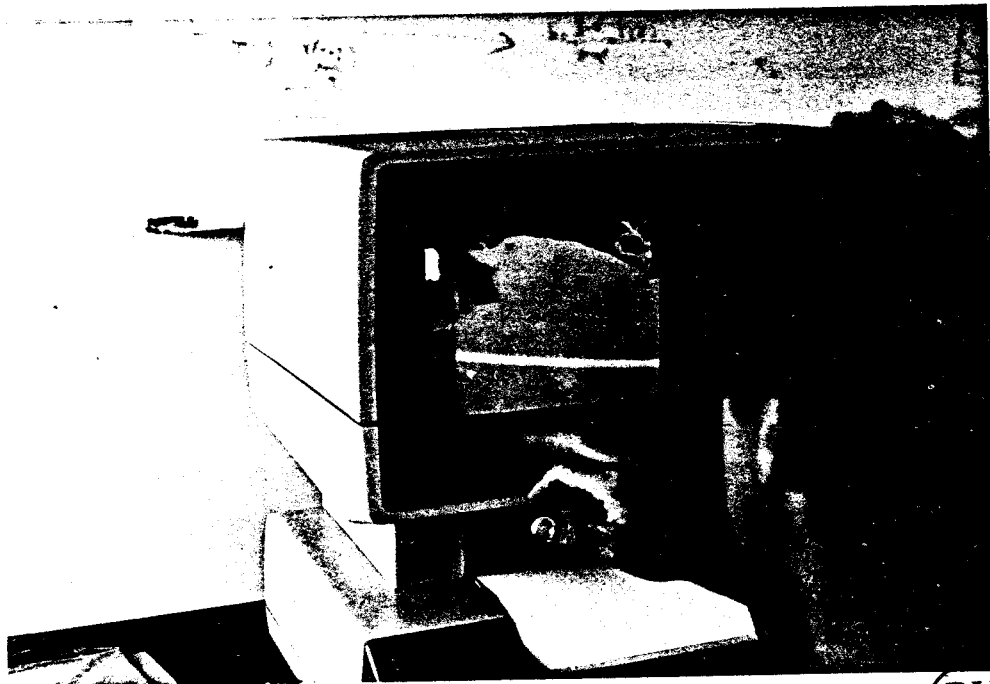
 Top1 : 3 Temps : 150 sec
 Top2 : 4 Temps : 265 sec

Azimuth courant : 296 degrés
 Vitesse courant : .16 noeuds

chapitre v

l'entraînement sur simulateur

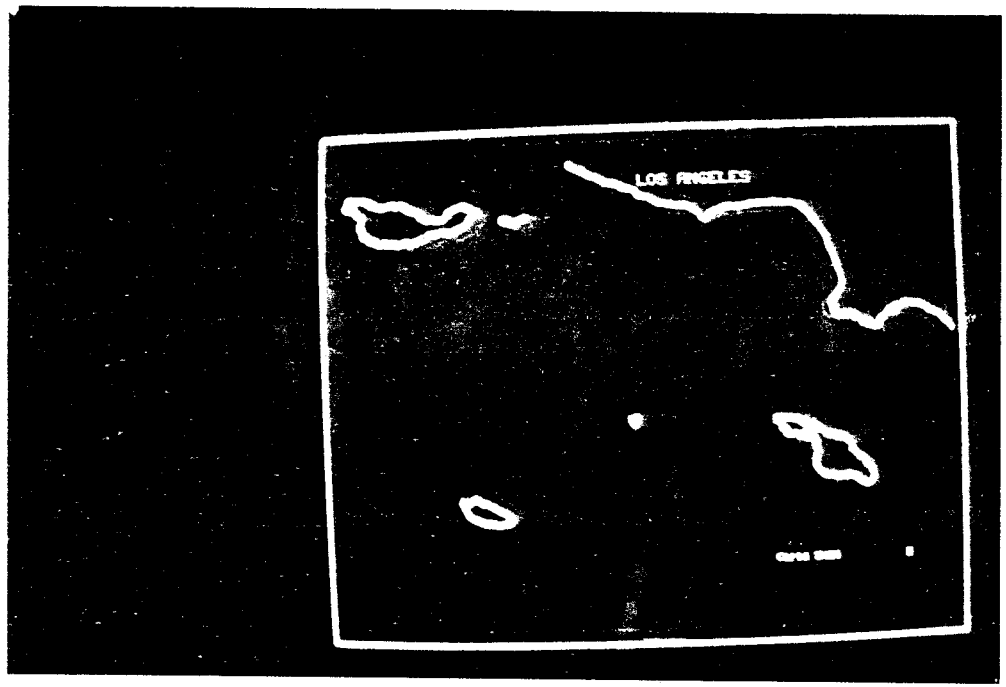
A). JEU TACTIQUE ET STRATEGIQUE SUR ORDINATEUR



BU
LILLE

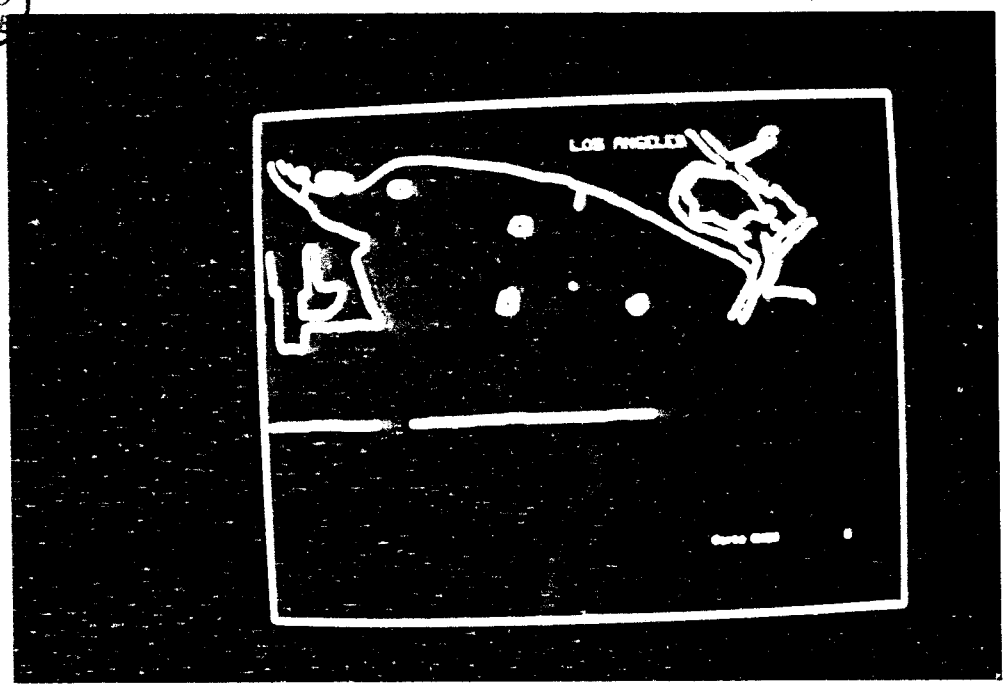
Gérard Louchet, E.N des Finns, en juillet 1982 à Quiberon découvre le plan d'eau de Los **A**ngelès sur ordinateur.

Si les conditions de vent sont fictives, car nous n'avons pas encore fait le déplacement, le relief et le contour de la côte sont à l'échelle. (cartes numérisées aux différentes échelles), et les conditions de vent correspondent aux caps limites calculés en France à partir des cartes de détail.



fond de carte utilisé pour le jeu tactique
Ici Los Angelès (carte à grande échelle)

BU
LILLE



Los Angelès : site olympique (carte à petite échelle). Les Iles où sont camouflés les puits de pétrole et la digue protégeant la Baie de La Houle.(photos de l'écran du simulateur).

L'idée d'un jeu tactique sur ordinateur n'est pas nouvelle, si on se contente de visualiser simplement la trajectoire d'un bateau par rapport au vent, bien que ce soit déjà très intéressant d'associer à la conduite de son bateau, la représentation mentale de sa trajectoire.

Avec ce jeu tactique, mis au point avec H. Dispa, ingénieur à l'ENSEEIH de Toulouse sous la direction de M. Alquier, professeur dans cette école, nous allons plus loin dans l'apprentissage de la tactique.

C'est-à-dire que nous utilisons l'ensemble des résultats de nos recherches sur le 470 labo et sur le vent pour "simuler des conditions réelles de navigation" et donc pour proposer un jeu très proche de la réalité. En fait, c'est une navigation en temps différé, que l'on propose aux coureurs sur des sites de leur choix. Pour cela, il a fallu concevoir un certain nombre de logiciels informatiques

B) DESCRIPTION DES LOGICIELS TACTIQUE ET STRATEGIQUE

Principe du jeu tactique et stratégique :

- J₁ Jeu sur Los Angelès
- J₂ Jeu sur Quiberon
- J₃)
- J₄) Jeu sans profil de côte
- J₅)
- J₅ Jeu sur Cannes.

Le coureur sélectionne le fond de carte (Cannes - Los Angelès - Quiberon) sur lequel il désire jouer. A partir d'un menu apparaissant en début de programme, il choisit lui-même son site.

Ensuite grâce aux "clefs" situées sous l'écran de l'ordinateur le coureur peut intervenir sur la marche de son bateau, c'est-à-dire qu'il peut faire loffer ou abbatre son bateau de 2°, 5°, 10°, 45°

Il peut déclencher le virement de bord de son bateau dès qu'il le veut par une clef définie = "virement". Bien évidemment, toute auloffée ou abattée entraîne une modification simultanée du cap du bateau et de sa vitesse. Cette vitesse du bateau est déterminée à partir de la polaire de vitesse du 470 Labo, calculée et stockée dans la mémoire centrale de l'ordinateur. Bien sûr, nous pouvons stocker n'importe quelle polaire de bateau grâce à l'utilisation du "Light Pen" sorte de crayon à digitaliser qui saisit les points directement sur l'écran de l'ordinateur. C'est ainsi que nous pouvons entrer une polaire de planche à voile, une de multicoques...
(graphes PO_1 , PO_2 , PO_3)

Ce jeu personnalisé permet donc à chaque coureur de régater sur un engin qu'il connaît (Finn - FD - 470 - Tornados - Planche à Voile)

Notre bateau progresse donc en fonction de cette polaire de vitesse et est pénalisé à chaque virement de bord, d'une valeur appelée "perte au virement de bord" que nous connaissons par les recherches sur le 470 Labo (5 m à force 3 etc... cf tableau). Cette perte au virement de bord est modulable suivant les conditions de vent et de mer et introduites par le coureur au début du jeu par l'intermédiaire du clavier. On adapte donc le jeu au niveau des coureurs. La perte au virement d'un coureur de haut niveau peut être de 4,50 m alors que celle d'un Espoir sera de 5 à 6 m. On introduit donc cette correction qui inévitablement intervient sur la tactique. Un équipage imparfait en manoeuvre pourra volontairement se sanctionner, par exemple.

Le bateau apparaît donc sur l'écran, et progresse dans le vent sur ce parcours olympique. La trace de sa trajectoire reste sur l'écran par une succession de pointillés. En fin de jeu, le coureur dispose d'une feuille de résultats sur imprimante thermique avec son parcours. Nous pouvons lui fournir la répartition du vent sur l'eau pour qu'il puisse analyser ses résultats.

Polaires utilisées dans le Simulateur tactique

a) Nous utilisons les polaires du 470 laboratoire qui ont été obtenues par mesures grâce aux différents stages de détection des Espoirs nationaux et par modèle mathématique (Professeur GABIL-LARD PO₁).

b) Pour la planche à voile olympique, nous utilisons la polaire de vitesse théorique calculée par J.M. Kobus - P. Marin et Curtoud (E.N.S.M. de NANTES). D'autre part, cette polaire a été en partie vérifiée par mesure sur l'eau, à partir des enregistrements réalisés par la Vedette-laboratoire, notamment pour les optima de vitesse au près sous les deux amures et par différentes forces de vent (PO₂).

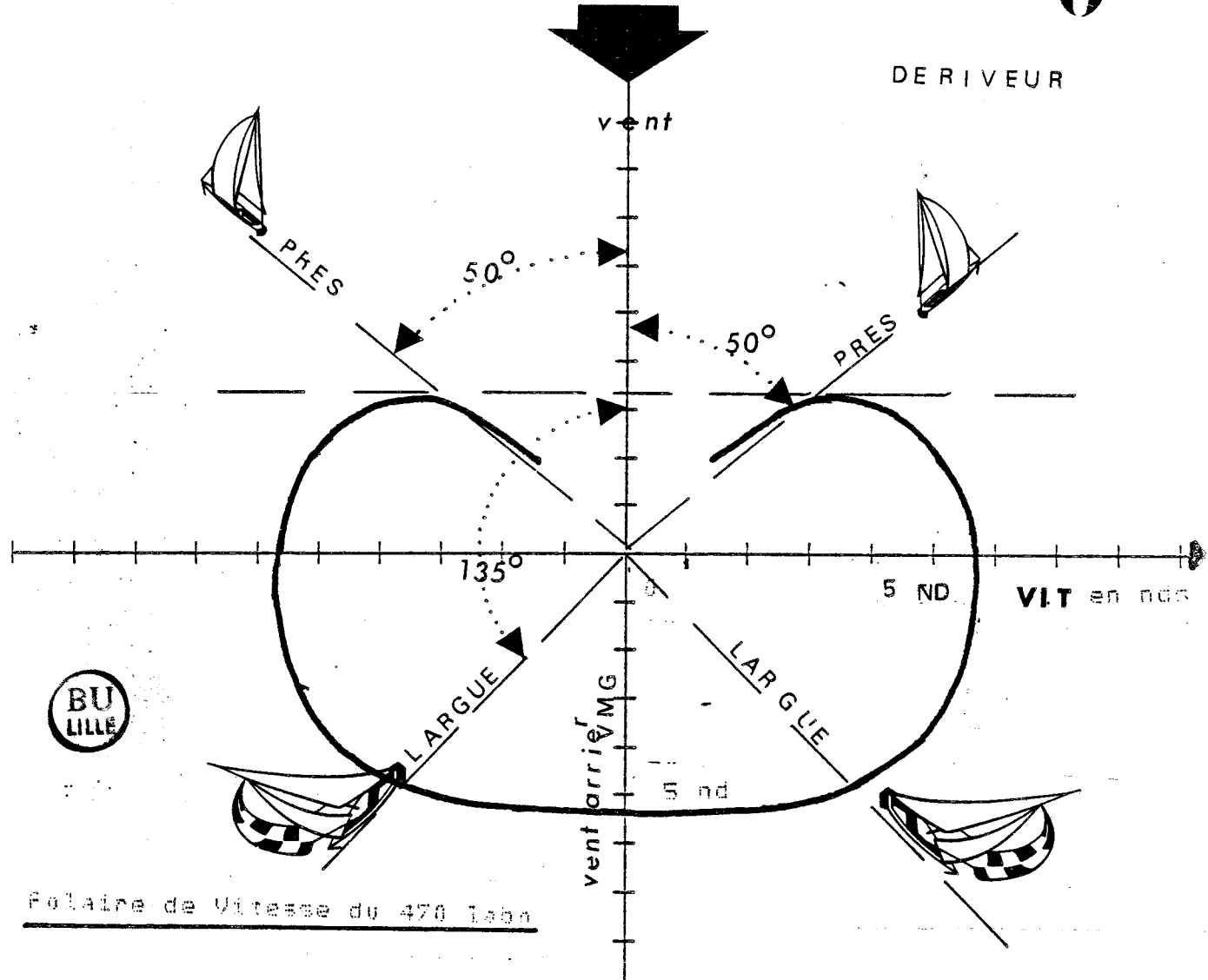
c) Pour le Tornado (PO₃), nous utilisons deux types de polaires mesurées à Los Angelès à partir de la Vedette-laboratoire. Ces polaires ont la particularité de n'être pas symétriques, parce qu'elles sont déformées par le clapot. C'est à dire que suivant l'angle d'incidence entre le clapot de Los Angelès et l'axe du Tornado, les vitesses (Vs) du catamaran sont très différentes comme le graphe PO₃ le montre.

Sur le simulateur, nous tenons compte de l'influence du clapot différent en tribord amure et en babord amure. D'autre part connaissant les pertes au virement de bord du Tornado obtenues par mesures, nous reproduisons les conditions de navigation assez fidèlement. Y. LODAY s'entraîne sur ordinateur à Quiberon dans cette préparation olympique pour Los Angelès pour s'habituer au plan d'eau et se mémoriser les options tactiques suivant les différentes heures de la journée, c'est à dire suivant la direction du vent qui évolue et suivant l'intensité du vent réel qui modifie la polaire de vitesse du catamaran et donc la conduite du bateau et les options tactiques.

POLAIRE DE

470

DERIVEUR



Polaire de Vitesse du 470 labo

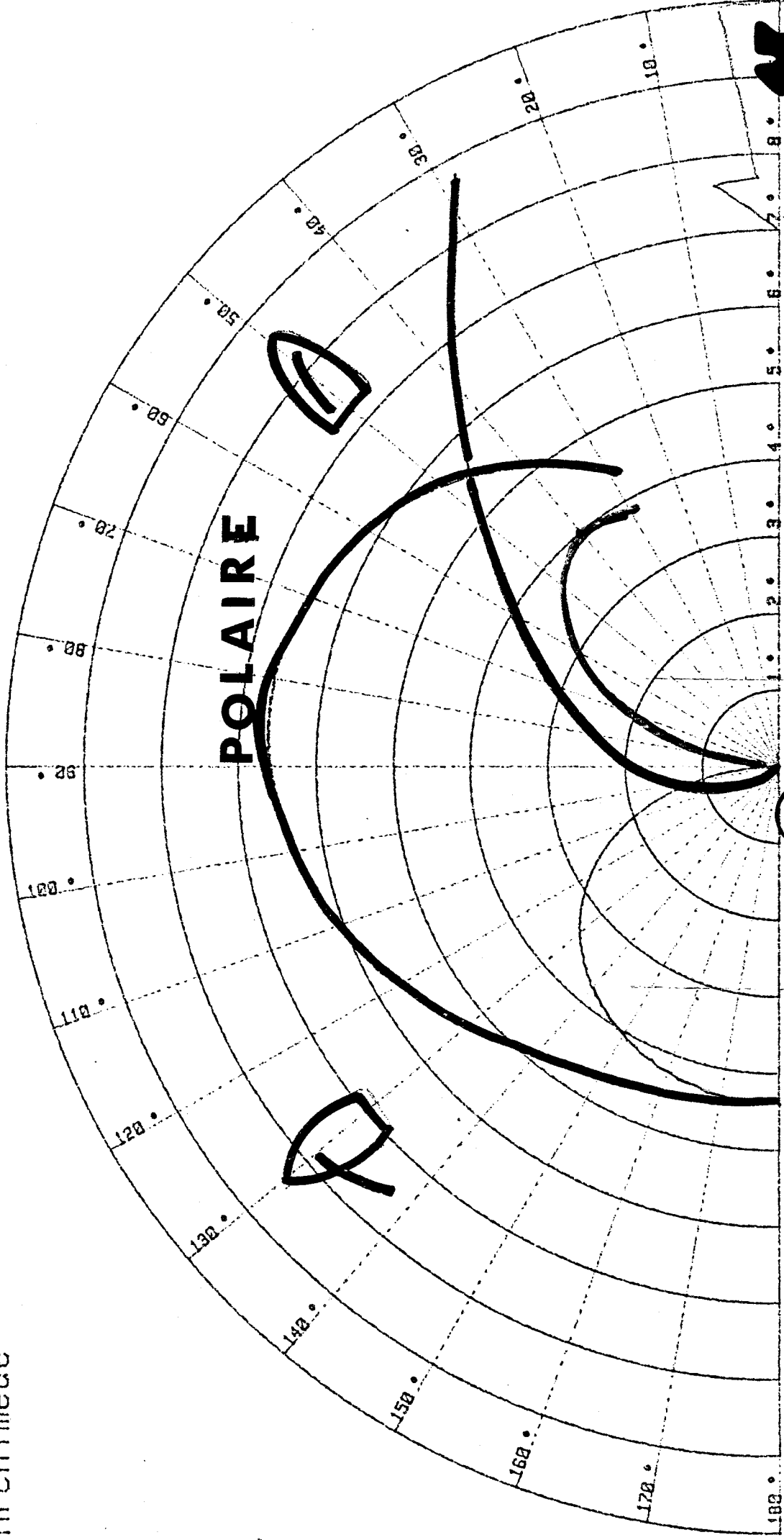
po1

$K_r = f(\text{angle } V_r)$

$K_{mg} = f(\text{angle } V_r)$

$Dérive = f(\text{angle } V_r)$

Archimède



Vent réel = 7 noeuds

Tracé en fonction de l'angle du vent réel

470

VENT

poi

POLAIRES DE VITESSE théorique

Bateau : WINGLIDER

Fichier : POLENS

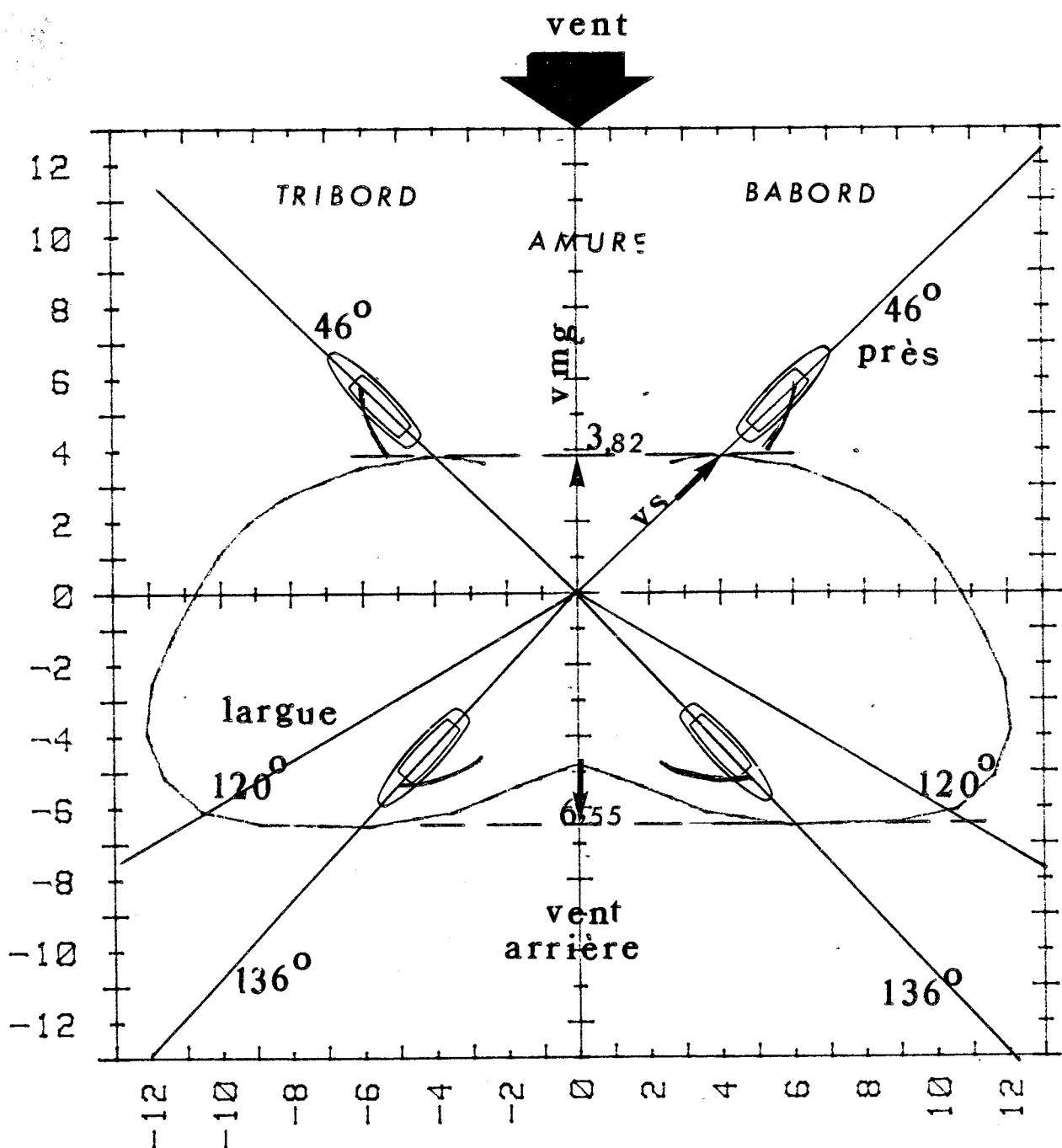
Date : 5-1-84

Ref : MODELE MATH. ENSM (Réf. J.M. Kobus - P. Marin - Curtoud)

Vitesses du vent réel

$V = 15 \text{ n}$

V_s VIT. SURFACE



POLAIRES DE VITESSE mesurées

Bateau : F177 ; Tornado
catamaran

Vitesse du vent réel

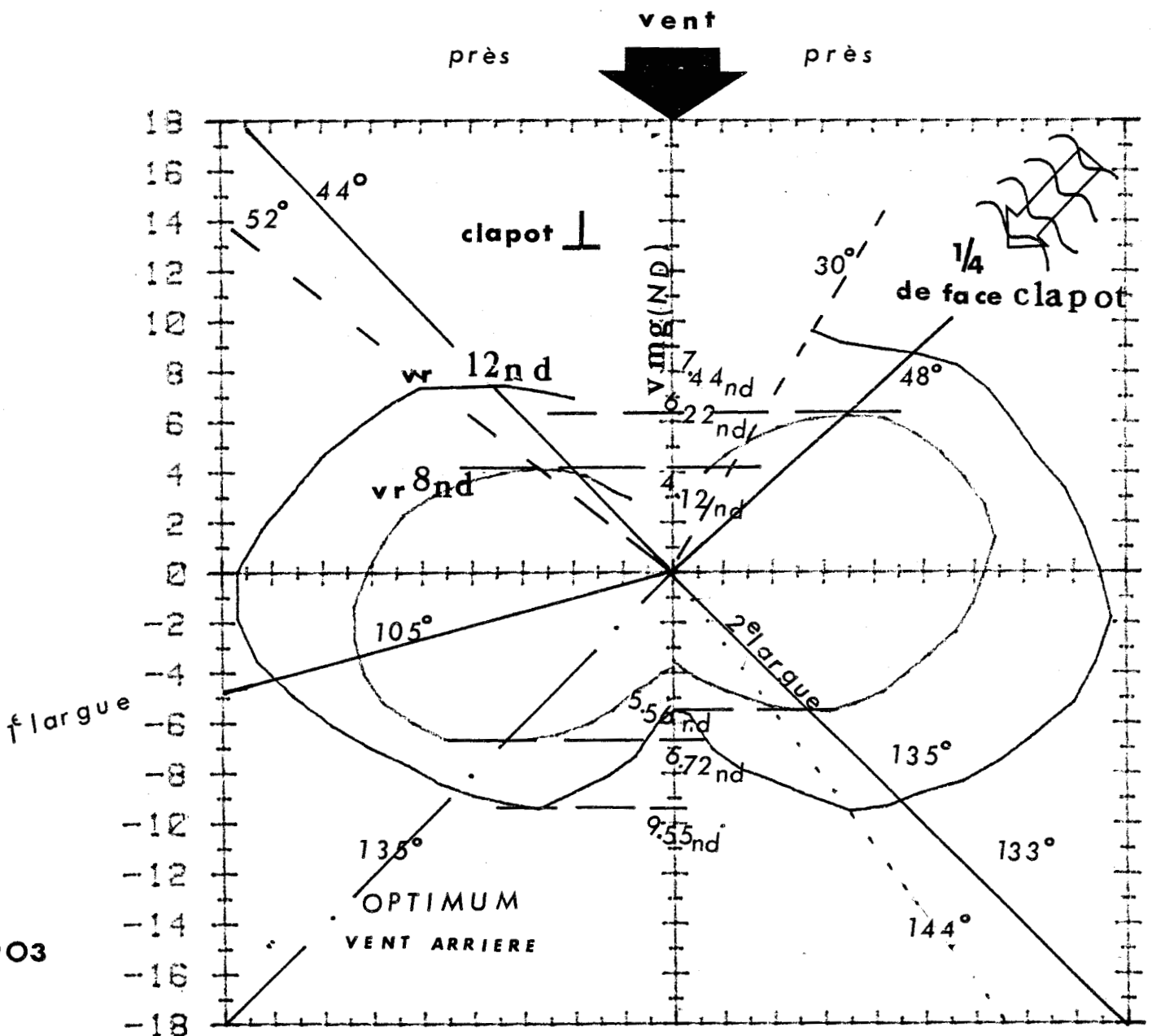
V = 8 n

V = 12 n

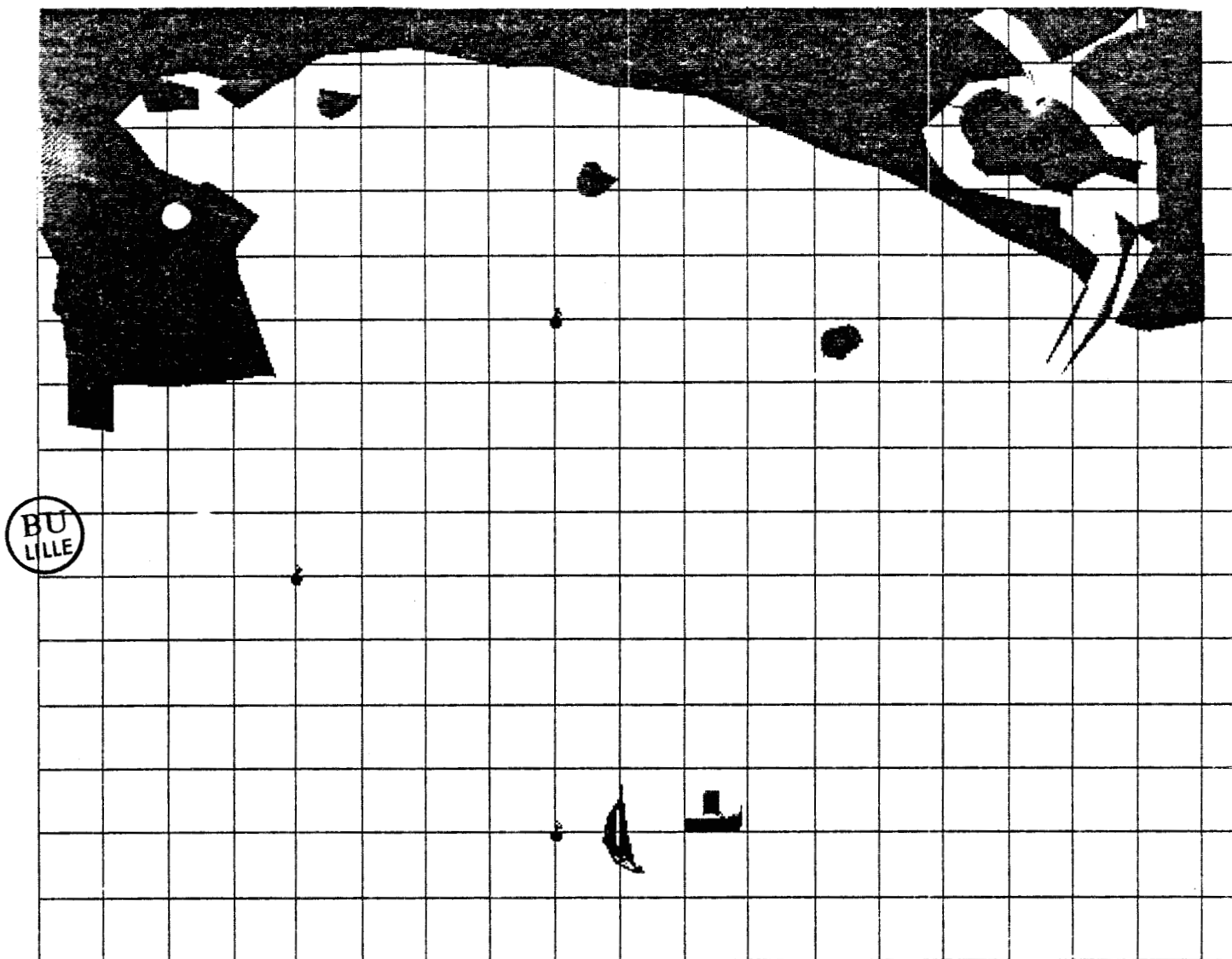
LODAY Y

vice champion du monde

LOS ANGELES 83



003



Los Angeles : Site Olympique

Grille de maillage pour conception Fichiers de vent.

A partir de cette grille, on reproduite les lignes d'écoulement de vent à l'échelle, puis on affecte à chaque carreau une valeur précise de l'Azimut et de la Vitesse du vent réel.

Les informations transmises par le visu couleur de l'ordinateur sont les suivantes :

En haut à gauche de l'écran apparaissent les chiffres suivants :

Cap du vent réel - chiffres reproduisant les fluctuations
Vitesse du vent en surface par rapport à un site
(vedette météo)

Cap du bateau suivant les consignes transmises par les
Vitesse clefs de l'ordinateur à la disposition du coureur
qui choisit de modifier son compromis cap/vitesse

Le coureur découvre donc avec son bateau, qu'il dirige, les fluctuations du vent tant en direction qu'en intensité. Il découvre le vent comme s'il régatait sur un premier près de régates sachant qu'au 2ème et 3ème bord de près, il rencontrera les mêmes conditions de vent (tout au moins dans l'état actuel du programme, mais il est toujours possible de modifier à chaque près les conditions de vent).

FOND DE CARTE ET CONSTITUTION DES FICHIERS DE VENT

Nous avons digitalisé un certain nombre de cartes marines, qui nous servent de fond de carte, pour situer le parcours par rapport aux effets de côte et aux caractéristiques du plan d'eau. Il est ainsi tout à fait possible de revivre d'une année sur l'autre les conditions de vent, rencontrées à Kiel en 81 et 82 et de se les remettre en mémoire, pourquoi pas un mois avant de s'y rendre.

Il est également possible de faire découvrir aux Jeunes coureurs Espoirs, aux Elèves de Section Sport Etudes les grands plans d'eau des compétitions internationales (Hyères par exemple) et les faire jouer très jeunes sur ces sites.

Le jeu permet d'ailleurs de s'autoperfectionner puisqu'il affiche un temps à la fin du premier près, sanctionnant la performance en le comparant au meilleur temps réalisé jusque là.

Le programme "S3" nous permet de concevoir les différents fichiers de vent à partir d'un maillage défini par l'opérateur.

Nous disposons en abscisse de 19 cm et en ordonnée de 15 cm, on peut diviser les abscisses en 9 et les ordonnées également en 9 suivant la complexité du relief et du vent à l'approche de la côte.

Le programme demande alors l'azimuth et la vitesse du vent réel dans chaque maille et l'azimuth et la vitesse du courant également dans cette surface.

On comprend dès lors qu'il est facile d'établir une "progression pédagogique" à partir d'un maillage plus ou moins sophistiqué, et à partir d'un vent stable ou perturbé par la côte.

Enfin, il permet de faire réfléchir les coureurs sur les effets de côte et les modifications tant en azimuth qu'en vitesse d'un vent soumis aux différentes rugosités du relief. Bien évidemment, on peut définir des cas très simples ^{avec} un seul type de vent stable sur tout le parcours ^{ou} on peut modifier uniquement la vitesse ~~par exemple~~.

Il est également possible de découper le plan d'eau uniquement en tranches horizontales (pour matérialiser un vent à la bouée au vent plus faible dû à la proximité de la côte et tournant à gauche).

On peut également reproduire des plans d'eau où la répartition n'est pas symétrique à droite et à gauche (Cannes par vent d'Est - Quiberon par vent de Nord etc...)

Chaque fichier de vent, porte en légende un label définissant les caractéristiques du vent synoptique.

Le Coureur se retrouve dans des conditions très proches de celles qu'il peut rencontrer.

J'ai également conçu un fichier où le coureur est confronté à une zone de courant, non seulement il s'adapte, mais il recherche par plusieurs passages, le moyen de résoudre le problème. Il apprend à faire du cap dans certaines circonstances de courant, il apprend à abattre dans d'autres circonstances. Tout ceci avec la représentation graphique immédiate de la trajectoire de son bateau et de ses performances (perte en vitesse modifications du vent apparent, courant etc...)

1 - Fichier ZVC1

ZVC1

5 vitesse en noeuds
-10 azimuten °

5
10°

5
10°

5
40°

5
45°



1er fichier ZVC1

Cas très simple de vent (bandes horizontales uniquement)
On l'utilise sur J3 pour l'entraînement

3 - Fichier ZVC3

ZVC3 10 340°	10 340°	10 340°	10 340°
13 350°	13 340°	13 350°	13 350°
15 350°	15 0°	15 0°	15 0°
15 350°	15 0°	15 0°	15 0°

3à fichier ZVC 3

. Cannes

Effets de côte

marque au vent proche de terre

vent de 10 à 15 nds

pas de courant

4 - Fichier ZVC4

ZVC4	5 10	5 10	5 10	5 10	5 10	8 20
	5 10	5 10	7 0	7 0	7 0	8 20
	5 10	5 10	7 0	7 0	7 0	8 20
	5 10	5 10	7 0	7 0	7 0	8 20
	5 10	5 10	7 0	7 0	7 0	8 20
	5 10	5 10	7 0	7 0	7 0	8 20



4è fichier ZVC4

. Cannes

Brise de terre

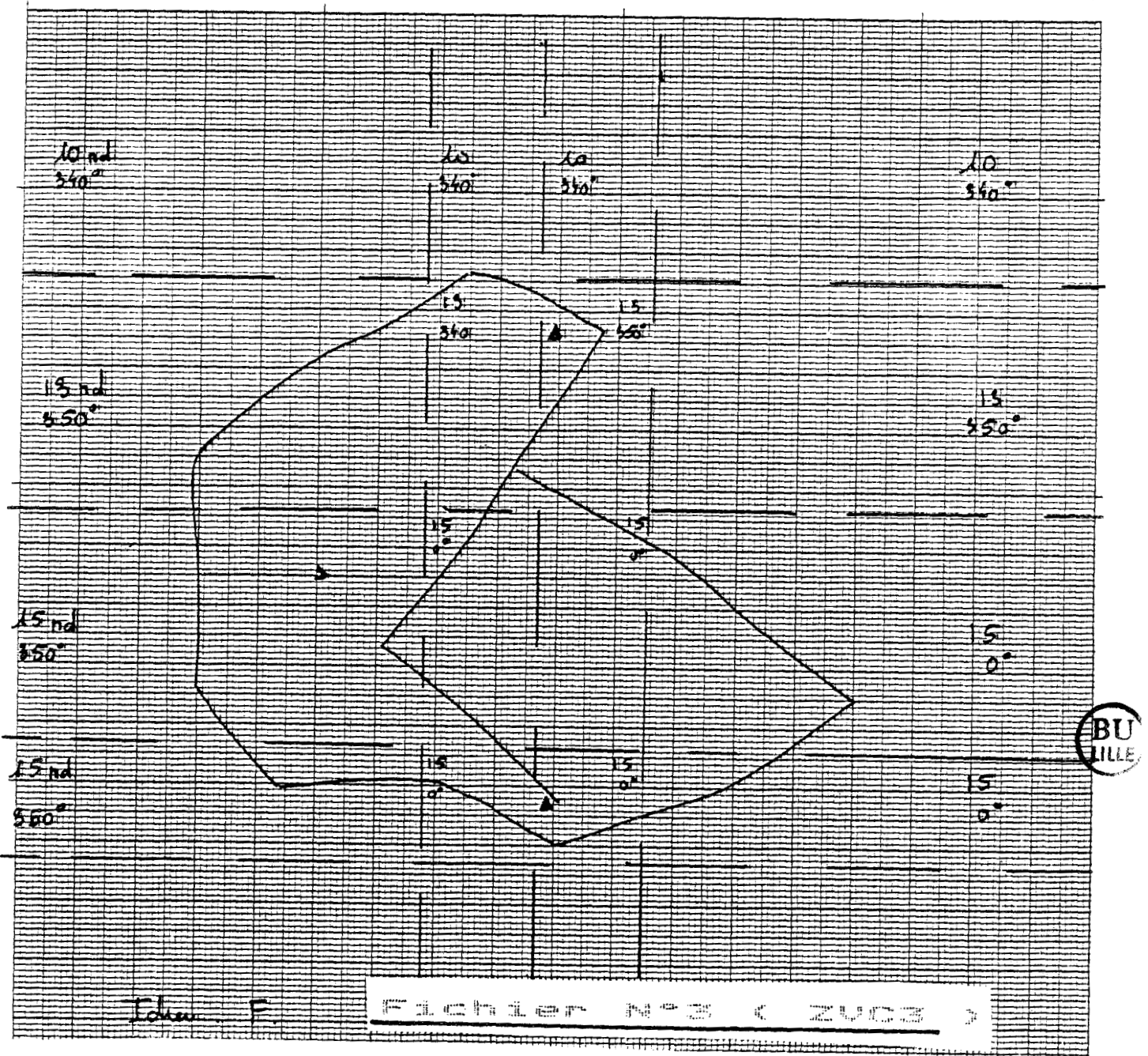
Maillage plus précis faibles modifications de vitesses de vent réel et modifications de l'azimuth du vent réel suivant la force du vent réel. (affaiblissement gauche - renforcement droit)

C) Exemple de parcours obtenu lors du stage de détection des Espoirs Nationaux à Quiberon en 1982 (Fig 5 A)

On impose un fichier de vent (le N° 3), qui correspond à Cannes à un effet de côte sur le vent dû à la proximité de la terre (pas de courant marin).

C'est le meilleur temps partiel obtenu sur ce fichier. Ce coureur limite son nombre de virement de bord et ne vire pas en présence d'un refus relatif à gauche du parcours (Vent au 350° avec un parcours mouillé au 360°).

Il faut également remarquer que la trajectoire de son bateau n'est pas rectiligne, ceci veut dire qu'il optimise à tout moment son compromis Cap/Vitesse en utilisant la clé 2° (abattée et auloffée). Il optimise seulement la marche de son bateau en fonction des conditions de vent rencontrées et de son choix tactique.



Temps partiel 34

Maillage reporté avec zones de vent

Note : le maillage plus serré dans l'axe du parcours a pour objectif de maintenir le coureur en éveil dans le but d'observer son comportement tactique

exemple de tracé obtenu sur
simulateur

fig 5_A

D) Conclusions

Ce jeu permet d'observer le degré d'adaptation du Coureur aux conditions de vent. Les meilleurs s'adaptent instantanément à un affaiblissement du vent par une abattée de 2 degrés par exemple, tandis que les moins bons ne changent rien. Dans un premier temps, ce jeu permet d'établir le niveau de pratique du sujet.

Dans un deuxième temps, il peut lui faire découvrir toutes les conditions de vent possibles avec les comportements tactiques adaptés.

C'est la phase d'apprentissage des systèmes de vent et de la navigation adaptée à ces régimes. C'est l'ordinateur-utilisateur éducatif.

Les limites de ce jeu sont évidentes. A savoir, qu'il n'y a pas d'autres bateaux en compétition pour le moment, mais nos mesures concernant le déventement des bateaux sur l'eau nous permettront prochainement d'y pallier.

Ce jeu tactique n'est donc pas uniquement un simple jeu, mais c'est aussi pour nos recherches sur le vent, un simulateur qui permet de reproduire artificiellement des tactiques de course par rapport à des conditions de vent mesurées en fonction d'un certain type de bateau.

Nous avons en 1983 à Los Angeles réalisé avec Yves LODAY, des polaires de vitesse de Tornado qui lui permettront cet hiver de régater à Quiberon, dans les conditions de Los Angeles reproduites sur l'ordinateur.

C'est un exemple concret d'utilisation de ce jeu.

N.B. : Yves LODAY : 3ème au Championnat d'Europe 1983 en Tornado
2ème au Championnat du Monde 1983 " "

Ce jeu a considérablement évolué depuis son origine, à tel point qu'aujourd'hui, en 1984, c'est un véritable "Simulateur de navigation" où nous introduisons en permanence nos mesures de terrain. C'est pour nous une aide indispensable à la compréhension des meilleures adaptations du Barreur aux différents régimes de vent et de mer qu'il peut rencontrer. Ce simulateur permet la liaison indispensable entre les recherches sur le vent et l'optimisation de la performance des bateaux introduit dans l'Ordinateur principalement sous forme de Polaires (Polaires réalisées par mer plate, mer agitée, courant, etc...)

chapitre VI

situation de cette

étude expérimentale par

rapport aux

connaissances théoriques

CHAPITRE VI : SITUATION DE CETTE ETUDE EXPERIMENTALE

PAR RAPPORT AUX CONNAISSANCES THEORIQUES

C'est devant le décalage trop important pour le Coureur entre les informations météorologiques synoptiques et les conditions de vent très particulières qui règnent sur les lieux des régates que la décision d'une telle recherche fut arrêtée.

Nous avons mesuré des phénomènes très fins, tels que les effets d'une pointe rocheuse, d'un couloir entre deux rangées d'immeubles, d'une petite île de quelques centaines de mètres de diamètre, d'un puits de pétrole en mer, d'une digue sur le vent. A partir de plusieurs milliers de fichiers représentant 150 000 mn d'enregistrement dépouillés et interprétés, nous pouvons statistiquement vérifier nos prévisions sur le vent lors des campagnes de mesures. Cette recherche avec uniquement les tout premiers résultats ne permettait pas de prévoir ultérieurement ce qui pouvait se produire sur un plan d'eau, car les programmes d'interprétation étaient insuffisants. C'est progressivement à la suite d'une étude bibliographique plus approfondie que j'ai pu vérifier statistiquement par programme les influences du changement de rugosités sur le vent et étudier de nombreux cas, très particuliers à la voile. Si certains résultats sont parfaitement connus, d'autres le sont moins, enfin quelques uns très originaux ont permis d'apporter des réponses précises à des questions posées par les Coureurs de Haut Niveau.

Vous pourrez en annexe consulter le palmarès des Equipes de France depuis plusieurs saisons dans les différentes séries ainsi que certaines autres applications directement issues des résultats de cette recherche sur le vent.

Il est donc important de comparer ces résultats par rapport à ceux des précédentes recherches sur ce domaine très particulier où le parcours du vent est modifié par le changement de rugosités mer-terre ou terre-mer.

A. généralités sur le vent

A) GENERALITES SUR LE VENT

" La complexité de l'écoulement au voisinage de la couverture végétale est telle qu'il est nécessaire d'introduire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. La difficulté consiste alors à simplifier suffisamment les problèmes pour qu'ils puissent être traités tout en conservant une bonne représentativité de la réalité " G.GUYOT

1) La troposphère

C'est la région la plus basse de l'atmosphère au contact de la surface du sol où la température décroît avec l'altitude de $0,6$ C par 100 mètres en moyenne. La limite supérieure de la troposphère est la tropopause, surface qui sépare la troposphère de la stratosphère.

Au-dessus de 1 500 m et jusqu'à la tropopause, l'influence des inégalités de la surface terrestre sur l'écoulement de l'air est très faible.

Le vent qui s'établit dans cette région ne dépend pratiquement que du gradient de pression et de la rotation terrestre.

a) Le vent géostrophique (isobares rectilignes)

Placée dans le champ de pression atmosphérique, une masse d'air élémentaire est soumise à la force due au gradient de pression : $F_p = - \frac{1}{\rho} \text{grad } P$
 ρ = masse volumique de l'air

Cette force est perpendiculaire aux isobares (surface d'égale pression) et dirigée vers les pressions décroissantes. Une particule d'air est également soumise aux effets de son propre poids par la force de gravité $\vec{\pi}$ et à la force d'inertie de Coriolis F_d .

Cette force de Coriolis est due au fait que les mouvements atmosphériques sont observés dans un repère lié à la surface du globe terrestre qui est en rotation par rapport à un référentiel absolu.

Les forces en présence sont donc :

- la Force de Coriolis due à la rotation de la terre (F_d)
- celle du gradient de Pression (F_p)

Cette force de Coriolis est normale au Vecteur Vitesse et elle s'exerce à droite de celui-ci dans l'hémisphère Nord.

En régime stationnaire, il y a équilibre entre la force de pression et la force de Coriolis.

$$\text{module de la Force de Coriolis } F_d = 2\omega V_g \sin \Phi \quad (1)$$

ω = vitesse de rotation angulaire de la terre

Φ = latitude du lieu

V_g = Vitesse d'une masse unitaire

module de la Force de gradient de pression

$$F_p = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dn} \quad (2)$$

ρ = Masse volumique de l'air

$\frac{dp}{dn}$ = Gradient de pression selon la normale de l'isobare

n = Vecteur unitaire normal à l'isobare

L'écriture de l'Etat d'équilibre entre ces deux forces permet d'en déduire la Vitesse du vent dit géostrophique

$$V_g = \frac{1}{2\omega\rho \sin \Phi} \cdot \frac{dp}{dn} \quad (3)$$

La direction du vecteur Vitesse \vec{V}_g est donnée par la loi de Buys-Ballot : Dans le plan horizontal, la vitesse de l'air est tangente aux isobares et de sens tel que la Pression soit croissante vers sa droite dans l'hémisphère Nord et vers sa gauche dans l'hémisphère Sud.

L'écoulement autour d'un Centre de basse pression est dit cyclonique.

Ce vent géostrophique représente avec une assez bonne approximation, le mouvement de l'air observé dans l'atmosphère libre (altitude supérieure à 1 500 m), les masses d'air se déplaçant parallèlement aux isobares (voir Fig.4)

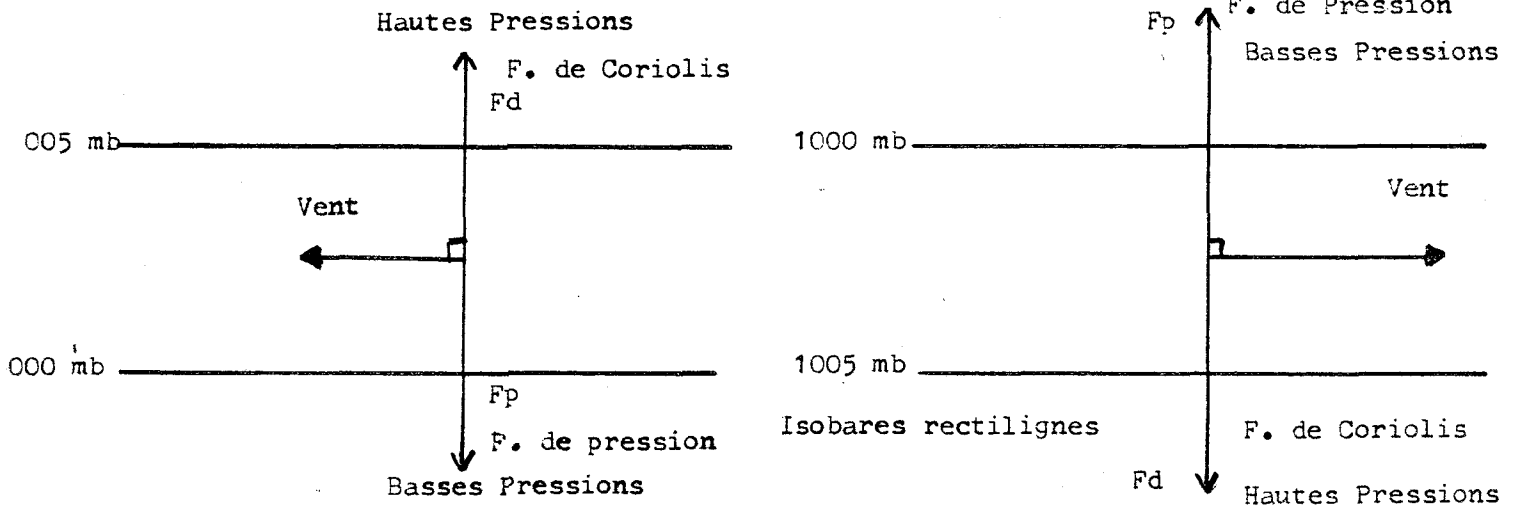


FIGURE 4 : VENT GEOSTROPHIQUE
Hémisphère Nord

Mouvement de l'air
dans l'atmosphère libre

b) Vent du gradient (voir Figure 5)

Il faut tenir compte du fait que les isobares ne sont pas des droites parallèles mais des courbes fermées autour des zones de basses pressions (Zones cycloniques) ou des zones de hautes pressions (anticycloniques).

Les masses d'air en tournant autour des dépressions ou des anticyclones sont donc soumises en plus à la force centrifuge dont il faut tenir compte dans l'équilibre des Forces qui s'écrit alors :

Force de Coriolis + Force centrifuge = Force du Gradient
de Pression

$$\varepsilon \cdot 2 V \omega \sin \Phi + \frac{V^2}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dn} \tag{4}$$

r = rayon de courbure du flux

$\varepsilon = + 1$ pour une courbure cyclonique

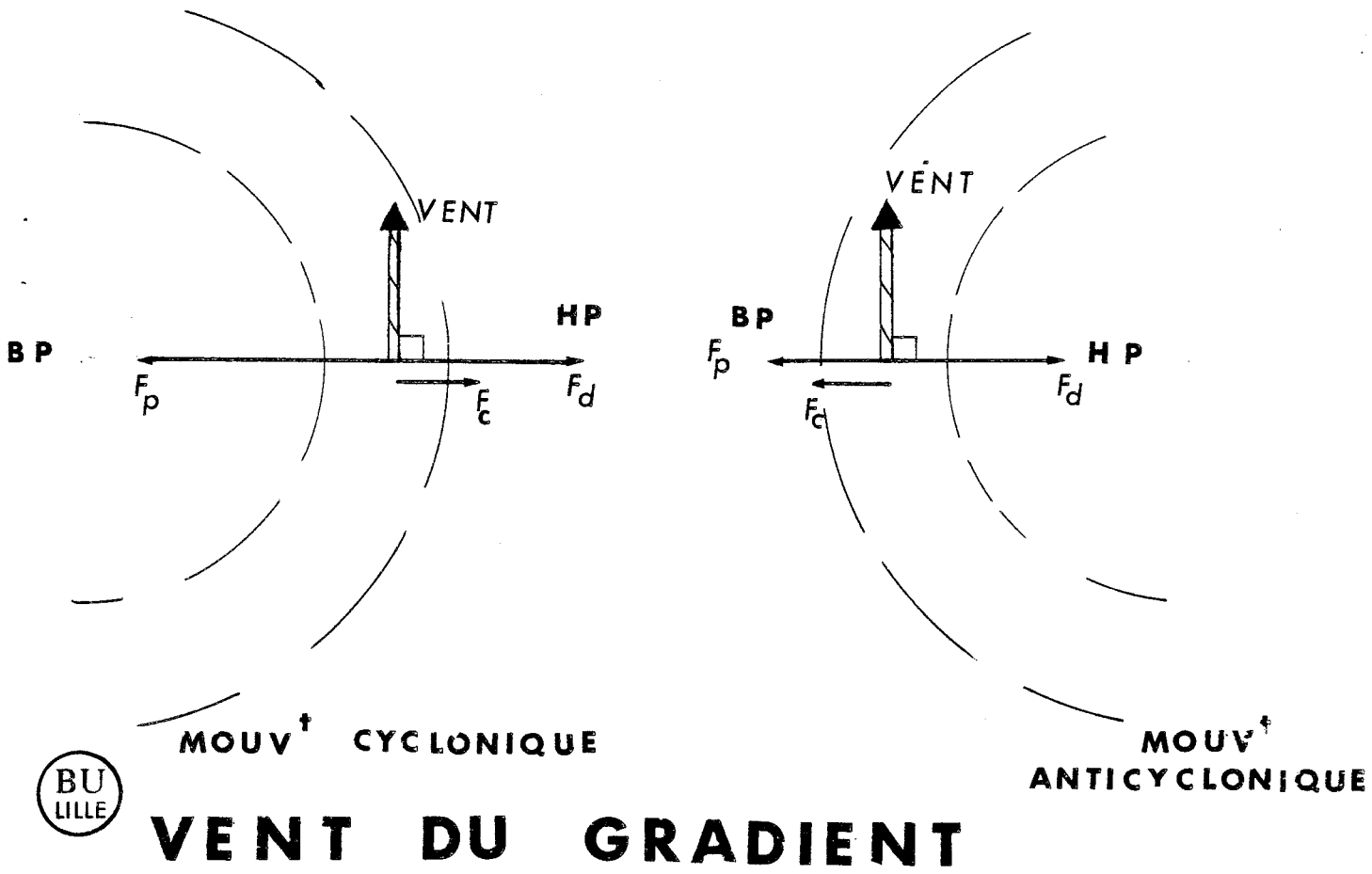
$\varepsilon = - 1$ pour une courbure anticyclonique

La vitesse du vent V se déduit alors de la résolution de l'équation du Second degré (4)

$$V = \left(-\varepsilon \omega \sin \Phi \pm \sqrt{\omega^2 \sin^2 \Phi + \frac{1}{\rho r} \frac{dp}{dn}} \right) r \tag{5}$$

Conclusion

Le vent géostrophique n'est qu'une approximation grossière du vent réel et le vent de gradient correspond à une solution plus proche de la réalité.



VENT DU GRADIENT

FIG 5

F_c FORCE CENTRIFUGE

L'un et l'autre ne sont valables que pour l'atmosphère libre, là où l'influence du frottement de l'air sur la surface du sol est négligeable.

2) La Couche limite planétaire

La Couche limite planétaire est presque celle qui nous concerne :

a) Influence du sol

On appelle couche limite planétaire la couche limite d'air qui s'étend de la surface du sol jusqu'à une altitude où l'on peut considérer que l'on est en atmosphère libre (1 500 m environ) et où la formule (5) peut s'appliquer.

b) Déflexion du vent due au frottement sur le sol

Le frottement du vent sur le sol engendre une force proportionnelle à sa vitesse et de direction opposée. La figure (6) montre l'équilibre de cette force avec les forces de Coriolis, de gradient et centrifuge précédemment introduites.

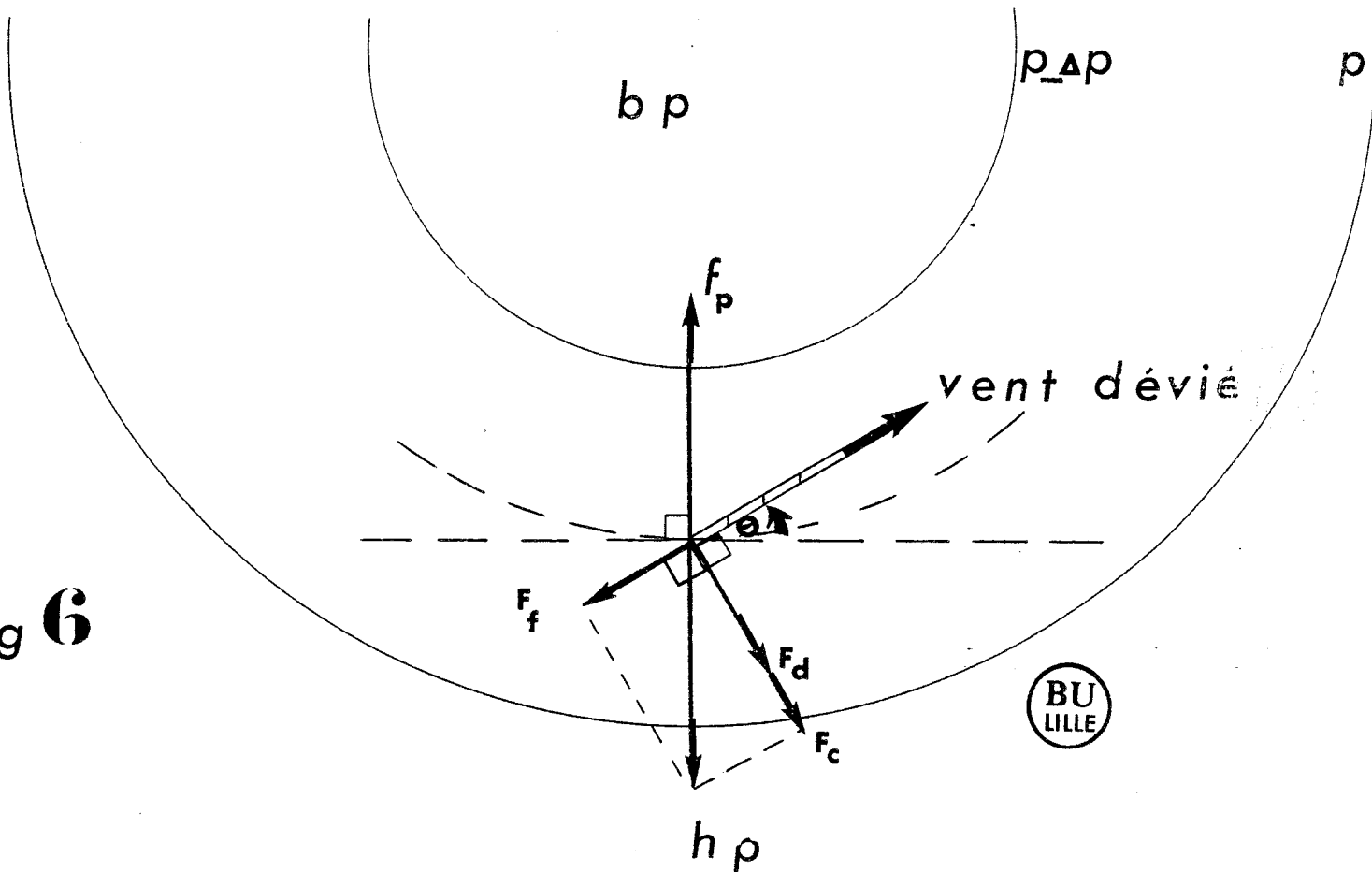


fig 6

une dépression

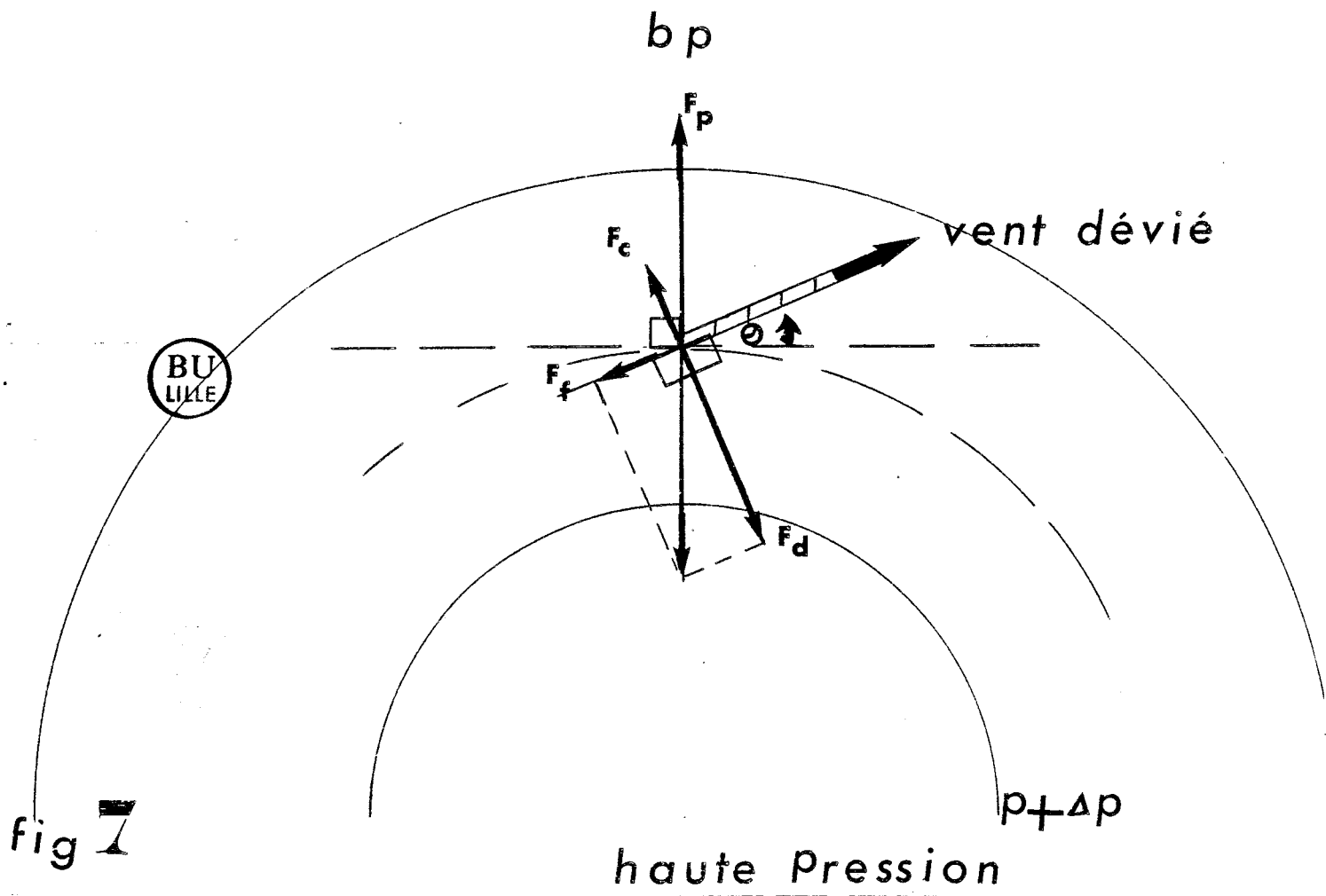
- F_p f de pression
- F_d f de coriolis
- F_c f centrifuge
- F_f f de frottement

le vent dans la couche de frottement

On voit que l'équilibre des forces impose maintenant au vent de faire un angle θ avec les isobares : le vent pénètre alors dans les zones de dépression.

La figure (7) se rapporte au cas où le vent tourne autour d'une zone de haute pression. Il en résulte que le vent a tendance à traverser les isobares vers l'extérieur de la courbure.

A l'approche du sol, la force de frottement fait décroître la vitesse du vent (cf FIG 7)



- F_p f de pression
- F_d f de coriolis
- F_c f centrifuge
- F_f f de frottement

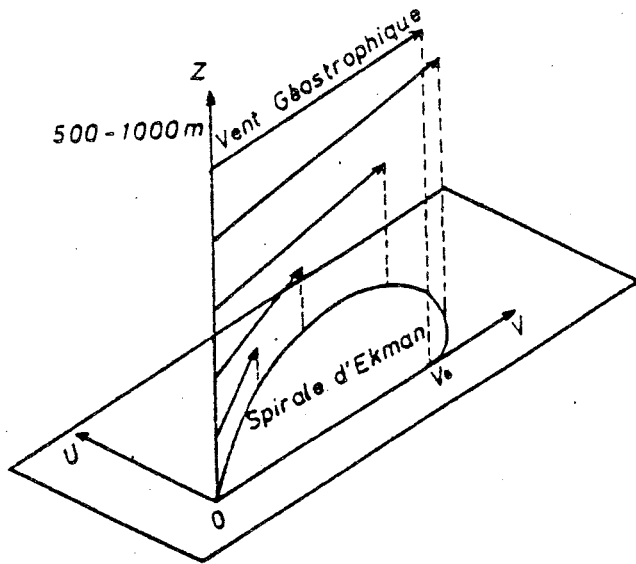
le vent dans la couche de frottement

c) Variation de la direction avec l'altitude :
spirale d'Ekman

Le freinage de l'air par la rugosité du sol est dû aux turbulences que cette rugosité engendre.

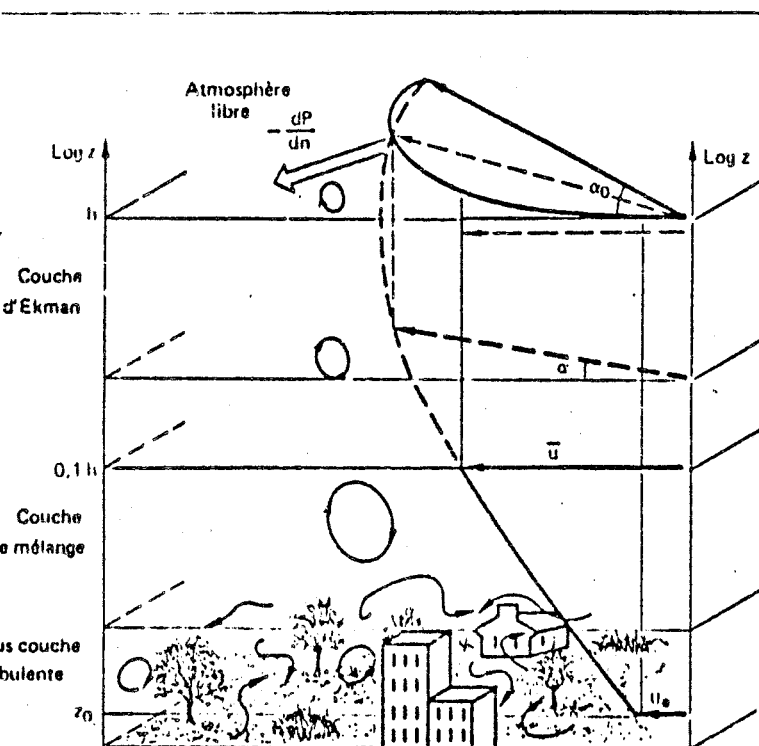
L'importance de ces turbulences diminue évidemment lorsque l'on s'élève en altitude. Au-delà d'une hauteur comprise entre 500 et 1 000 m l'effet de freinage par la rugosité du sol devient négligeable et la direction et la vitesse du vent deviennent identiques à celles du vent du gradient défini par les formules (4).

Si l'on trace en fonction de l'altitude des vecteurs indiquant la vitesse et la direction du vent on obtient les figures 8 et 8 bis appelées spirales d'Ekman.



- Représentation schématique de la variation du vecteur vent avec l'altitude dans l'hémisphère Nord. Le vent géostrophique est atteint entre 500 et 1000 [m] dans les moyennes et hautes latitudes lorsque le freinage dû au frottement sur le sol devient négligeable.

fig 8



Structure de la couche limite atmosphérique et profil vertical de la vitesse du vent

fig 8 bis

3) Écoulement de l'air près de la surface du sol sur un site plat et homogène

a) Longueur de rugosité Z_0

Au voisinage immédiat du sol, l'écoulement est essentiellement formé par les mouvements turbulents inhomogènes de l'air liés aux caractéristiques de l'environnement proche et en particulier à la forme et à la disposition des obstacles placés sur le sol. L'épaisseur de cette sous-couche est caractérisée par une échelle de longueur déterminée expérimentalement et appelée "longueur de rugosité Z_0 "

Z_0 = Longueur ou paramètre de rugosité
 Z_0 n'a pas de sens physique, c'est une constante d'intégration qui exprime de façon macroscopique l'effet de rugosité de surface.

b) Loi de variation de la vitesse du vent

Formule logarithmique de Prandtl

L'enregistrement de la vitesse du vent montre que le vent peut être considéré comme la superposition d'une vitesse moyenne et d'une vitesse fluctuante.

La vitesse instantanée $V(Z,t)$ de l'air à une altitude Z en fonction du temps (t) peut être moyennée par un opérateur de la forme

$$(6) \quad \bar{V}(z) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0 + T} V(z,t) dt \quad (6)$$

$\bar{V}(z)$ = Vitesse moyenne du vent à l'altitude Z

T = est le temps de moyenne choisi pour avoir des valeurs stables indépendantes de t_0 à l'échelle de l'heure

T = est généralement égal à 10 mn dans les stations météorologiques.

On montre que la variation de la vitesse moyenne du vent $\bar{V}(z)$ avec la hauteur Z au-dessus d'un sol plat et homogène caractérisé par un paramètre de rugosité Z_0 peut s'écrire :

Loi logarithmique de Prandtl (7) $\bar{V}(z) = \frac{1}{k} U^* \text{Log} \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$ (7)

où U^* est une vitesse appelée Vitesse de frottement ou Vitesse moyenne du vent au voisinage du sol.

k est la constante de Von Karman dont la valeur numérique est voisine de 0,40.

Cette formule suppose que le flux de la quantité de mouvement est constant dans toute la couche limite.

La formule (7) possède l'inconvénient de donner $\overline{V}(z) = 0$ lorsque $Z = Z_0$ ce qui est manifestement faux. La formule de Prandtl (7) ne constitue donc qu'une approximation valable seulement au-dessus d'une altitude Z^* . Pratiquement on admet que $Z^* \approx 2h$ (h étant la hauteur de la sous-couche turbulente où se situent les obstacles qui forment la rugosité).

Une surface très rugueuse (grand Z_0) crée une turbulence importante qui freine l'écoulement moyen. Pour un même vent en altitude et à une même hauteur au-dessus du sol, la vitesse moyenne sera d'autant plus faible que la rugosité du site sera plus importante, c'est à dire que les obstacles disposés sur la surface du sol (haies, arbres, maisons ...) seront plus hauts et plus nombreux. Le paramètre Z_0 est représentatif d'une surface où les obstacles sont relativement homogènes.

Si h est la hauteur moyenne des éléments constituant la rugosité, les résultats expérimentaux montrent, en supposant une occupation de la surface du sol par les obstacles de l'ordre de 10 à 20 % que $Z_0 \approx 0,15h$ (5) Ordres de grandeur : Le tableau 1 donne les ordres de grandeur de h et de Z_0 et de Z^* pour plusieurs sites caractéristiques. Nous voyons qu'au dessus d'un plan d'eau la formule de Prandtl est parfaitement utilisable pour un voilier.

TABLEAU 1

<u>Sites caractéristiques</u>	<u>Longueurs caractéristiques</u>		
	h	Z_0	Z^*
mer	0,05 cm à 5 cm	0,01 à 1 cm	$\gg 0,5$ m
aéroports, rase campagne	7 à 70 cm	1 à 10 cm	$\gg 2$ m
bocage, banlieues	70 cm à 3,3 m	10 à 50 cm	$\gg 10$ m
Zônes urbaines	3,3 m à 10 m	0,5m à 1,5 m	$\gg 30$ m
Très grandes villes	10 m à 16,7 m	1,5 m à 2,5m	$\gg 50$ m

Sur un plan d'eau les seuls obstacles sont les vagues dont la hauteur moyenne peut aller de 10 cm à 80 cm en fonction de la force du vent (Nous excluons les forces de vent au-delà desquelles les régates seraient annulées).

La Formule (7) s'applique à un voilier dont le centre de voilure est à une hauteur au-dessus de l'eau supérieure à 2 m.

Remarque : La déformation de l'écoulement du vent par la houle n'est pas prise en compte par la formule (7).

4) Structure du vent près du sol sur les sites complexes

On entend par site complexe un terrain qui comprend des régions de rugosités très inégales. Le meilleur exemple en est un plan d'eau situé en bordure d'une côte sur laquelle est implantée une zone urbaine, ce qui est assez souvent le cas de plans d'eau où se courent des régates (par exemple La Baule, Cannes ...). En remplaçant la zone urbaine par une forêt ou une zone montagneuse on obtient d'autres exemples de sites complexes caractérisés par un changement brutal de rugosité entre deux zones adjacentes.

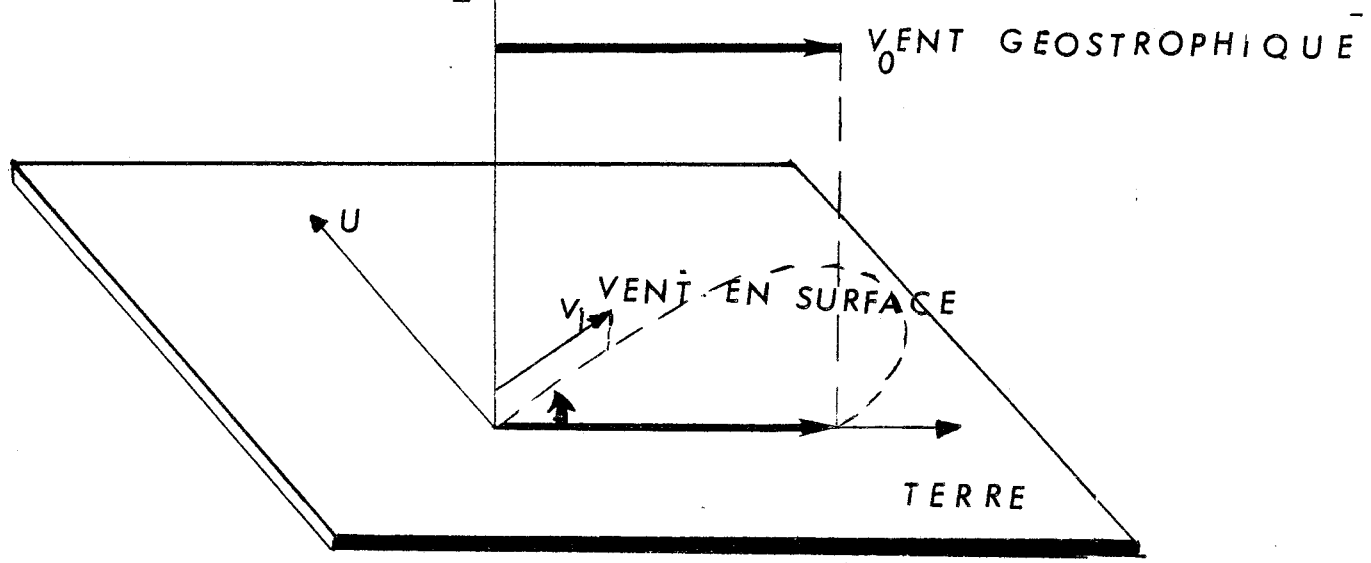
Les Causes principales de déviations des écoulements de vent à la frontière mer-terre

On peut dissocier deux types de causes engendrant une modification en direction des écoulements à la limite mer-terre :

a) les causes thermiques

Ce sont essentiellement celles liées aux différences de températures entre les deux surfaces d'échanges que sont la terre et l'eau qui créent un système de haute et de basse pressions (H.P. et B.P.).

L'exemple le plus connu est celui fourni par les brises thermiques, mais il en existe d'autres.



COMPARAISON ENTRE LE VENT GEOSTROPHIQUE ET LE VENT
DANS LA COUCHE LIMITE DE SURFACE AU-DESSUS DE LA TERRE

- Z ALTITUDE
- V_0 VENT SYNOPTIQUE
- V_1 VENT SUR TERRE
- V_2 VENT SUR MER

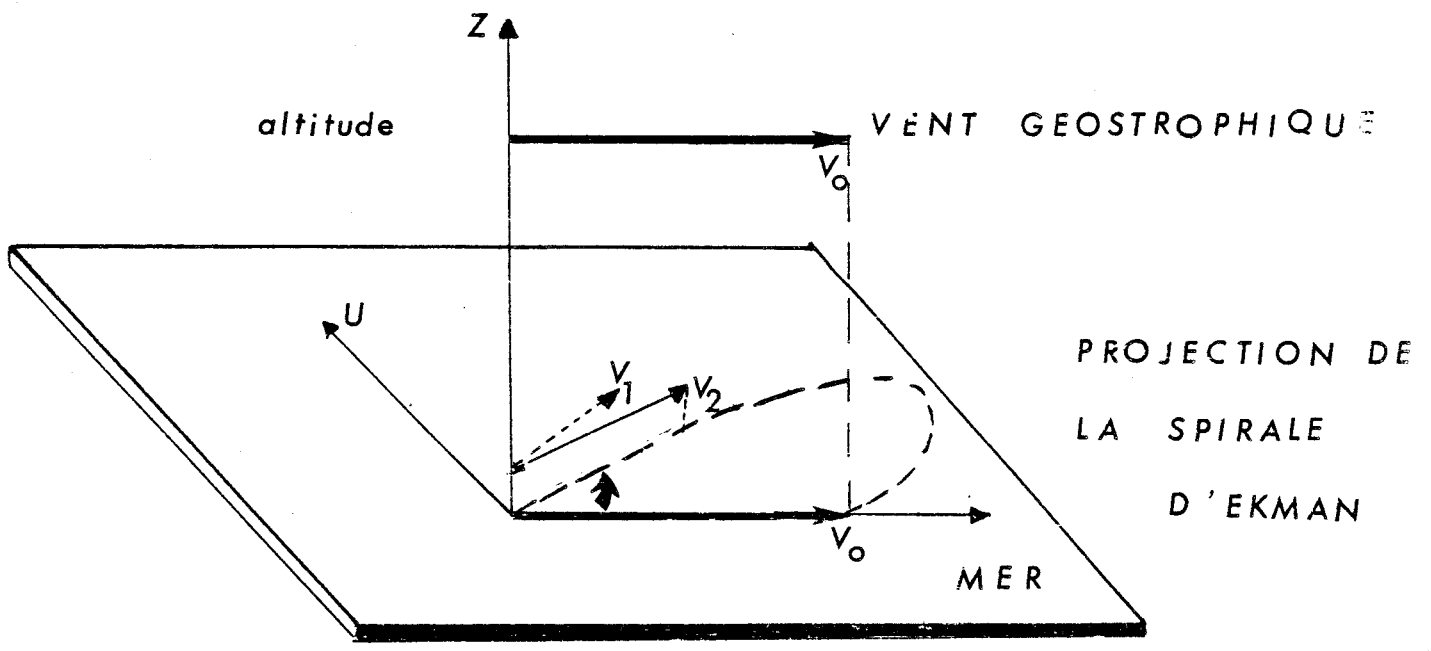


FIG 9

COMPARAISON ENTRE LE VENT GEOSTROPHIQUE ET LE VENT
DANS LA COUCHE LIMITE DE SURFACE AU-DESSUS DE LA MER
(LE VENT FAIT UN ANGLE DIFFERENT PAR RAPPORT AU VENT
GEOSTROPHIQUE SUIVANT QUE L'ECOULEMENT PASSE AU-DESSUS
DE LA MER (VECTEUR V_2) OU AU DESSUS DE LA TERRE (VECTEUR V_1)

b) Les causes dynamiques1) le changement de rugosités (Fig 9)

La mer et la terre n'ayant pas le même Z_0 (facteur ou longueur de rugosités), les écoulements du vent sont sur ces deux surfaces plus ou moins déviés. Le frottement sur terre est élevé : le vent est donc dévié plus à gauche que sur la mer où le frottement est plus faible, par rapport au même vent géostrophique (vent d'altitude).

2) l'effet du relief

Le vent modifie le champ de pression au voisinage de la frontière mer-terre, à cause des dimensions verticales du relief plus élevées sur terre que sur mer (sauf dans quelques cas particuliers). Il se crée une zone de Haute Pression et de Basse Pression suivant le sens de l'écoulement.

Dans un premier temps, étudions les causes dynamiques :

A:) Causes dynamiques (figure 9)1) le changement de rugosités

Le passage d'une zone urbaine à un plan d'eau, ou d'une plaine à un bois, etc... modifie essentiellement les deux paramètres U^* et Z_0 de la formule logarithmique (N°7)

On caractérise par le paramètre M la nature du changement de rugosités

$$M = \text{Log} \left(\frac{Z_{01}}{Z_{02}} \right) \quad \text{Formule(8)}$$

Z_{01} = Longueur de rugosité de la surface parcourue par l'écoulement du vent en amont

Z_{02} = Longueur de rugosité de la surface parcourue par l'écoulement du vent en aval

Lorsque $M > 0$, l'écoulement passe d'une zone fortement rugueuse à une zone où la rugosité est plus faible (Fig 10). C'est le cas du passage d'un écoulement de la terre vers la mer.

La couche limite interne se crée par un excès de dissipation de l'énergie cinétique turbulente près de la surface qui est limitée par la diffusion verticale vers le soi de l'énergie cinétique turbulente des couches supérieures.

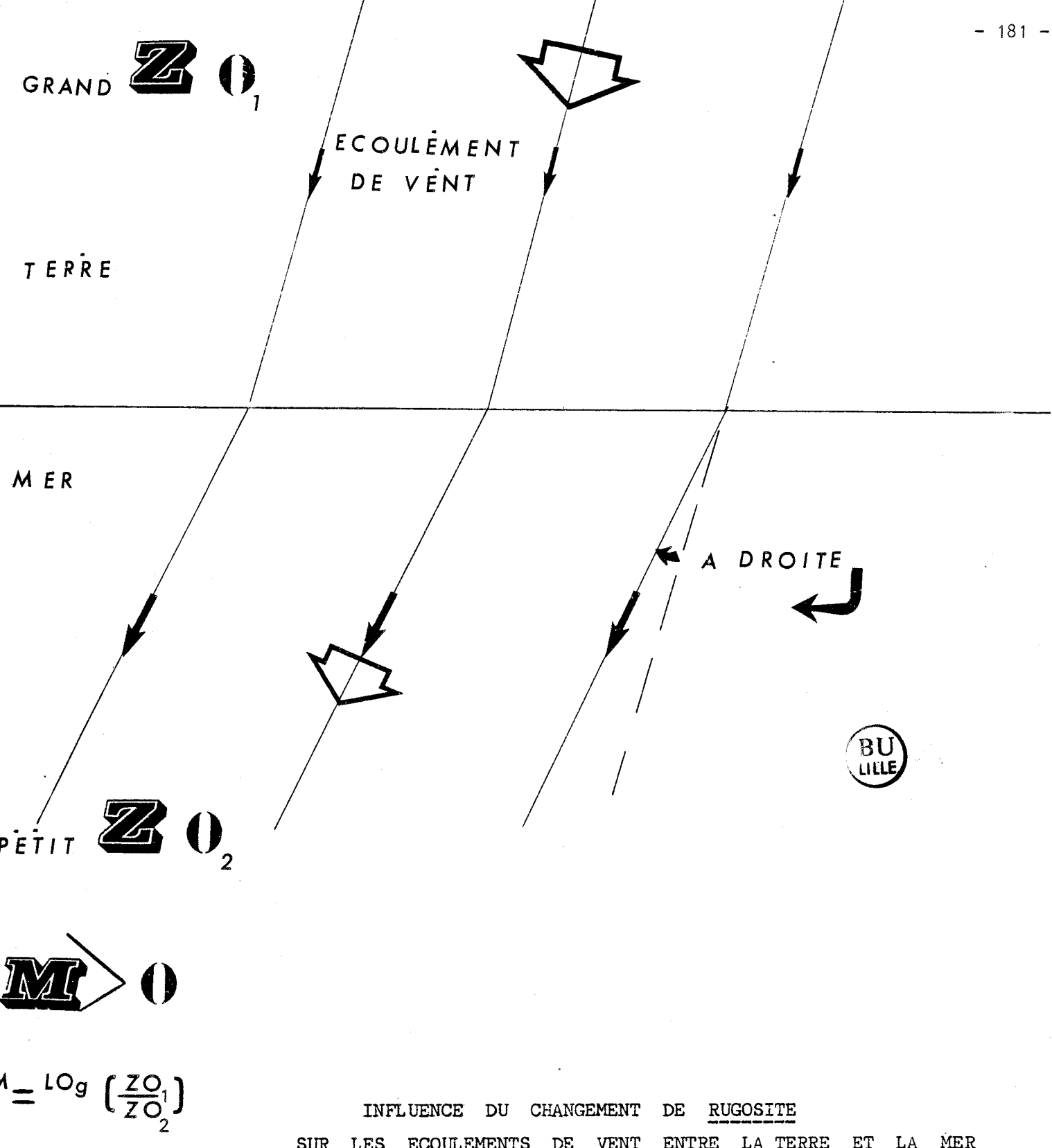


FIG 10

VENT DE TERRE VERS LA MER

Au niveau des déviations des écoulements de vent, le vent moins freiné par la rugosité de la mer tourne légèrement à droite au-dessus de la mer, Z_01 (terre) étant supérieur à Z_02 (mer)

Lorsque $M < 0$ (Fig. 11) l'écoulement franchit la discontinuité en sens inverse (de la mer vers la terre). La couche limite interne se développe par un excès de production d'énergie cinétique turbulente près de la surface qui est diffusé jusqu'au sommet de la couche limite.

Au niveau des écoulements, le vent plus freiné par la rugosité sur la terre est légèrement dévié sur la gauche par rapport au vent au-dessus de la mer.

Z_01 (mer) étant inférieur à Z_02 (terre)

2) Les effets du relief

a) direction de l'écoulement mer vers terre (Fig. 12)

A cause de la différence de relief entre la terre (zone urbaine, colline...) et la mer, sur l'écoulement du vent, il se crée un champ de pression sur une bande frontière de quelques dixièmes de milles. Au vent de la côte, sur la mer, il se crée une zone de haute pression qui engendre une déviation du vent à droite.

Cette zone correspond à l'effet de côte bien connu des régatiers.

Au contraire, au-dessus d'une bande frontière sur terre se crée une zone de basse pression associée à une légère déviation à gauche du vent.

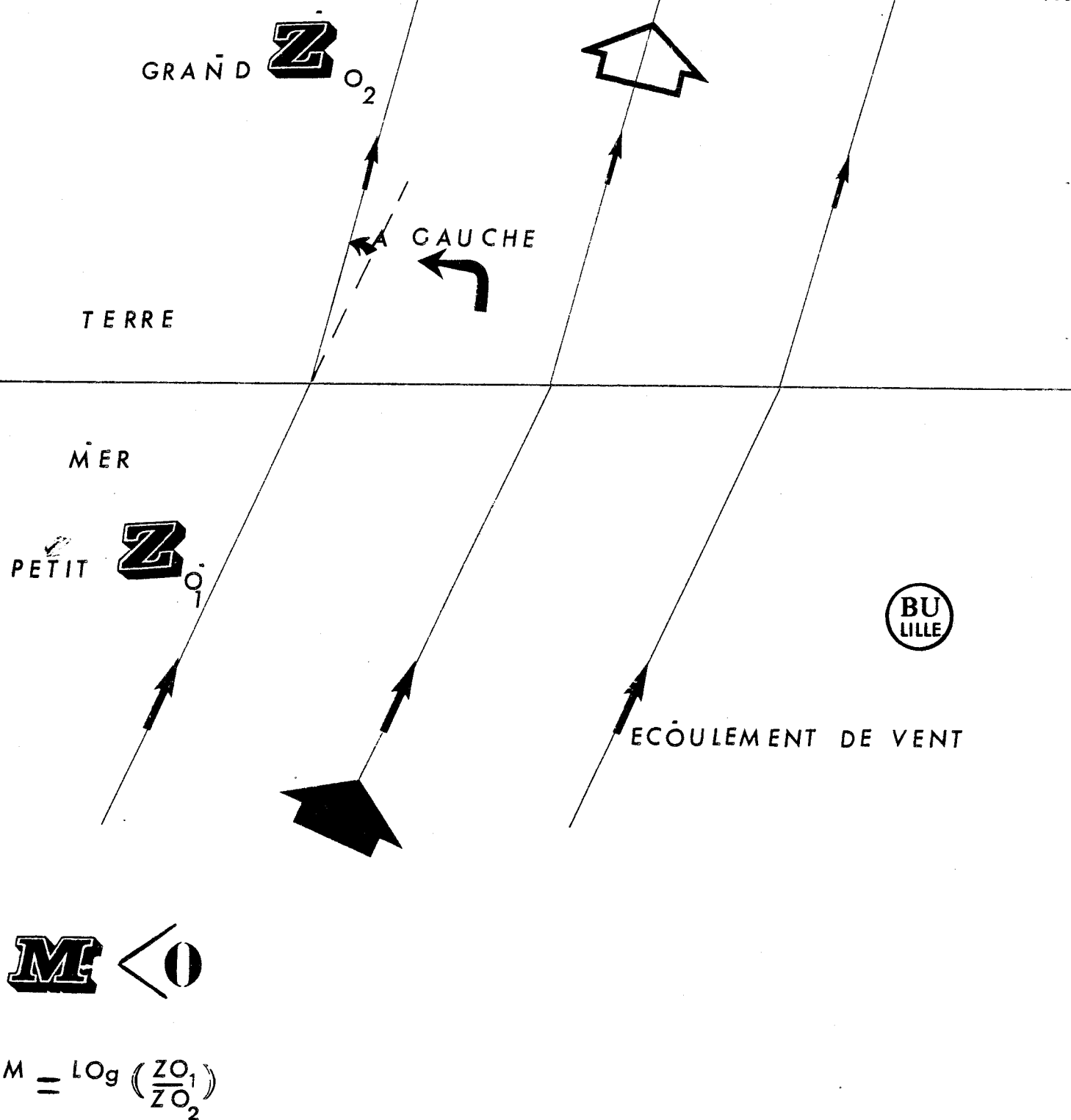
Plus le relief est fort ou plus le module du vent est élevé, plus ce champ de pression est important (formule 3)

Plus la différence de relief entre la terre et la mer est importante, plus le champ de pression sera élevé.

D'autre part, plus la vitesse du vent sera élevée, plus la déviation du vent sera importante.

b) Direction de l'écoulement terre vers mer (Fig. 13)

Pour les mêmes raisons que précédemment, il se crée un champ de pression dans une bande frontière de quelques dixièmes de

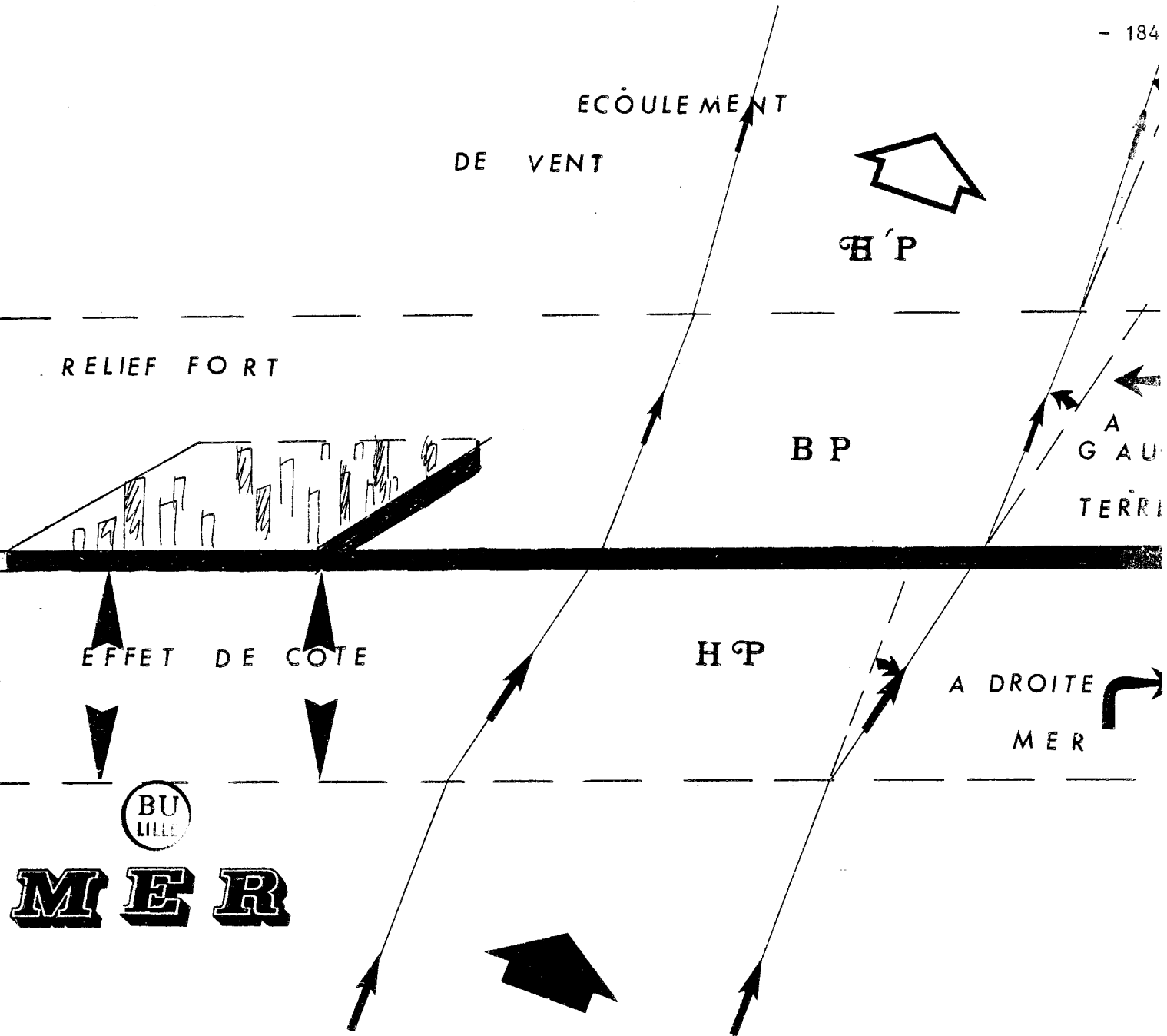


EFFETS DYNAMIQUES

INFLUENCE DU CHANGEMENT DE RUGOSITES
SUR LES ECOULEMENTS DE VENT ENTRE LA MER ET LA TERRE

FIG 11

VENT DE MER VERS LA TERRE



INFLUENCE DE LA DIFFERENCE DE RELIEF
ENTRE LA MER ET LA TERRE SUR L' ECOULEMENT DU VENT

FIG 12

VENT DE MER VERS LA TERRE

milles de part et d'autre de la ligne de changement de relief.

Une zone de haute pression (HP) entraîne au vent de la ligne de changement de relief, au-dessus de la terre, une déviation du vent vers la droite.

Au-dessus de la mer se crée une zone de Basse Pression (BP) entraînant une déviation sur la gauche des écoulements de vent.

A l'intérieur d'une bande frontière de quelques dixièmes de milles, cette déviation du vent intéresse les régatiers qui peuvent bénéficier d'un meilleur cap en babord amure. C'est ce que le régatier appelle un effet de côte.

B) Synthèse des causes dynamiques (Fig. 14 et Fig. 15)

Les écoulements de vent sont donc soumis aux deux phénomènes combinés de changement de rugosité et de changement de relief.

Dans le sens mer vers terre (Fig. 14), le vent synoptique est dévié sur la gauche par le frottement sur la mer (spirale d'Ekman). Cet écoulement subit ensuite une déviatiion à droite à l'approche de la côte, puis une déviatiion à gauche au-dessus de la terre sur une bande frontière limitée.

Enfin le vent à parcours d'origine maritime, subit une déviation sur la gauche à l'intérieur des terres, à cause de la différence de rugosités entre la mer et la terre.

En résumé, le vent fait un S caractéristique de la succession des déviations de l'azimuth de vent à la limite mer - terre.

Dans le sens terre vers mer (Fig. 15), le vent synoptique est dévié à gauche sur la terre beaucoup plus que sur la mer (différence de Z_0).

Les écoulements subissent ensuite une déviation à droite (Zone de HP), puis une déviation à gauche (Zone de BP) au-dessus de la mer, puis reviennent légèrement à droite lorsque l'effet de côte ne joue plus son rôle (au-delà de quelques dixièmes de milles.)

Remarque :

Il se peut que les valeurs de Z_0 entre la terre et la mer soient inversées, notamment quand une mer agitée par la houle et des creux importants rencontre une côte plate sans aucun relief. Dans ce cas précis Z_{01} est supérieur à Z_{02} (terre) et M est > 0 (Fig. 10). Le vent est dévié à droite au-dessus de la terre c'est à dire que la mer sous l'effet de la vitesse du vent voit son coefficient de rugosité augmenté (grand Z_0). Le vent est alors plus à gauche qu'en altitude, parce qu'il est plus soumis à la rugosité de la mer.

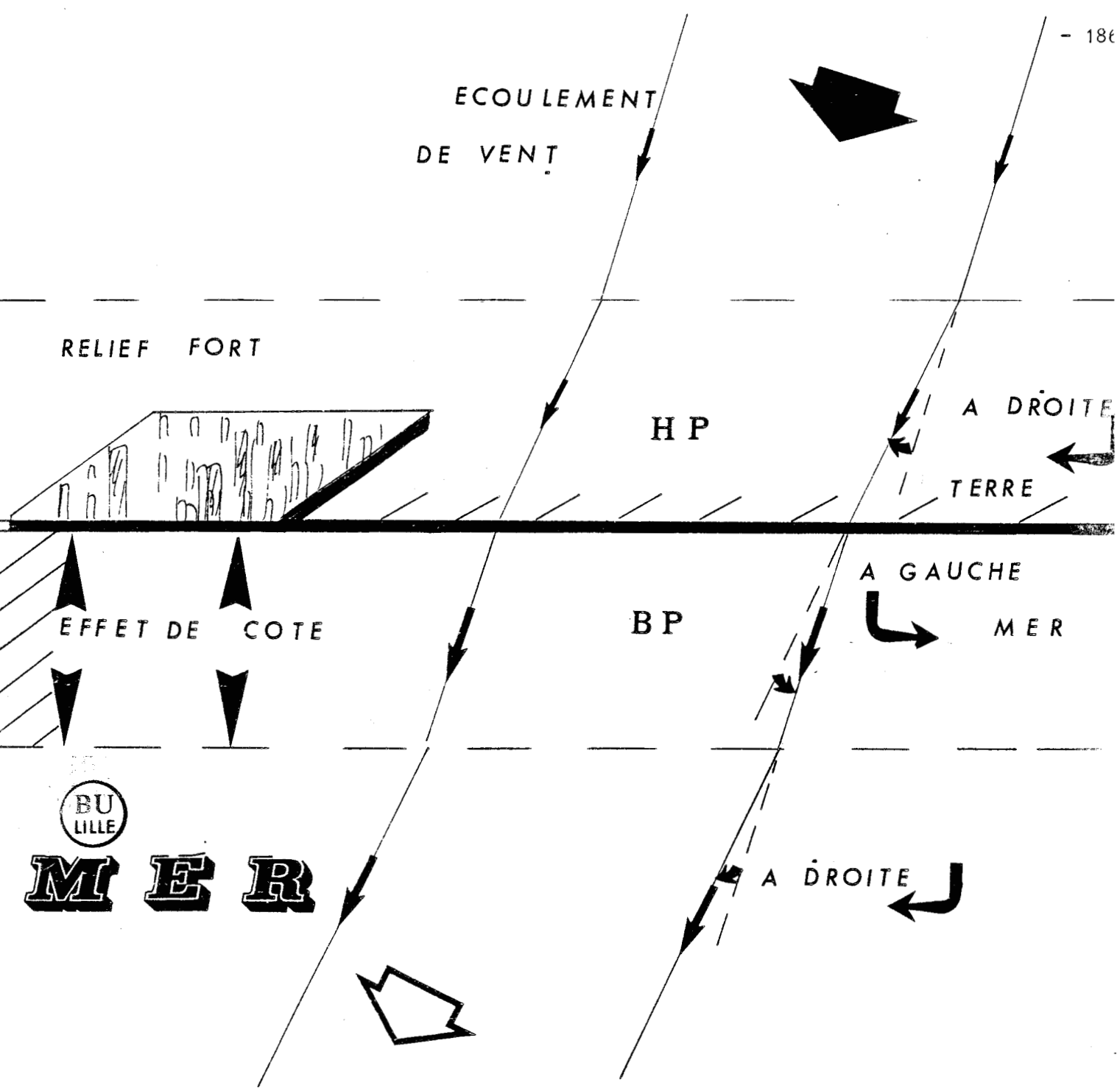


FIG 13

INFLUENCE DE LA DIFFERENCE DE RELIEF
ENTRE LA TERRE ET LA MER SUR LES ECOULEMENTS DU VENT

VENT DE TERRE VERS LA MER

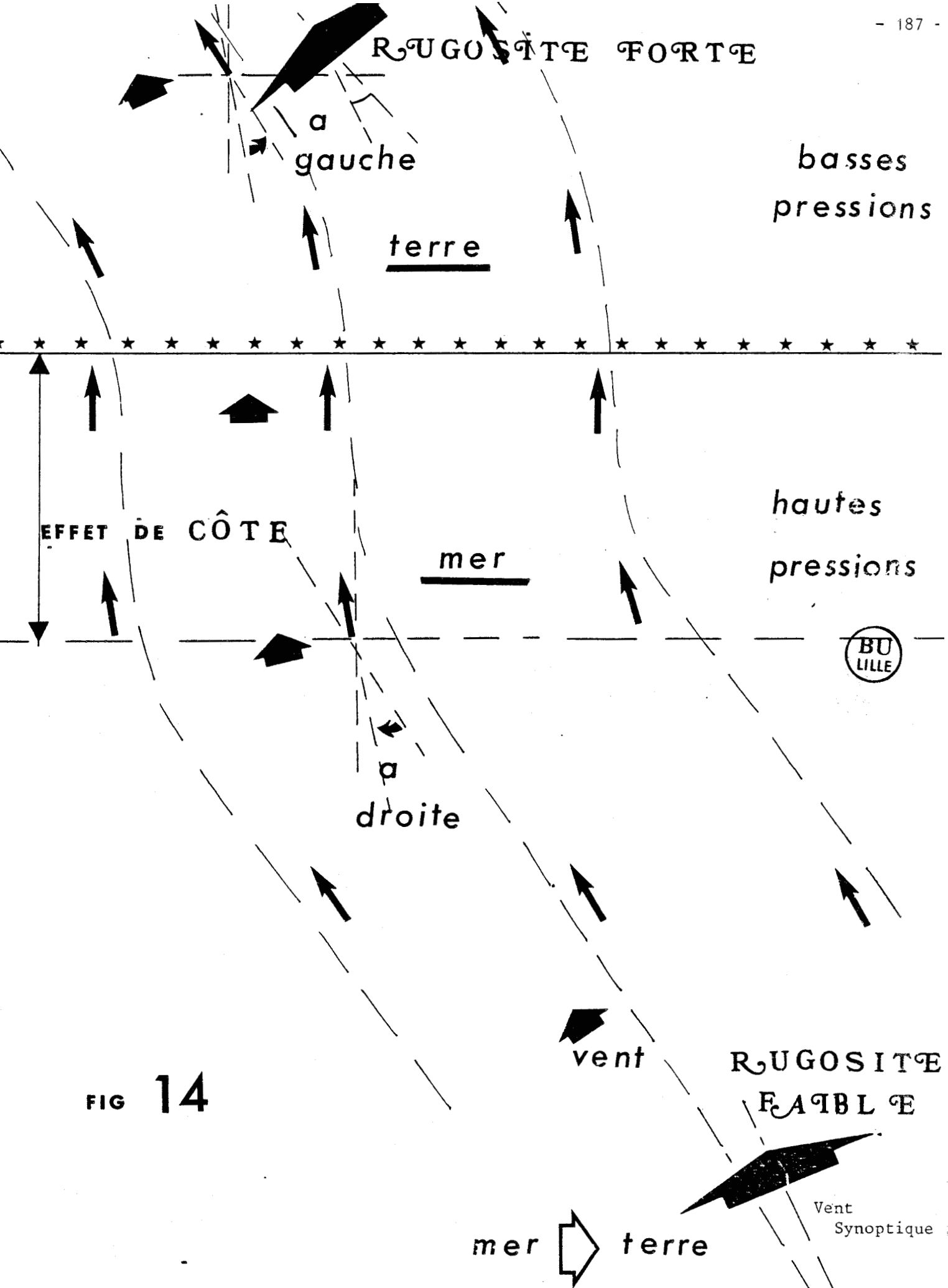


FIG 14

les effets de changement de rugosités & de RÉLIEF

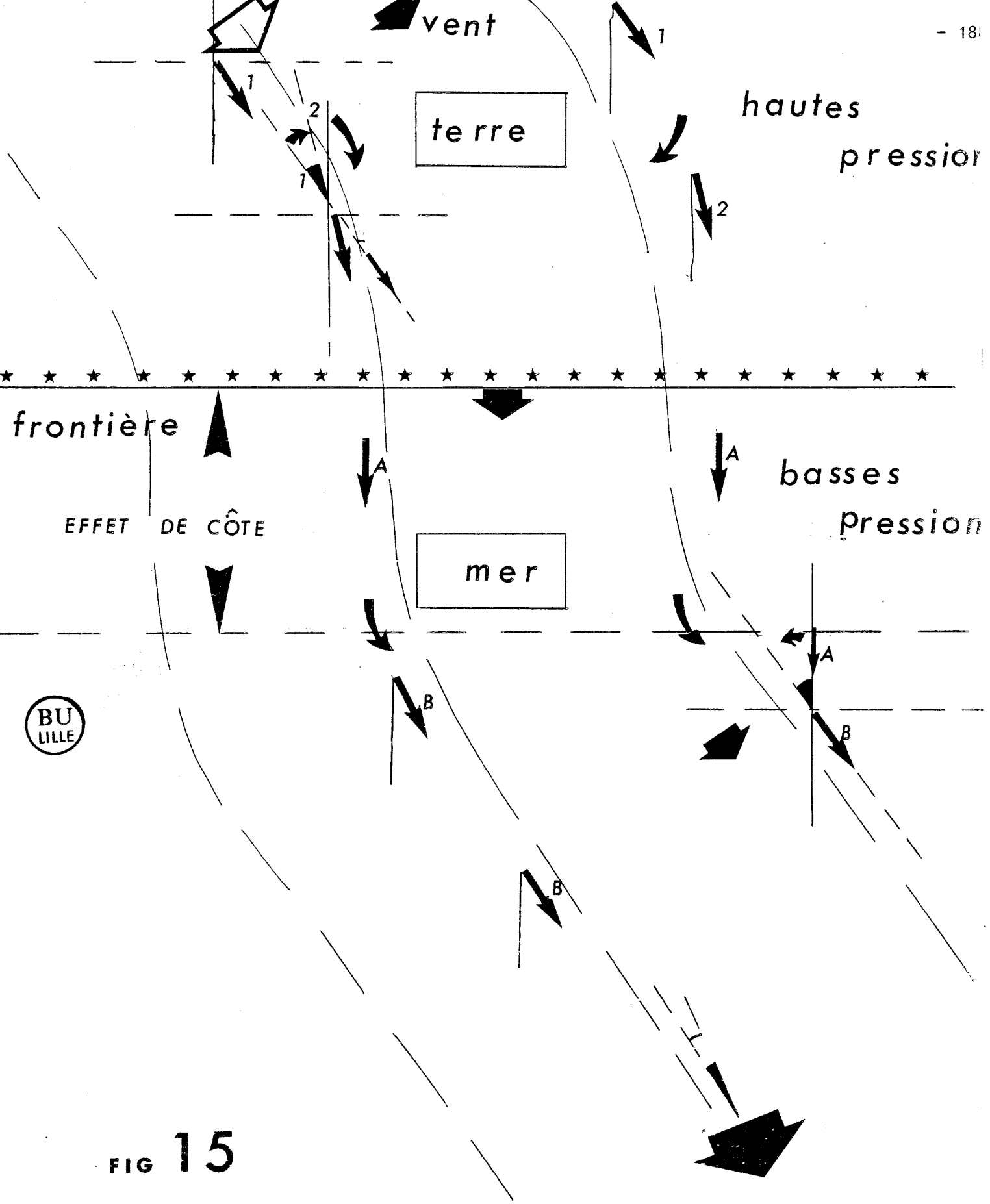
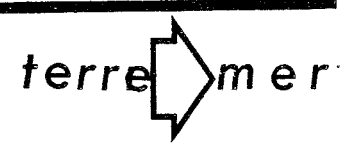
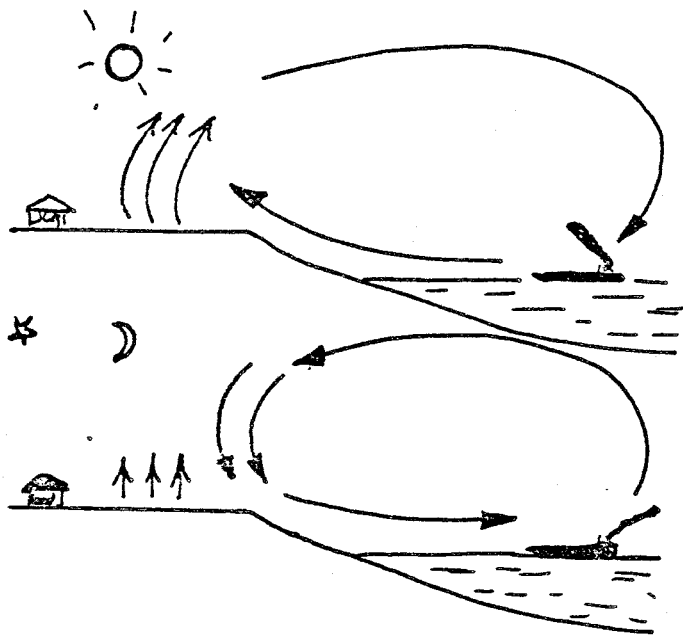


FIG 15

les effets du changement de rugosités

DE RELIEF





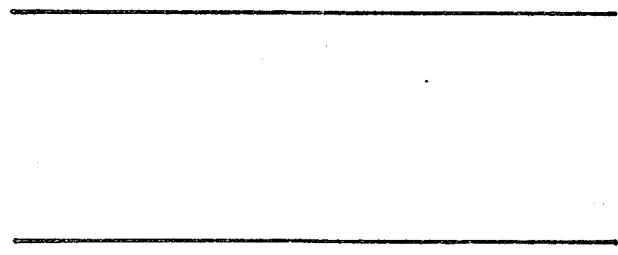
BRISE DE MER

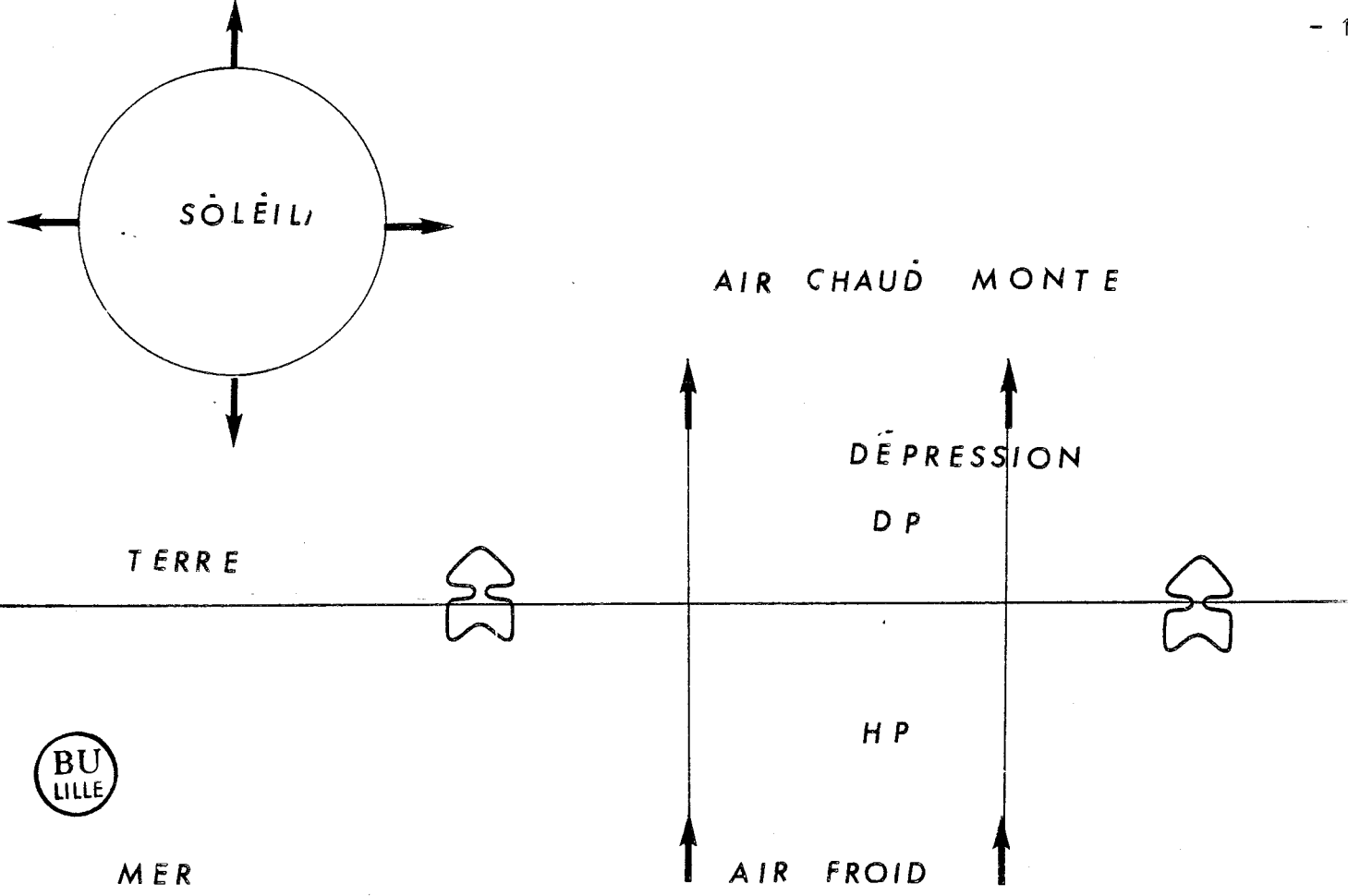
BRISE DE TERRE



FIGURE N° 16

Effets Thermiques brise de mer et de terre





JOURNÉE

DEBUT DE BRISE THERMIQUE

EFFETS THERMIQUES SUR LES ECOULEMENTS DE VENT
A LA LIMITE DU CHANGEMENT DE TEMPERATURE

FIG 17

BRISE DE
MER

C) Causes thermiques

En plus des effets dynamiques, il y a un effet thermique caractéristique qui existe également sur les grands lacs et qui est principalement le phénomène de brise de terre et de mer.

La terre s'échauffe et se refroidit beaucoup plus rapidement que la mer. Ainsi la terre dans la journée est plus chaude que la mer.

Durant la journée, le soleil relativement chaud donne naissance (Fig.16) à des mouvements ascendants dans les basses couches. L'air chaud s'élève et est remplacé par de l'air plus frais d'origine maritime: c'est la brise de mer (Fig. 17).

Durant la nuit, le phénomène inverse se produit, la mer étant plus chaude que la terre. Ces phénomènes s'observent sur une bande de plusieurs km (plus de 19 milles à Los Angelès) vers le large. La direction de l'écoulement est également perturbée à la limite mer-terre. Il se produit un effet de réfraction du flux qui se traduit par un net changement de direction de l'écoulement (sens cyclonique au-dessus de la terre, sens anticyclonique au-dessus de la mer).

Ces phénomènes locaux de brise se combinent ensuite avec le vent synoptique et les causes dynamiques de déviation du vent (rugosité et relief) étudiées précédemment.

A cause des multiples combinaisons de ces paramètres, il est nécessaire de contrôler par des mesures sur le site les prévisions de vent issues de ces grands principes.

Remarque concernant l'hémisphère Sud :

Tout ceci n'est évidemment valable que dans l'hémisphère Nord. Dans l'hémisphère Sud, la loi de Buys Ballot indique que la direction du Vecteur V_g du vecteur vent est tangente aux isobares et de sens tel que la pression soit croissante vers sa gauche.

Le sens de rotation du vent autour des anti-cyclones et des dépressions se trouve donc inversé dans l'hémisphère Sud par rapport à l'hémisphère Nord. C'est à dire qu'autour des anticyclônes, le vent tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (sens anti-horaire) alors qu'il tourne dans le sens horaire autour des dépressions.

Remarque concernant le coefficient de turbulence du vent à la limite du changement de rugosité mer-terre (Fig. 18)

Enfin, en dehors des déviations de l'azimuth du vent engendrées par les causes thermiques et dynamiques précédemment étudiées, la structure fine du vent

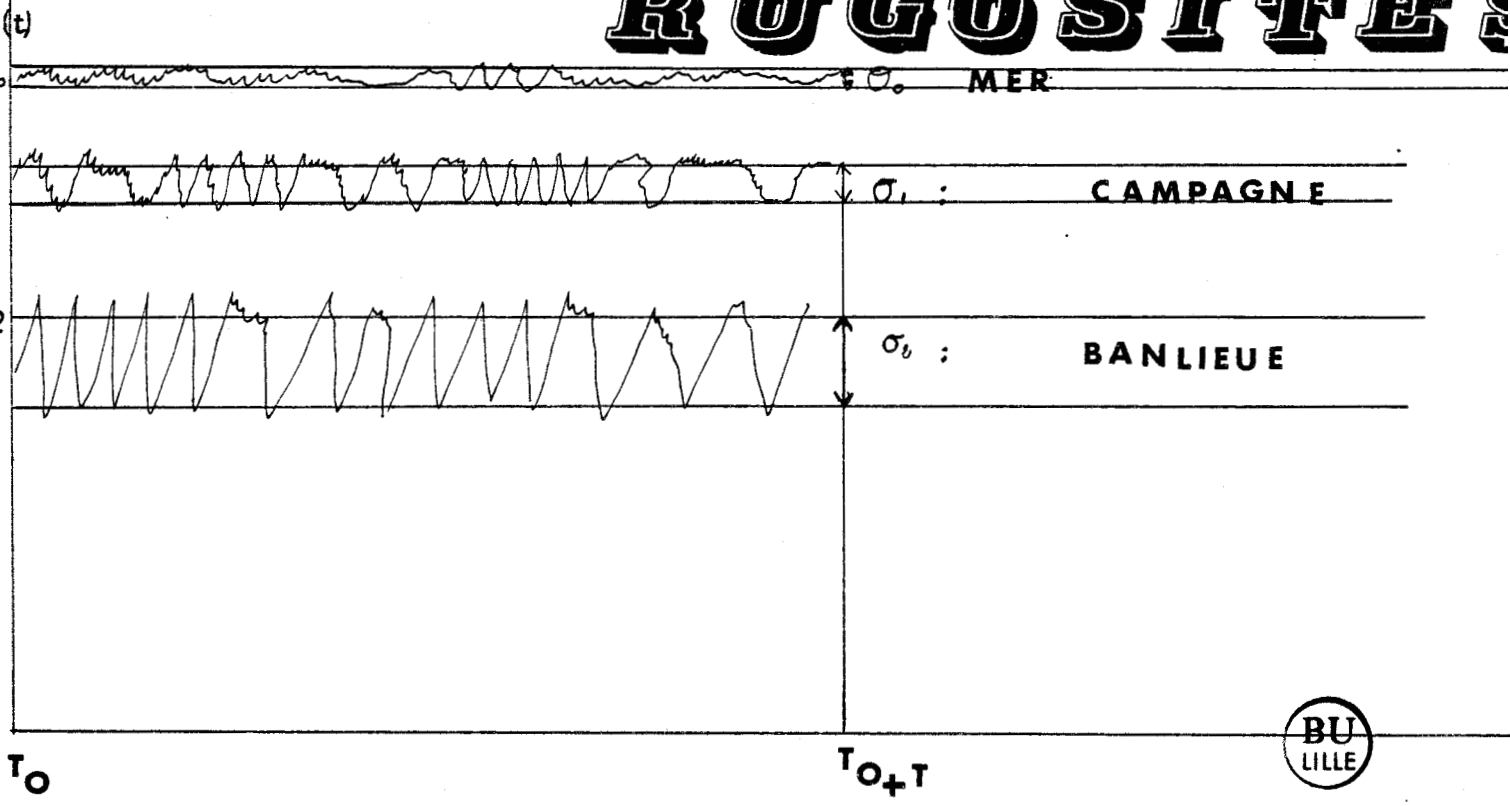
est modifiée dans son coefficient de turbulence (facteur θ). Les caractéristiques de l'écoulement du vent sont modifiées à la discontinuité mer-terre.

- Dans le sens mer-terre, la vitesse moyenne va diminuer rapidement et le taux de turbulence va augmenter vers l'intérieur des terres.

- Dans le sens terre-mer, c'est l'inverse qui va se produire.

C'est précisément pour cette raison que nos efforts de recherche se sont portés sur les phénomènes de turbulence du vent à cette limite de changement de rugosités. En annexe, il est présenté les premiers résultats de cette recherche qui modifie considérablement le comportement à la barre des coureurs, leur toucher de barre. D'autre part, cette recherche sur la turbulence du vent a mis en évidence la nécessité d'une recherche approfondie sur le volume des voiles (la forme des voiles) et la turbulence du vent sur des sites de compétitions aussi différents que Hyères et Los Angeles.

RUGOSITE



LA TURBULENCE

$$\bar{v}_0 > \bar{v}_1 \quad \sigma_0 < \sigma_1$$

$$\bar{v}_2 < \bar{v}_1$$

$$\sigma_2 > \sigma_1$$

FIG 18

**B. étude comparée
avec les résultats d' autres
auteurs & la bibliographie
consultée**

B) Etude comparée avec les résultats d'autres auteurs

1) Les effets de changement de rugosités sur un écoulement : Exemple de Cannes

a) Nous avons mesuré à Cannes pendant trois compétitions de Ski-Yachting (en 1981,82 et 83) les déviations côtières du vent principalement par vent d'Est. La figure 6 a représente les deux zones :

- l'une en aval mesurée à l'aide de la vedette (zone cyclonique)
- l'autre en amont tracée à partir des hypothèses concernant les modifications d'écoulement à l'approche d'une côte (zone anticyclonique).

Le champ de pression est modifié par le vent parcourant une zone maritime, puis terrestre et enfin maritime. Cette différence de relief, de hauteur des rugosités, engendre une zone de haute puis de basse pression sur une bande littorale. D'autre part, le vent s'écoule sur différentes surfaces aux rugosités très différentes (la mer, puis la terre et enfin la mer), ce qui entraîne des modifications importantes dans les déviations d'azimuth du vent et des vitesses des écoulements (Fig. 6a). Enfin, l'effet thermique au-dessus de la zone urbaine est non négligeable en se combinant aux 2 facteurs précédents (la différence de relief et la différence de rugosités). Une ascendance sur la terre, créant une basse pression sur la zone urbaine, accentue le phénomène de Basses Pressions sous le vent de cette Côte.

Les écoulements de l'air peuvent également être déviés par les hauteurs de la Californie (233m dans le Nord) qui infléchissent le vent plus dans le Nord-Est.

Bien qu'à première vue ce site paraisse relativement simple sur le plan des déviations des écoulements, on s'aperçoit très vite que de nombreux paramètres se combinent et rendent la mesure nécessaire pour vérifier le modèle théorique qui pourrait être le suivant :

b) Modèle ou représentation théorique : 6 b

On peut admettre qu'une zone de Hautes Pressions entraîne une rotation à droite du vent en amont de cette presque île. Par contre en aval, on obtient une rotation à gauche du vent dans une zone de Basses Pressions. D'autre part la rugosité plus forte sur la terre dévie le vent plus à gauche sous le vent de cette bande de terre, ce qui renforce la rotation cyclonique du vent due aux basses pressions du vent.

Conclusions

Nous avons observé ces effets de rotation du vent par vent de force 3, jusqu'à 3/4 milles en aval de la ligne de changement de rugosités. Toutes nos

$\frac{1}{14400}$

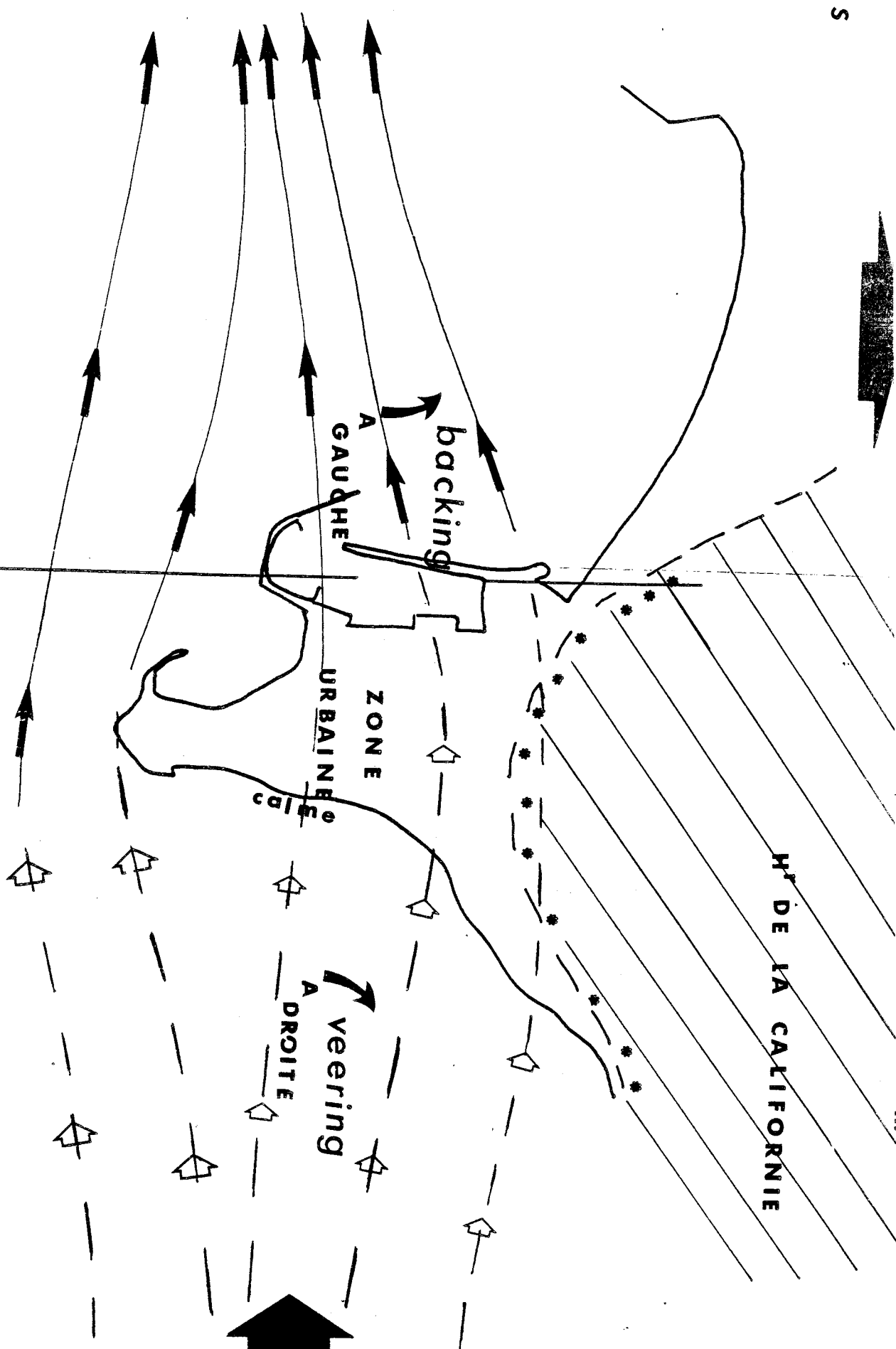
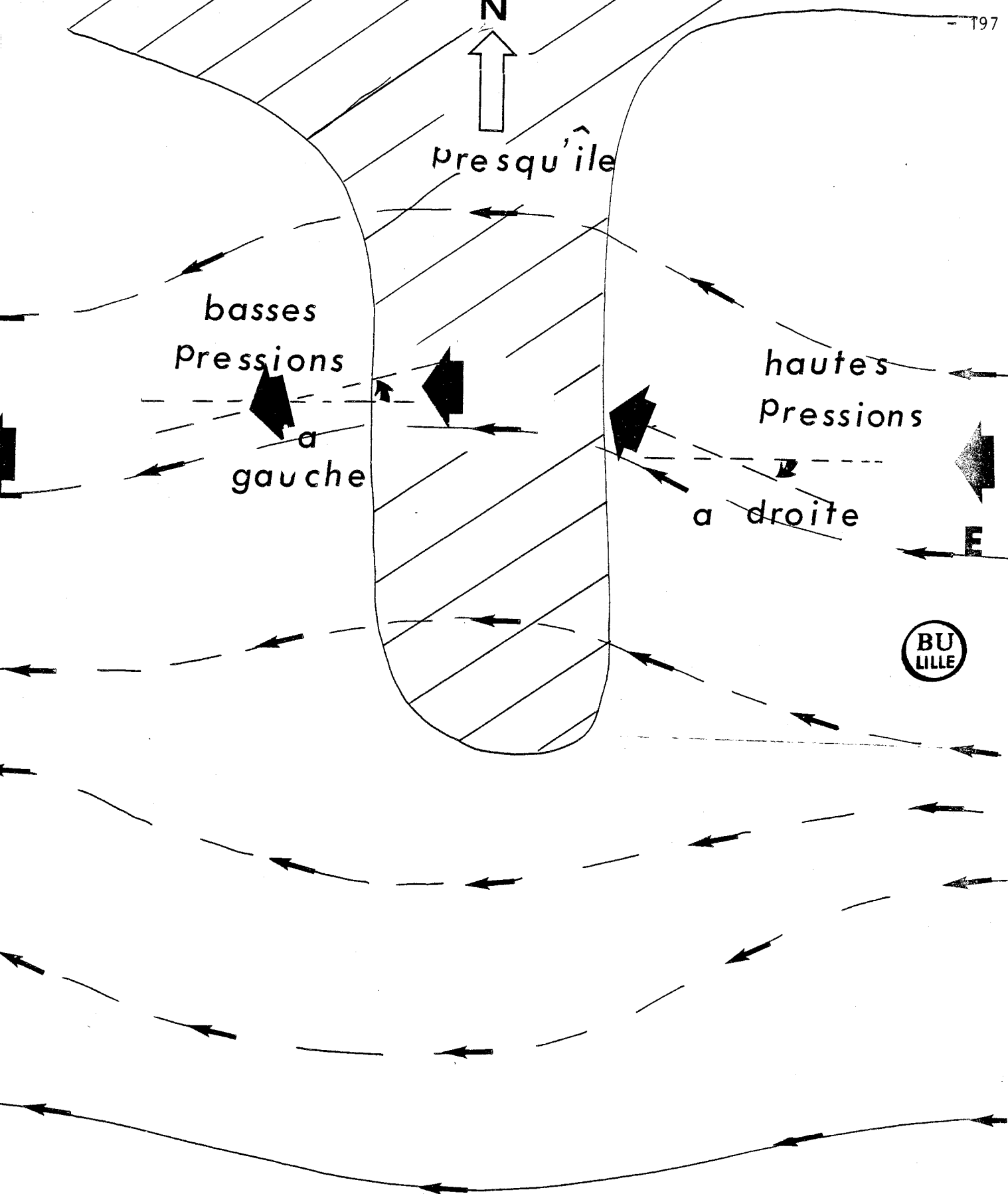


fig 6
a

zone mesurée

hypothèses de

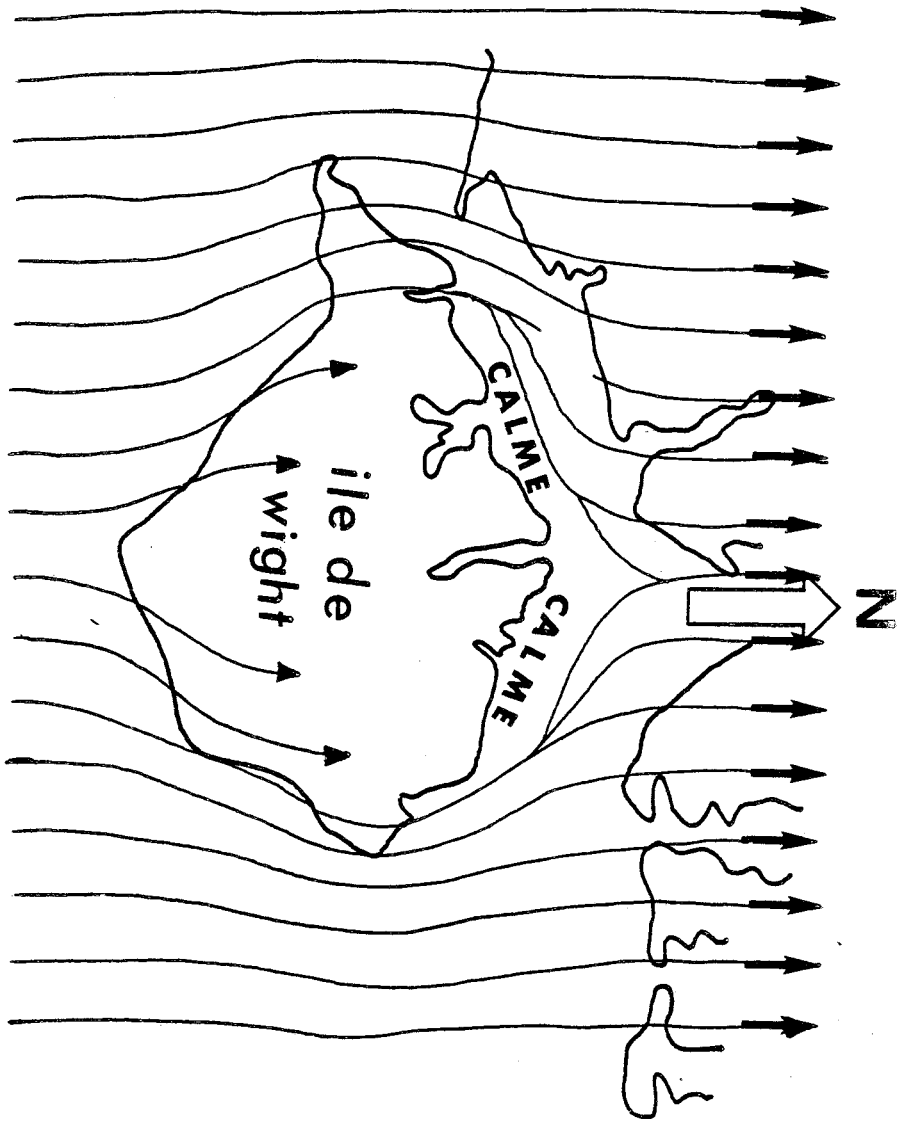
répartition du vent



RÉFRACTION DU **V E N T**

à l'approche d'une Presqu'île

fig **6** b



UN EFFET D'ÎLE



ref: STUART WALKER

fig 6e

compétitions de planches à voile et de dériveurs sont donc soumises à cet effet de rotation du vent, étant donné l'implantation des marques de parcours proches de terre. Dans le cas présent, ma marque au vent relevée par le programme Trajec positionne cette bouée à 320 mètres de la digue de Cannes.

Les conséquences pour le régatier sont très importantes car elles imposent de la part de chacun des connaissances approfondies sur la structure fine du vent sur cette bande frontière de changement de rugosités et de relief.



2) Effets d'Île (Fig. 6e) Référence St Walker

Nous pouvons comparer nos résultats avec ceux de Stuart Walker, auteur américain bien connu pour ses recherches sur la stratégie des courses en bateaux à voile.

Les résultats issus de l'expérience de l'auteur, sur l'île de Wight en Angleterre, nous confirment dans la représentation des lignes de courant à l'approche d'un obstacle isolé en mer. Cependant, cette île (celle des Evens) ne mesure que quelques dizaines de mètres de diamètre et son relief est très faible (moins de 10 m).

On constate que les déviations du vent sont conformes aux prévisions, avec une rotation à gauche du vent sous l'île, jusqu'à une distance de 1/2 mille en aval, et 0,6 mille en amont, associé à une rotation à droite du vent.

De plus, les rotations angulaires sont très importantes et évaluées à plus de 20° par rapport au vent non dévié en amont.

L'autre exemple fourni par l'île d'Island Chaffee à Los Angeles (graphe I, Chapitre II), montre également le même schéma de déviation du vent. Par contre, une plate-forme pétrolière de 50 m de hauteur, ou une palmeraie isolée sur un flot de puits de pétrole, nécessite une étude particulière, car on ignore dans le cas présent jusqu'où les effets de déviations du vent se font sentir. Or les planches à voile régatent à quelques dizaines de mètres de ces îles très spéciales sur le plan de l'architecture et d'une rugosité inhabituelle pour nous.

Il est donc nécessaire d'affiner le modèle théorique décrit dans les ouvrages par des mesures sur le site, car les régatiers ont besoin d'une précision supérieure à celle fournie par la bibliographie. Les déviations angulaires du vent doivent être précises à 5 degrés et les variations d'intensité du vent devront être exprimées au 1/10 noeud.

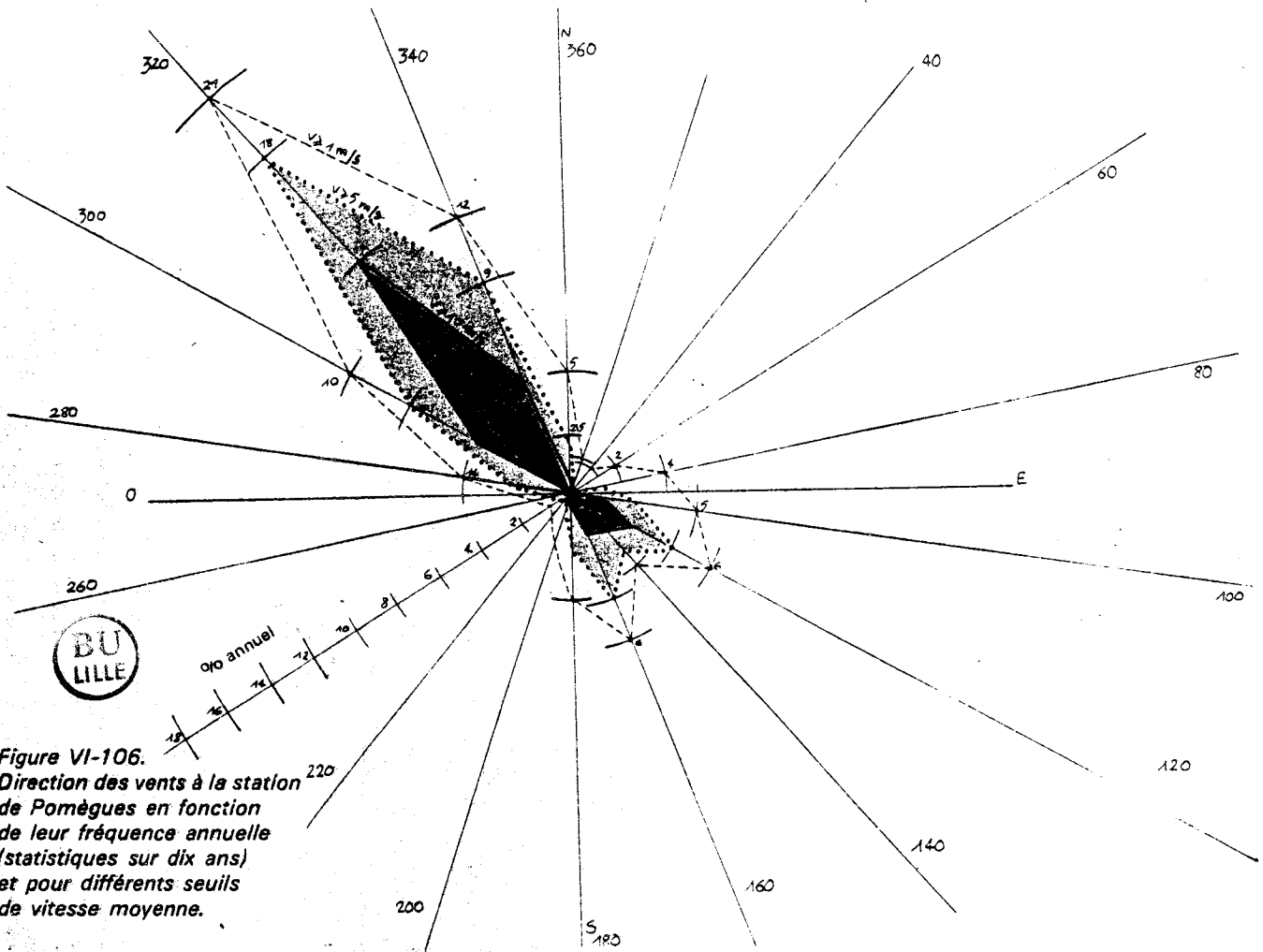
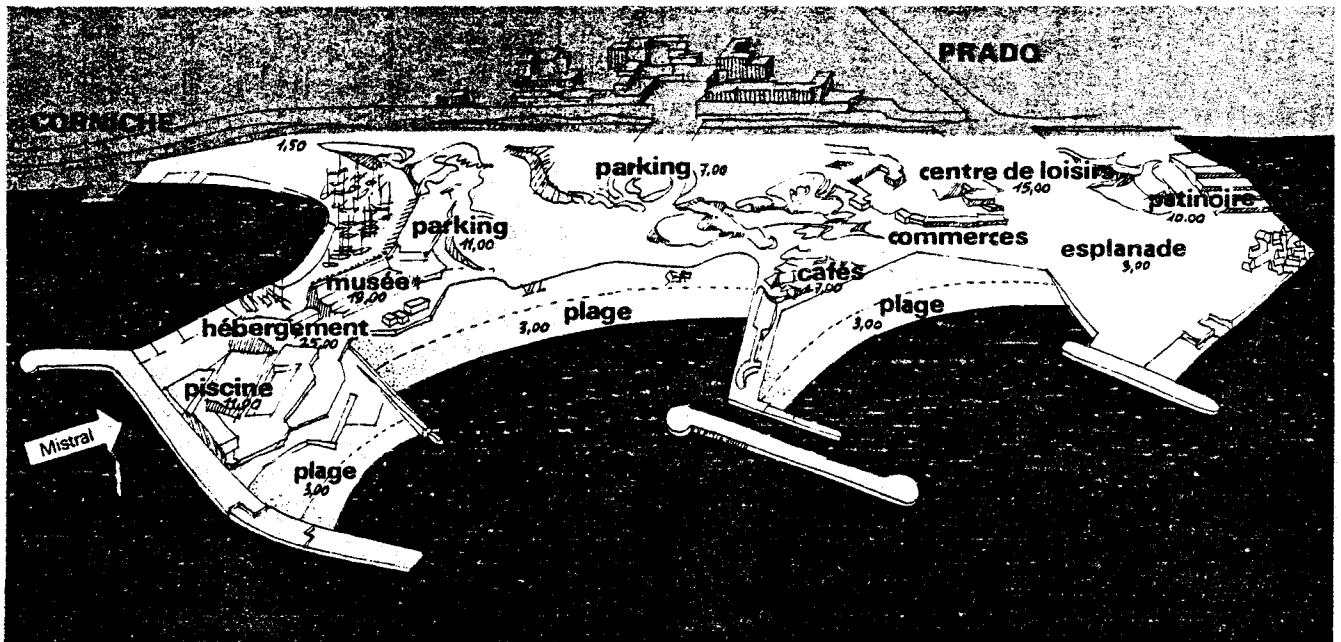
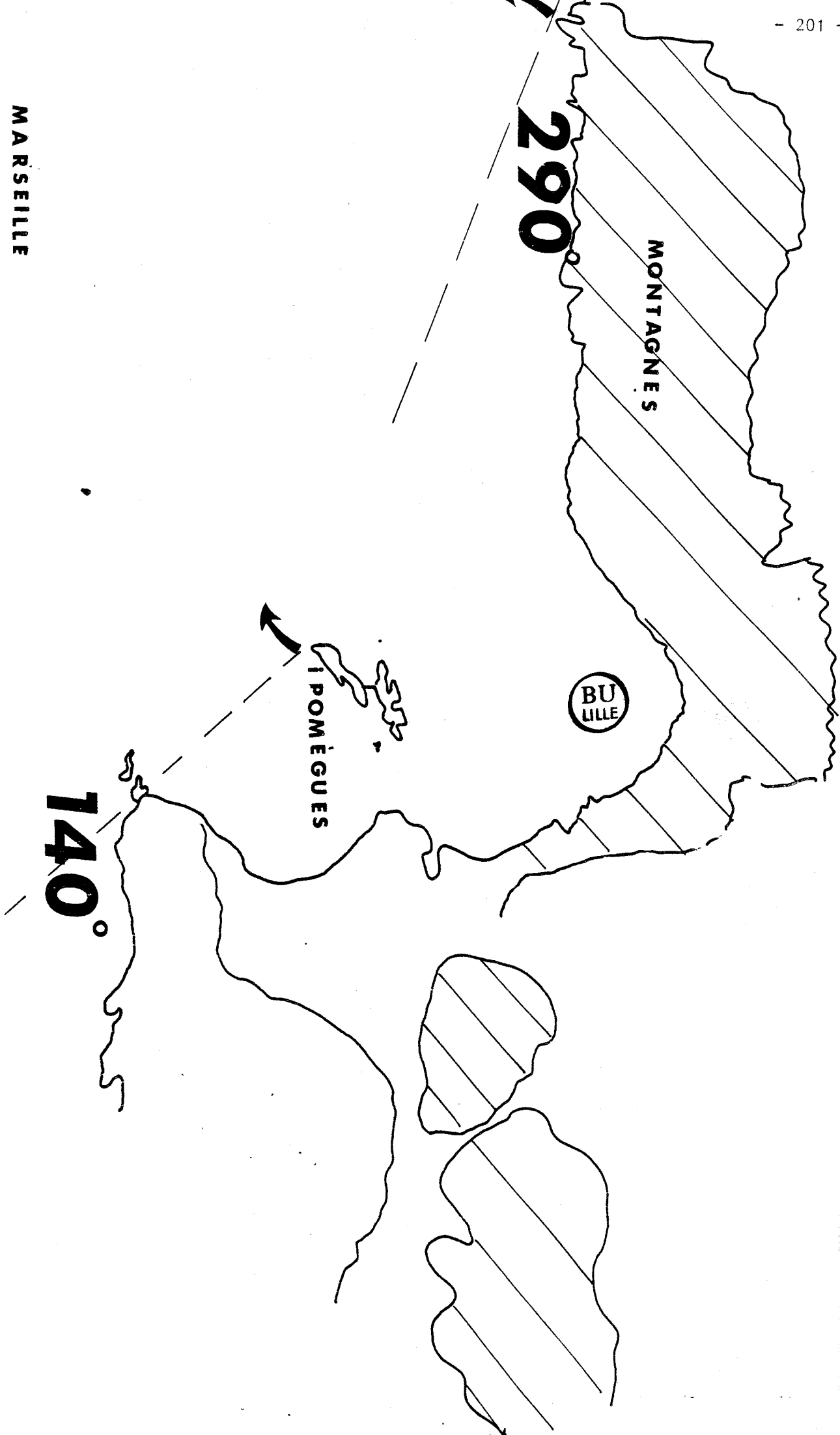


Figure VI-106.
 Direction des vents à la station
 de Pomègues en fonction
 de leur fréquence annuelle
 (statistiques sur dix ans)
 et pour différents seuils
 de vitesse moyenne.

Figure VI-107.





MARSEILLE

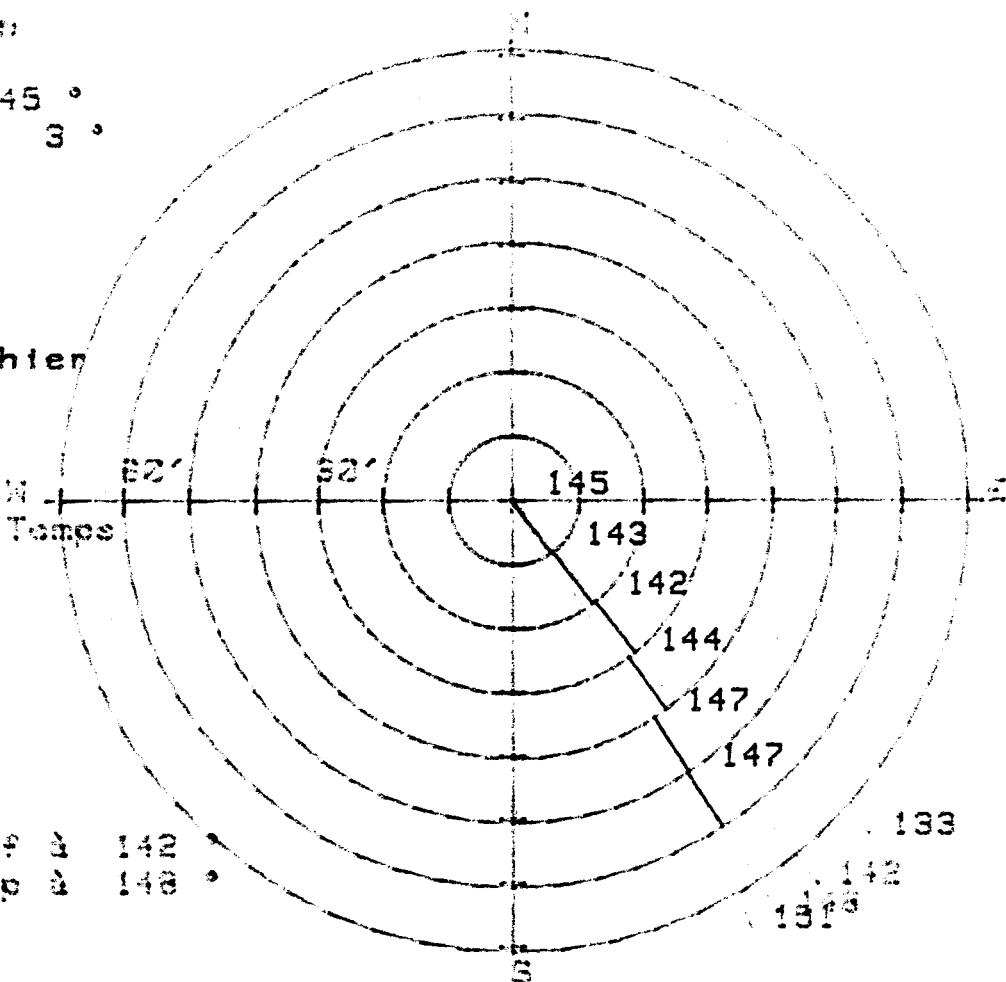
fig 6 g

MARSEILLE 18/9/81
 METEO 12H05
 Fich. M 42 F 0 à 5
 Durée : 62 mn

Moyenne : 145 °
 Ecart type : 3 °

Min 133 °
 Max 151 °

Moy. par fichier
 145° 17.9 nd
 143° 17.5 nd
 142° 17.2 nd
 144° 16.3 nd
 147° 17.7 nd
 147° 17.1 nd



15 % pts inf à 142
 17 % pts sup à 148 °

POURCENTAGE DE VENT DANS LES DIFFERENTS SECTEURS							Moy.	MARSEILLE 18/9/81
120	130	140	150	160				
0 %	0 %	2 %	98 %	0 %	0 %	145	FICHER M42F0	
0 %	0 %	8 %	93 %	0 %	0 %	143	FICHER M42F1	
0 %	0 %	24 %	76 %	0 %	0 %	142	FICHER M42F2	
0 %	0 %	1 %	99 %	0 %	0 %	144	FICHER M42F3	
0 %	0 %	0 %	96 %	4 %	0 %	147	FICHER M42F4	
0 %	0 %	0 %	87 %	13 %	0 %	147	FICHER M42F5	
0 %	0 %	6 %	92 %	3 %	0 %	145	Moy des fichiers	

HISTOGRAMME AZIMUTH ET VITESSE VENT

FICHIERS M42F0 à F5

Durée : 60 mn

MARSEILLE

18/9/81

METEO 12H05

AZIMUTH

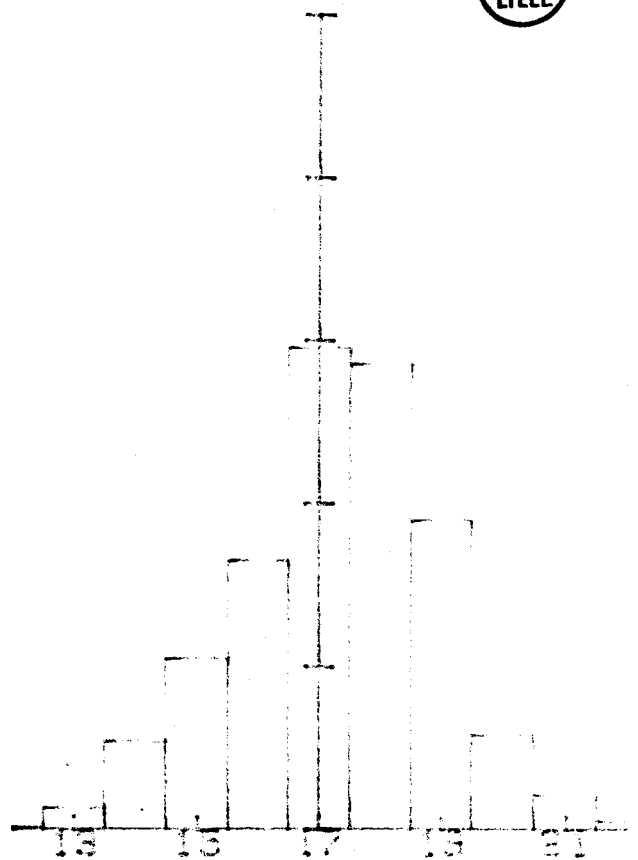
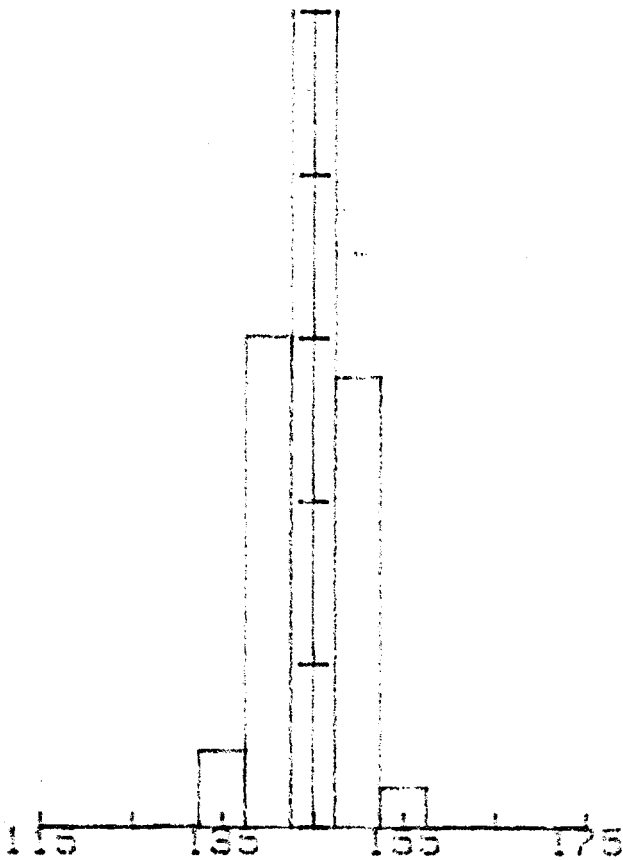
VITESSE

MOYENNE: 145 deg

MOYENNE: 17 nds

DISPERSION: 3.9

DISPERSION: 1.7



Enfin, le Coureur doit connaître très précisément la répartition dans l'espace, donc en distance, des déviations du vent par rapport à l'île pour bâtir sa stratégie de course. Le Coureur sait parfaitement qu'un bord de louvoyage trop long de quelques mètres lui fera perdre à la marque du vent plusieurs places. Le virement de bord est donc soigneusement programmé par le Coureur qui, grâce à ses relèvements à terre ou par rapport à un temps de navigation (exemple: virer après 4 Mn 30 de navigation) détermine précisément ce choix stratégique. (Le meilleur exemple d'illustration de cet exemple est fourni par les régates de Planches à voile à Los Angeles qui se déroulent au milieu des îles masquant les puits de pétrole.)

3) Notion de caps limites de vent : Marseille 1981

Le C.S.T.B. (Centre Scientifique et Technique su Bâtiment) s'est livré à une étude concernant l'implantation d'un Centre de loisirs à Marseille, au Prado. A partir d'un diagramme polaire (6_f) représentant les directions de vent à Pomègues sur 10 ans (Station Météo) et d'une étude sur maquette en soufflerie, on peut déterminer les caractéristiques locales de vent sur le site.

Pour ce site, on obtient une dominante très marquée des vents de Nord-Ouest (300°, 320°, 340°) pour une fréquence annuelle de 43% correspondant à des vitesses de vent supérieures ou égales à 1 m/s. Pour des vents de vitesse moyenne supérieure ou égale à 5 m/s, on obtient seulement une fréquence annuelle de 34 %. D'autre part les secteurs 100°, 120°; 140° correspondent à 16 % du temps annuel (statistiques sur 10 ans)

En 1981, lors du championnat du Monde de bateaux habitables de type "Quarter" à Marseille, nous avons procédé à une campagne de mesure sur ce site. Nous n'avons pu enregistrer pendant cette semaine que des vents de Sud-Est dominants. Cette étude ne concerne donc que ce secteur privilégié.

Nos résultats ont été les suivants sur le cercle de compétition situé légèrement dans l'Ouest de Pomègues, en ce qui concerne les vents de Sud-Est dominant (Fig. MA₁, Fig. MA₂):

Fichier M 42 : F 0 à F 5 18/9/81
 AZ^t Vent réel Mini 133°
 Maxi 151° sur une durée de 60 mn
 en mode rapide (10 informations toutes les 1/250 s).

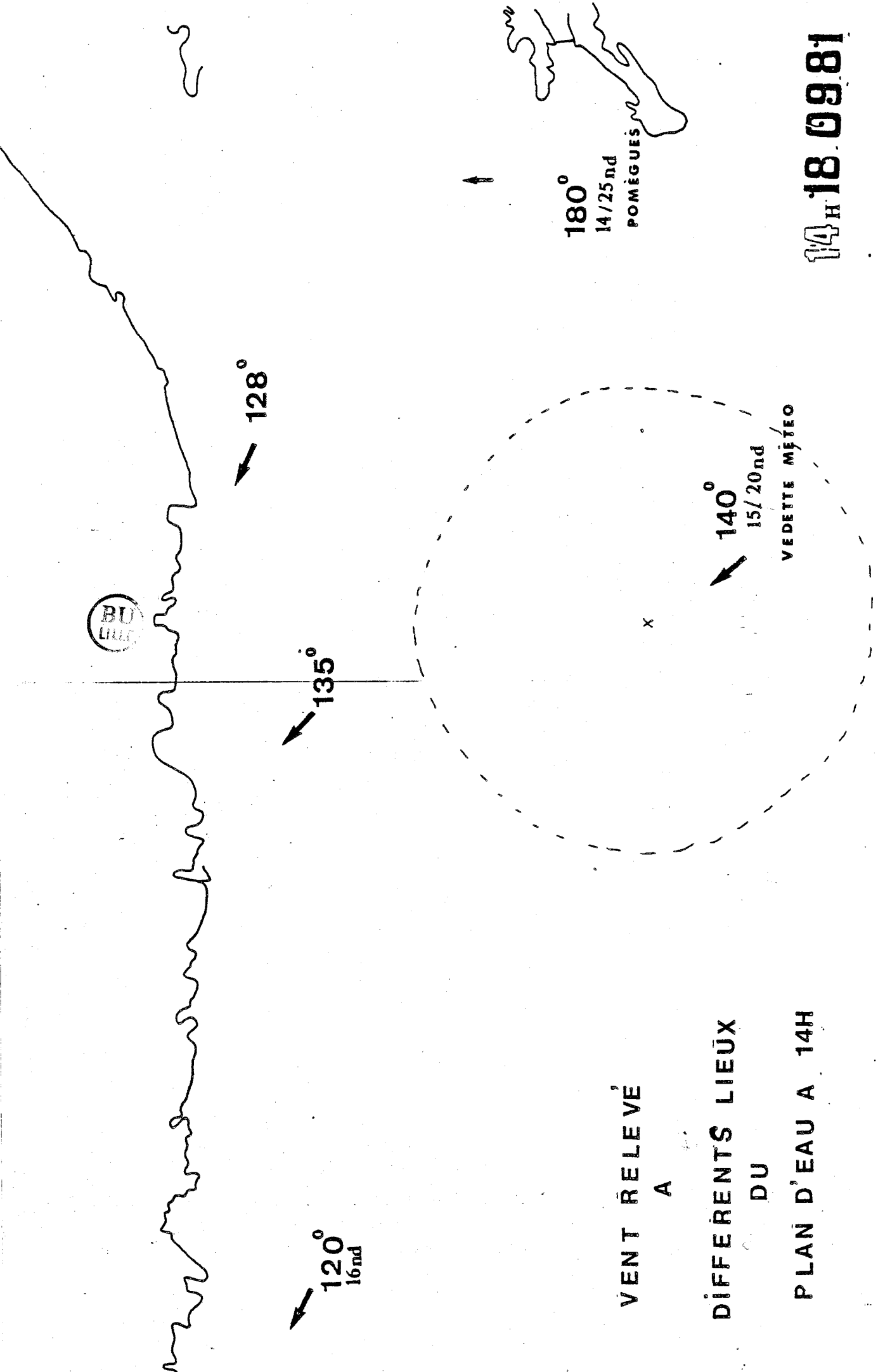
C'est à dire qu'à partir de notre lieu de mesure situé en baie de Marseille (Graphe 6_i), à une altitude de 2,5 m au-dessus de l'eau, l'Azimuth du vent est venu buter à une valeur limite du relief. D'après un calcul de carte (graphe 6_g), la borne de l'Az^t min du vent serait 140°.

POURCENTAGE DES POINTS TROUVES A L'EXTERIEUR DES BORNES			
INFERIEUR A 140 °		MARSEILLE	18/9/81
10 %		FICHER M42F0	
14 %		FICHER M42F1	
30 %		FICHER M42F2	
14 %		FICHER M42F3	
0 %		FICHER M42F4	
1 %		FICHER M42F5	
12 %		MOYENNE DES 6 FICHERS	



MA 3

14^H 18 0981



VENT RELEVÉ
 A
 DIFFERENTS LIEUX
 DU
 PLAN D'EAU A 14H

MARSEILLE

On soumet donc nos relevés sur la mer au programme Test (Fig. MA 3), qui calcule automatiquement notre pourcentage de réussite dans la prévision de l'AZt min du vent. On obtient seulement 12 % des Points d'Azimuth inférieurs à 140°. Nous avons diffusé aux Coureurs de la Quarter cette information calculée auparavant sur carte et nous avons pu dire à posteriori que nous avons eu 88 % de réussite (ce qui correspond à peu près à notre pourcentage de réussite sur l'ensemble des sites).

Si on observe sur le diagramme Polaire de Pomègues, sur 10 ans, les vecteurs angulaires d'Azimuth correspondant à un vent d'une intensité 15 m/s, ce qui correspond aux conditions de nos enregistrements (17 nd), on s'aperçoit que le vent oscille globalement de 120 ° à 160 °. Nous notons donc une différence de 20° entre nos calculs théoriques et le vent enregistré sur 10 ans.

Ce résultat doit être replacé dans son contexte :

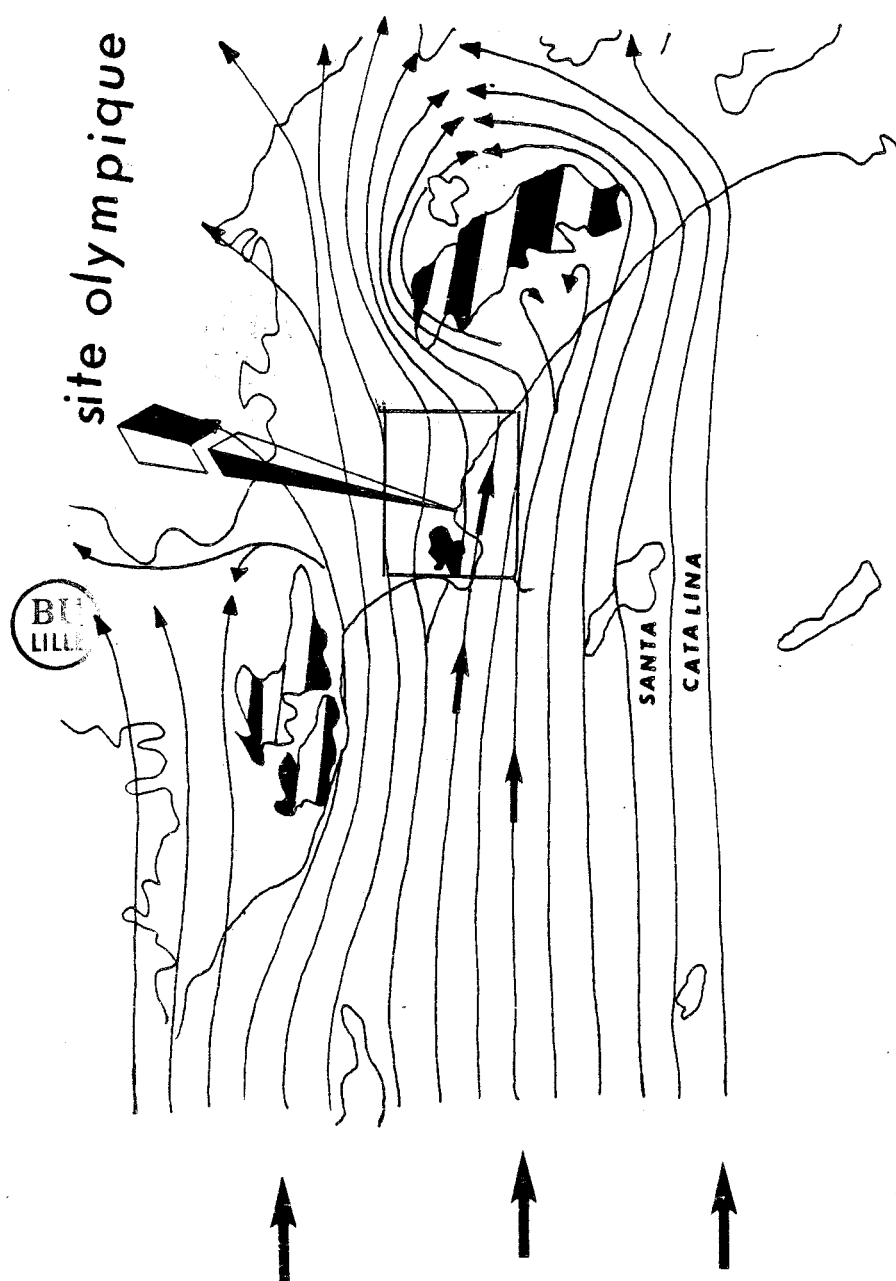
- 1) les mesures de Pomègues sont effectuées à 80 m d'altitude sur une île rocheuse, elle-même soumise à des phénomènes turbulents qui entraînent des modifications dans la direction du vent.
- 2) les capteurs (girouette/anémomètre) de Pomègues sont peut être précis à 10° près (critères des stations météo classiques).

Nos mesures sont donc supérieures de 10° à 20° par rapport aux mesures météo, en valeurs brutes. On peut donc dire que cette méthode de prévision des angles-limite de vent peut servir de point de départ à l'étude globale d'un site, sans un budget important. Quand on peut par la suite compléter cette étude par des mesures, on obtient des résultats très rapidement qui sont confirmés par les Etudes de la Météorologie Nationale à moyen et long terme.

Remarque :

Les déviations des écoulements de vent à l'approche d'une pointe rocheuse dépendent du lieu d'observation et l'on peut considérer que sur la plage du Prado ces valeurs limites de vent sont toujours les mêmes et peuvent justifier l'implantation par exemple de brise-vent contre les vents forts des secteurs privilégiés imposés par le relief fort de Marseille.

Enfin, sur le graphe N° 6, on remarque qu'à la même heure, sur différents lieux d'observation dans l'ensemble de la baie de Marseille, le vent subit des effets de côte dépendant de l'implantation des stations Météo par rapport au relief fort du site. C'est une recherche



lignes de courant de vent

los angelès

REF stuart walker

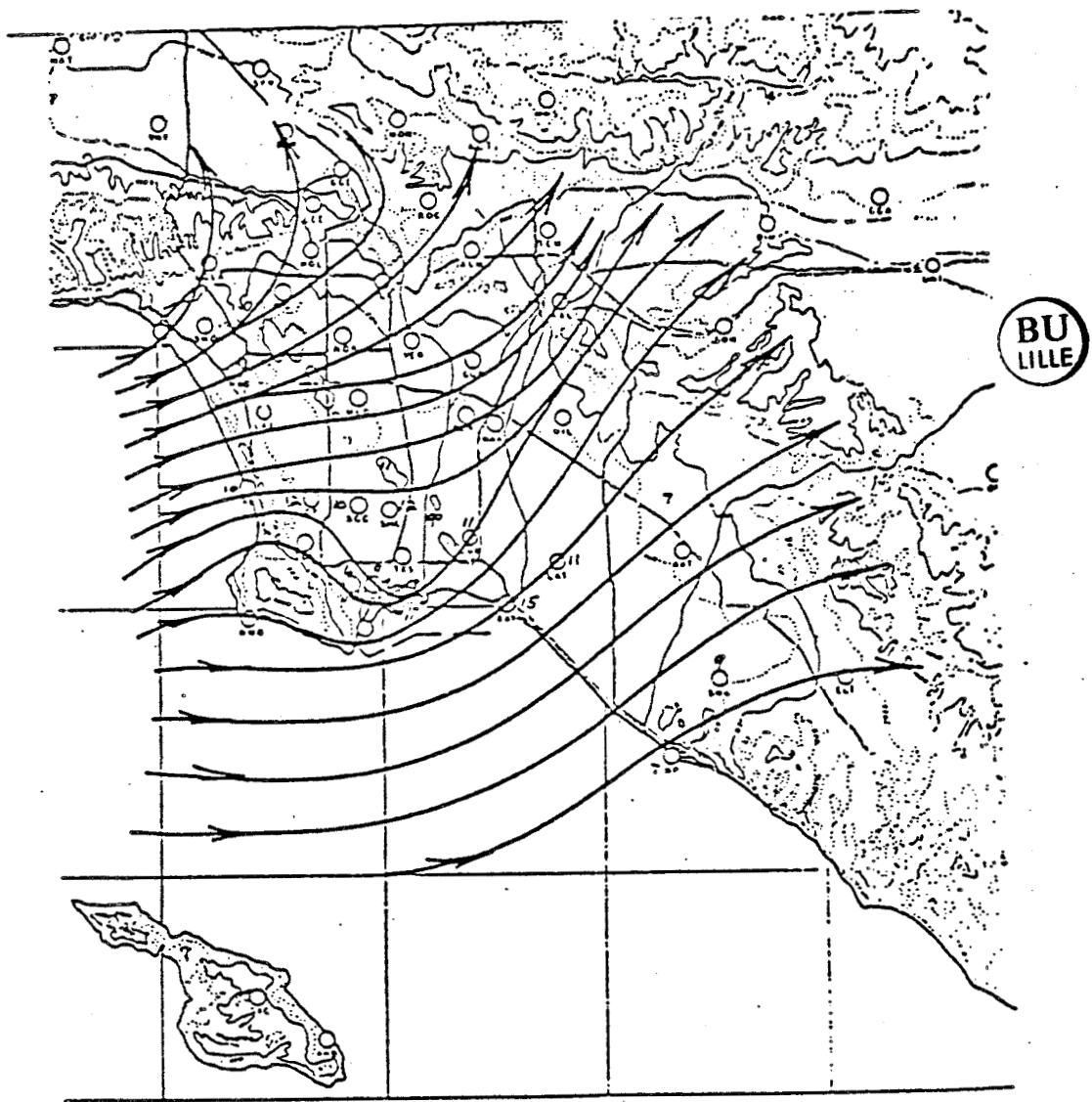


Figure 14. Surface wind streamline chart - August 1500 PDT.

REF NOAA

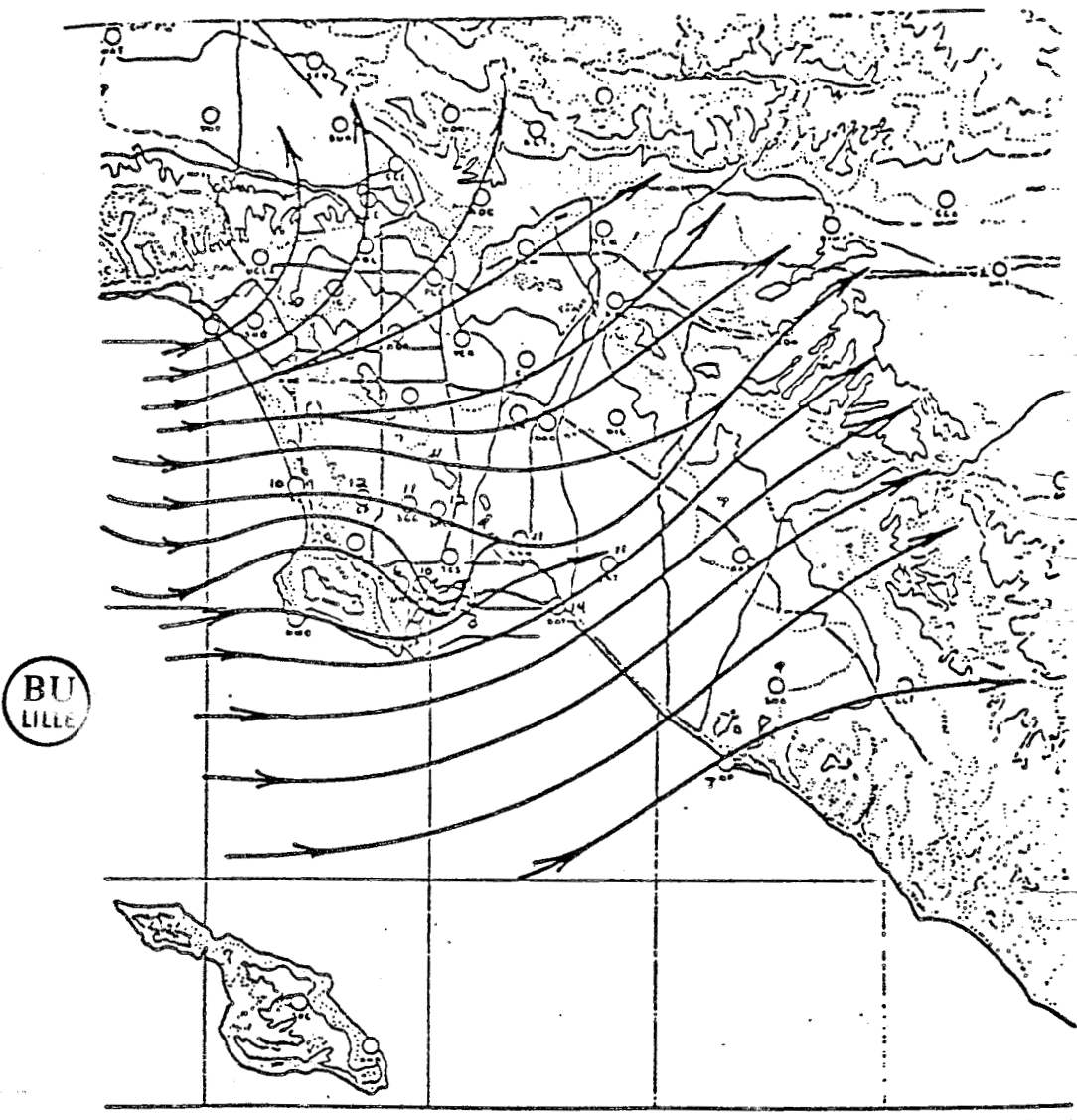


Figure 15. Surface wind streamline chart - August 1600 PDT.

R E F N O A A

que nous faisons à partir d'autres programmes (GRICHO) et surtout à partir d'un protocole de mesures basé sur le déplacement rapide de la vedette sur un fond de quadrillage de baie (succession d'aller-retour rapide pour identifier les fluctuations de vent dans l'espace).

4) Los Angelès : Brise thermique

2 Références : St. Walker et NOAA américain

a) Référence Stuart Walker (Fig. 6j)

Sur cette figure issue de l'ouvrage de Stuart Walker "Wind and Strategy", on observe les déviations de vent subies par le vent d'Ouest à l'approche des montagnes qui ceignent le site de Los Angelès.

Cette figure n'est cependant pas assez détaillée pour vérifier les résultats de nos mesures sur le site olympique. On constate néanmoins que le vent contourne la montagne de Palos Verdes Hills dans l'Ouest (hauteur: 1000 pieds), ce que nous avons également mesuré sur place.

b) Document NOAA : Mai 1983 (National Océanic and Atmospheric Administration)

Ce document a été transmis en Août 1983 aux Responsables des Equipes Nationales. Il reprend les caractéristiques locales du plan d'eau, heure par heure, sous forme de lignes de courants de vent. Nous pouvons comparer ces résultats avec ceux communiqués aux Coureurs avant la connaissance de ce document 1) Figure 14 : Vent à 15 h au mois d'Août

Bien qu'à grande échelle, les lignes de courant correspondent aux résultats d'ensemble de nos relevés, notamment la déviation du vent par la pointe Fermin à l'Ouest. Cette figure cependant est insuffisante pour nous, compte tenu de l'implantation de nos cercles olympiques (environ 2 Milles de diamètre par rapport à la dizaine de Milles de la baie). Une étude détaillée est absolument nécessaire si l'on veut tirer profit de ces phénomènes de déviation côtières du vent à partir d'un vent évolutif sur la droite -(Fig.15 à 16 h).

On remarque que le vent s'infléchit sur la gauche dans la baie sans qu'il soit possible précisément de fournir des valeurs chiffrées des azimuths de vent.

D'autre part, il nous a fallu moins de quinze jours pour dresser une cartographie du plan d'eau en tenant compte de l'implantation particulière de chaque cercle. Il n'est, de plus, pas fait état des variations d'intensité de vent associées aux rotations de vent. C'est pourtant un facteur déterminant dans la stratégie du Coureur. C'est à notre connaissance, le seul document de synthèse le plus fin que l'on puisse se procurer.

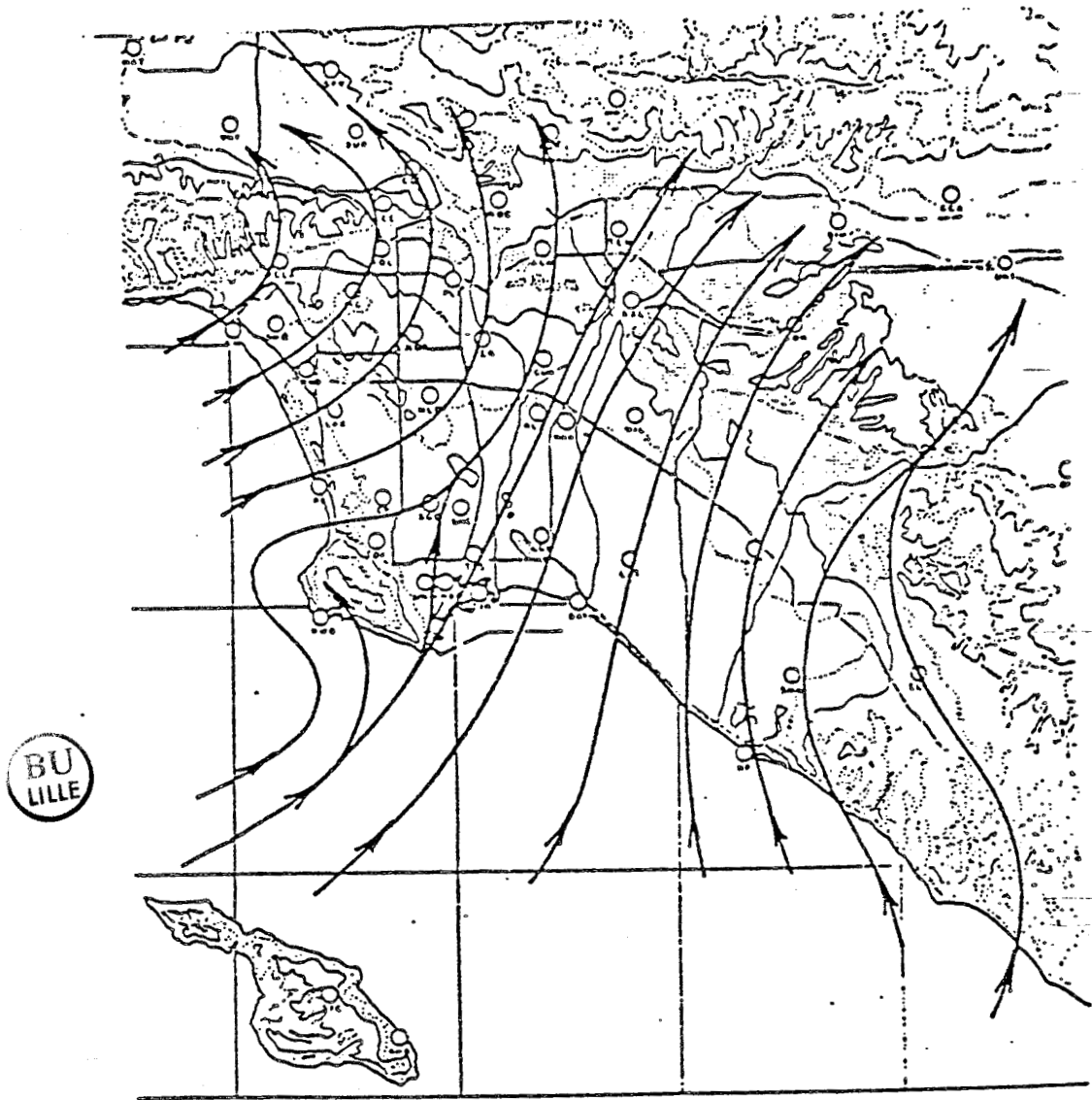


Figure 21. Typical Catalina Eddy wind pattern (+/- 30 degrees) at 1500 PDT. Wind speeds are usually only about 50% of normal for this time of day.

REF: NOAA

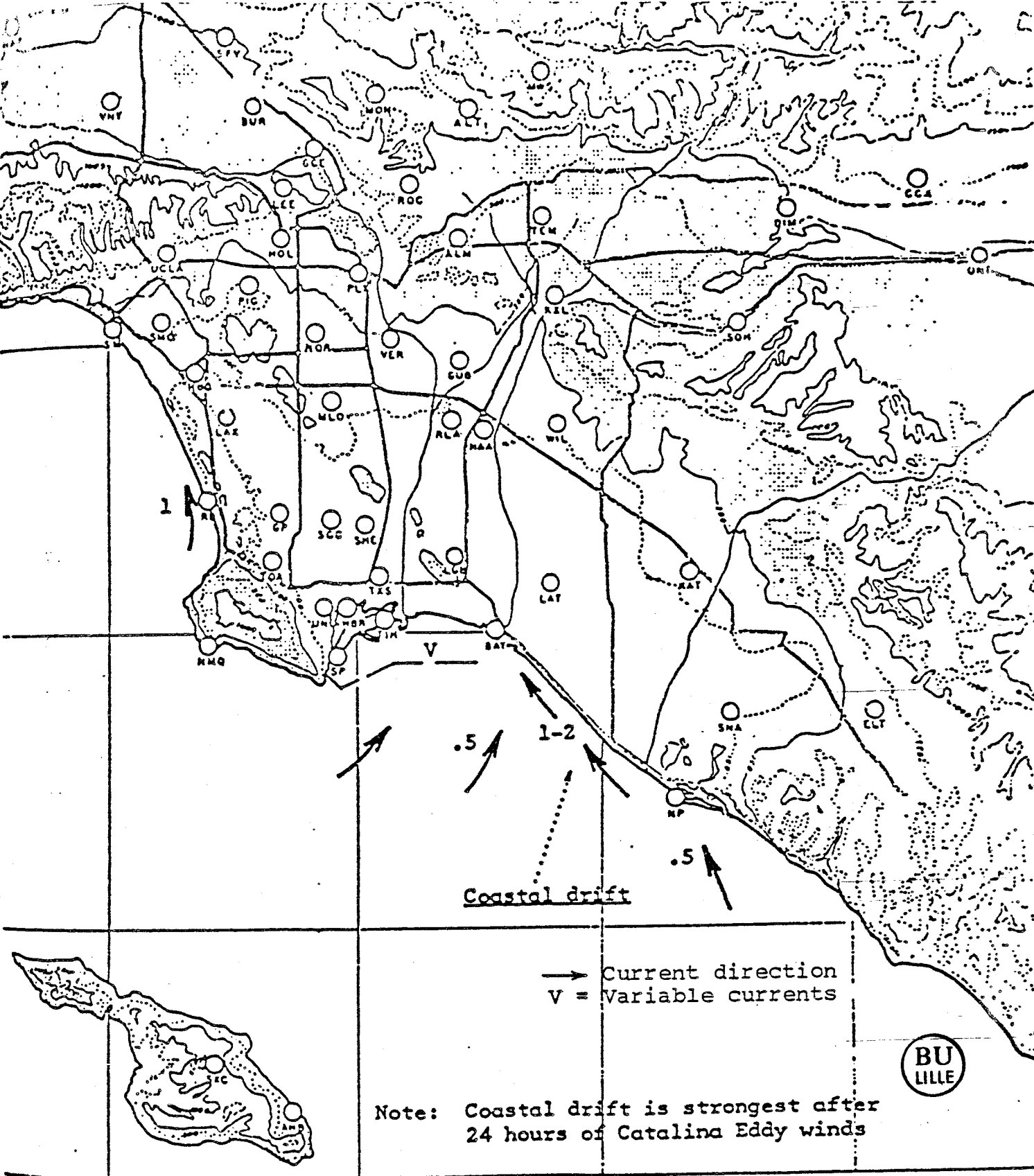


Figure 27. August - Prevailing Current Direction and Mean Current Speed (knots).

On peut donc situer notre étude à un niveau plus fin, plus adapté à la demande des Coureurs et des Entraîneurs.

2) Fig. 21 "Catalina Eddy" 15 heures

Cette figure représente les déviations du vent de Sud engendrées par l'île de Santa Catalina.

Il faut rappeler que cette île distante de 10 Milles de Los Angelès n'est presque jamais visible (2 fois en 5 semaines). Et pourtant elle peut dévier le vent du sud qui s'arrête à une valeur limite (cf document Coureurs).

C'est un phénomène que j'avais identifié dès 1982, uniquement à partir du travail sur cartes, et qui avait été décrit et expliqué aux Coureurs avant la compétition.

Nous avons, en 1983, vérifié cette hypothèse par des mesures sur place, ce qui confirme totalement l'effet d'obstacle isolé au large qui est contourné par le vent avec la notion de cap limite (même à 19 km, une île de 1000 pieds peut jouer un rôle sur le vent)

3) Fig. 27 Calcul du Vecteur Courant de surface

Nous avons mesuré des courants généraux qui sont de Sud-Ouest inférieurs à 1 noeud, ce qui correspond au document NOAA. Le contre-courant de Sud-Est a été isolé par la méthode des lignes d'isothermes.

Nos résultats sont non seulement conformes à ceux-là, mais surtout plus précis dans la répartition des veines de courant par exemple.

5) Conclusions

Nos résultats sont dans tous les cas plus précis que ceux retrouvés dans les études consultées. Ceci tient surtout au fait que le sport de la voile est sans retombée économique directe, donc il n'a jamais déclenché de grandes opérations de recherche, comme certains organismes ou certains pays auraient pu le faire.

Par contre, certains résultats de cette recherche, pourraient servir à l'implantation de ports, à l'orientation de chenaux de planches à voile, à la mise en place de brise-vent, à l'implantation d'éoliennes etc...

Une chose est certaine, c'est que ces résultats correspondent directement à l'attente des Régatiers en voile car on a travaillé sur le lieu-même où ils évoluent, en les consultant à partir des seuls moyens dont ils disposent à bord (le compas et le chronomètre).

D'autre part, il nous faut également peu de temps (souvent moins d'une semaine), pour vérifier nos hypothèses sur le vent et les valeurs angulaires des couloirs de vent, calculées au préalable sur les cartes marines bien documentées sur le relief côtier.

Enfin, à chaque fois qu'une campagne de mesure s'est déroulée, on a soigneusement archivé sur support informatique, l'ensemble des paramètres enregistrés. On peut donc aujourd'hui plus facilement vérifier nos hypothèses et fournir aux Coureurs tous les renseignements sur un plan d'eau qu'ils ne connaissent pas et ceci pour les nouvelles générations de Coureurs (J.O. de 88, 92 ...)

Cette recherche contribue à la transmission des connaissances d'une Olympiade à une autre, aussi bien au niveau de la connaissance des Plans d'eau qu'au niveau des formes des voiles, que du "toucher de barre" des Coureurs de Haut Niveau.

NB : Il est possible de consulter l'ensemble de nos résultats expérimentaux sur les différents sites, exceptés ceux de Los Angelès qui font l'objet d'un document confidentiel à l'attention des Coureurs et des Entraîneurs.

chapitre VII

conclusion

générale

C O N C L U S I O N

Au cours du travail résumé dans cette thèse, un certain nombre de points importants transmis aux Coureurs de l'Equipe de France, ont facilité leur adaptation aux différents plans d'eau du monde entier.

En développant une méthode simple de prédiction des couloirs de vent et de leur angle limite, sans l'aide d'aucun matériel électronique, les Entraîneurs, les Coureurs et les Comités de Course sont aujourd'hui totalement autonomes par l'utilisation unique de la règle de Cras et des cartes E.P.S.H.O.M.

La mise en évidence des durées relatives des fluctuations de vent vers la droite ou vers la gauche (Viring-Backing), suivant la tendance synoptique du vent, permet aux Coureurs aujourd'hui grâce à leur montre d'essayer de rentrer en phase avec le vent.

Par l'étude expérimentale des déviations du vent sur des cas types comme une île, une vallée, une presqu'île, une pointe rocheuse en mer, une baie ouverte, nous avons mis en évidence la stratégie de course la mieux adaptée à l'échelle de quelques centaines de mètres.

Cette thèse n'est que le début d'un travail de recherche portant sur la turbulence du vent et la forme des voiles, la turbulence du vent et l'amélioration du toucher de barre des Coureurs Espoirs.

Les recherches associant le 470 Laboratoire et cette Vedette-laboratoire permettent de conjuguer les moyens vers une approche plus objective des problèmes de voile de Haute Compétition.

LE BARREUR FACE A L'ORDINATEUR

Il faut concevoir l'analyse du vent à partir de ce que peut découvrir le Barreur à la barre de son bateau.

La meilleure centrale d'acquisition et de traitement de l'information est finalement l'être humain, à ceci près qu'il faut des dizaines d'années pour se constituer ses propres fichiers de "plans d'eau type".

Ici, nous ne faisons que gagner du temps sur l'avenir, afin que l'expérience acquise aujourd'hui serve pour demain à tous les jeunes coureurs.

chapitre VIII

bibliographie

générale



BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

=====

- 1 - "LA MER ET LE VENT" R. CLAUSSE et A. VIAUT
Ed. = EMOM

- 2 - "AERODYNAMIQUE DE LA VOILE"
ET L'ART DE GANGER LES REGATES MANFRED CUVREY
Ed. = CHIRON

- 4 - "POUR GAGNER LES COURSES A LA VOILE" MANFRED CUVREY
Ed. = CHIRON

- 5 - "LE VOYAGE AERIEN" R. BELLIARD - R. FORGAT
TOME I A. HEMONT
Ed. = DU COSMOS

- 6 - "NOUVEAU COURS DES GLENANS" Ed. = DU COMPAS / SEUIL

- 7 - "TACTIQUES MODERNES EN REGATE CONRAD - GULCHER
Ed. = DE LA MER

- 8 - "METEO PRATIQUE" R. MAYENCON
Ed. = EMOM

- 9 - "METEOROLOGIE MARINE" R. MAYENCON
Ed. EMOM

- 0 - "SAILING STRATEGY"
WIND AND CURRENT IAN PROCTOR
Ed. = ADLARD COLES

- 1 - "WIND AND STRATEGY" STUART WALKER
Ed. = NORTON

- 2 - "LA COURSE EN VOILIERS" TED WELLS
Ed. = PLAISANCE

UNIVERSITES ET CENTRES DE RECHERCHES CONSULTES



- Laboratoire de radiopropagation et Electronique
Bâtiment P3 - U.S.T.L. LILLE
Professeur GABILLARD

- Centre scientifique et technique du bâtiment
C.S.T.B. NANTES
Monsieur BIETRY
Monsieur DUCHENE MARULLAZ
Monsieur GANDEMER
Monsieur SACRE

- E.N.S.E.E.I.H.T. TOULOUSE
Ecole Nationale Sup-électronique
Professeur ALQUIER
Professeur TRUCHASSON

- E.N.S.M. NANTES
Ecole Nationale Supérieure de Mécanique
Monsieur KOBUS
Monsieur NOUCHI

- E.P.S.H.O.M.
Etablissement Principal du Service Hydrographique
et Océanographique de la Marine - BREST
Monsieur MAINEULT

- Collège de France
C.R.A.I.N.
Monsieur PALLU DE LA BARRIERE

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES ET OUVRAGES TRES SPECIALISES
=====

Eolienne et Aérogénérateurs
Guide l'Energie Eolienne

Guy CUNTY
Edi Sud

"Climatologie"

CSTB (Centre Scientifique et Technique du
Bâtiment)

REE F Volume II

Sciences du Bâtiment

"Intégration du phénomène Vent dans la
conception du milieu bâti"

Auteurs : GANDEMER - GUYOT

"Etude climatologique d'une région littorale"

C. SACRE
CSTB Nantes
11 Rue Henri Pichent - 44300 NANTES

"Structure des vents forts au passage d'une
discontinuité de rugosité mer-terre"

C. SACRE
SCTB NANTES

"Profils de vitesse du vent au voisinage
du sol"

G. GUYOT
Ed. = PROMOCLIN - E (Etudes Thermiques et
Aérauliques) - Tome 7 E N° 1 Mars 76

"La turbulence développée"

M. LESIEUR
"La Recherche"

"Les cockpits du futur"

M. LESIEUR
"La Recherche"

RECHERCHES SUR LE VENT - CAMPAGNES DE MESURES

=====

<u>AOUT 1979</u>	Météo fine au Championnat du Monde des Moths Europe à La Rochelle (4 ₇₀ Labo)
<u>SEPTEMBRE 1979</u>	Décision conception Vedette Météo
<u>JUIN 1980</u>	Colloque Royan - présentation Vedette Météo "XV Assises de Médecine du Sport"
<u>AOUT 1980</u>	Quiberon - Stage "Espoir National" Météo à patir du 4 ₇₀ Labo
	Publication avec M. BOUET, Equipe de France Voile, d'un article "Recherche sur la Structure Fine du Vent" - Mémento Technique.
<u>NOVEMBRE 1980</u>	"Congrès" Actualité en Médecine appliquée à la Voile"
<u>DE DECEMBRE 80 à JANVIER 1982</u>	
<u>JANVIER 1981</u>	La Baule - Etude du Site
<u>FEVRIER 1981</u>	Ski Yachting Cannes (15 Jours)
<u>MARS 1981</u>	La Baule
<u>AVRIL 1981</u>	Semaine pré-olympique Hyères (10 Jours)
<u>JUIN 1981</u>	Kiel (R.F.A.) Semaine Internationale
<u>AOUT/SEPTEMBRE 1981</u>	Quiberon - Championnat du Monde des 470 (Vedette + 4 ₇₀ Labo)
<u>SEPTEMBRE 1981</u>	Quarter Ton Cup - Championnat du Monde des Quarter - Marseille (15 jours)
<u>OCT./NOV./DEC. 1981</u>	La Baule - Etude du Site
<u>FEVRIER 1982</u>	Cannes - Ski Yachting Météo et suivi de Planche à Voile
<u>MARS/AVRIL 1982</u>	La Baule
<u>AVRIL 1982</u>	Hyères - Semaine Pré-Olympique
<u>MAI 1982</u>	La Baule (suivi de Planche à Voile)
<u>JUIN 1982</u>	Kiel - R.F.A. - Météo

- JUILLET-AOUT 1982 : Los Angelès (U.S.A.) : Panne centrale de Calcul (cause thermique) Prêt ordinateur par Hewlett-Packard sur place
- SEPTEMBRE 1982 : A partir du seuil électronique du 470 on double le système pour les campagnes à l'étranger.
- DECEMBRE 1982 : Jeu tactique et meilleurs Optimists français : Sainte-Maxime
- FEVRIER 1983 : Ski - Yachting
- AVRIL 1983 : Hyères : Semaine Préolympique
- JUILLET-AOUT 1983 : Los Angelès : 3ème Semaine préolympique (5 semaines de mesure avec la Vedette)
- DECEMBRE 1983 : Polaires de vitesse de Tornado en situation : Quiberon

REMARQUE

Nous avons travaillé dans des conditions extrêmes à Marseille et Hyères, sans que notre matériel prototype ne nous lâche.

Le premier gros incident est survenu à Los Angelès de par la très grosse différence de température dans le container durant la journée (plus de 50°).

D'autre part, le chargement après Kiel, dans le container, en atmosphère très humide, n'a certainement pas facilité les conditions de stockage (humidité et chaleur).

BIBLIOGRAPHIE DES TRAVAUX DU LABORATOIRE DE RADIOPROPAGATION ET ELECTRONIQUE
DANS LE DOMAINE DU SPORT

(Equipe du Professeur GABILLARD)

GABILLARD Robert DEVAUX Christian GOUARD Philippe
Définition de méthodes pour l'observation objective du comportement
et la mesure des performances du couple " Barreur-Voilier " .
Rapport Scientifique annuel 78.
RAPPORT D'ACTIVITE-19 78 -Decision d'aide D.G.R.S.T. N° 77.7.0814

GABILLARD Robert DEVAUX Christian
Mesure objective de l'action d'un barreur et de la réponse du
voilier. Réunion d'évaluation des résultats des contrats du comité
" Sports " de la D.G.R.S.T.
COMMUNICATION-Mai 79 -BORDEAUX - Réunion D.G.R.S.T.

GABILLARD Robert DEVAUX Christian GOUARD Philippe
Définition de méthodes pour l'observation objective du comportement
et la mesure des performances du couple " Barreur-Voilier " .
Compte rendu de fin d'études de la décision d'aide D.G.R.S.T.
N° 77.7.814.
RAPPORT D'ACTIVITE-October 79 -Décision d'aide D.G.R.S.T. N° 77.7.814.

DEVAUX CHRISTIAN
Etude des perturbations d'un compas de voilier et méthode de
restitution du cap réellement suivi.
D E A Octobre 79

AUBERTIN Patrick
Etude-interprétation-et correction des mesures de la vitesse
et de l'assiette d'un voilier.
D E A Octobre 79

DEVAUX Christian
Résultats du stage de détection des Barreurs Espoirs à l'E.N.
V. de QUIBERON en juillet 1979 .Tome I : Performances au large
et au près.Tome II : Analyse des virements de bords.
NOTE INTERNE 19 79

GABILLARD Robert
Réalisation des mesures de couple de rappel des barreurs et équipiers
de l'équipe de France des 470.
RAPPORT D'ACTIVITE-Mars 80 -Rapport U.S.T.L

GABILLARD Robert
Film super 8 montrant les principaux résultats des campagnes
de mesures du 470 Laboratoire.
Mai 80

DEVAUX Christian AUBERTIN Patrick BRUN Jean Claude
Détermination de caractéristiques du 470 Laboratoire .Tome I:
Mesure de poids et détermination du centre de gravité. Tome II
: Moments d'inertie.Tome III : Stabilité statique . Lignes d'eau
et bras de levier de redressement.
NOTE INTERNE Mai 80

GABILLARD Robert AUBERTIN Patrick BRUN Jean Claude DEVAUX Christian
GABILLARD Bertrand GOUARD Philippe
Utilisation du 470 Laboratoire pour l'objectivation du comportement
du couple " Barreur-Voilier ". XVe Assises Nationales de Médecine
du Sport.
COLLOQUE INTERNATIONAL-Juin 80 -ROYAN-

CLAVEL Alain WAYMEL Guy
Réalisation d'un gonimètre permettant de mesurer la torsion
d'un mât de dériveur.
RAPPORT de STAGE-Juin 80 -Projet de fin d'études I.D.N

VERNEY Antoine JOURNEAUX Jean Yves
Réalisation d'une station d'études météorologique embarquable
sur vedette.
RAPPORT de STAGE-Juin 80 -Projet fin d'études I.D.N.

GABILLARD Robert
Sur l'objectivation des performances d'un régatier et une observation
des rôles des divers capteurs sensoriels de l'homme dans la conduite
d'un voilier.
REVUE FRANCAISE-Juin 80 -Cinésiologie N°80 pp:165-178

FRERE Serge
Participation à l'équipement électronique du projet voile.
RAPPORT de STAGE-Juin 80 -I.U.T. CALAIS

CLAVEL Alain
Réalisation d'un gonimètre électromagnétique permettant de mesurer
la torsion d'un mât de dériveur.
D E A Octobre 80

VERNEY Antoine
Etude et réalisation d'un ensemble de capteurs électroniques destinés
à équiper une vedette de mesures micrométéorologiques.
D E A Octobre 80

BRUN Jean Claude
Reconstitution par procédé électronique de la trajectoire d'un
voilier au cours d'une régates et détermination de la trajectoire
optimale dans un vent donné.
D E A Octobre 80

GABILLARD Robert
Exposé et Film sur les résultats apportés par le bateau-laboratoire
.Colloque National sur l'Actualité en Médecine Appliquée à la
Voile.
COMMUNICATION-Novembre 80 -NANTES Compte-rendu p.165

MERY Christophe

Etude de faisabilité d'un procédé radioélectrique pour l'étalonnage
d'un speedomètre de bateau.

D E A Octobre 81

GABILLARD Robert et collaborateurs

Définition de méthodes et appareillages pour la détection des
aptitudes à la haute compétition et l'amélioration des performances
des barreaux.

RAPPORT D'ACTIVITE-Décembre 81 -Rapport final DGRST/ACC Sports N° 79.7.0702

GABILLARD Robert DEVAUX Christian VERNEY Antoine GOUARD Philippe

Définition de méthodes et appareillages pour la détection des
aptitudes à la haute compétition et l'amélioration des performances
des barreaux.

RAPPORT D'ACTIVITE-Février 82 -Rapport de fin d'études Contrat DGRST N° 79.7.070
2

VERNEY Antoine

Etude et réalisation d'un système microprogramme d'acquisition
de données météorologiques embarquable sur vedette-Application
à l'étude des plans d'eau utilisés pour le sport de la voile.

THESE DOCTEUR INGENIEUR

Juin 82

CLAVEL Alain

Etude de procédés d'adaptation des magnétoscopes dans des systèmes
d'acquisition de données.

THESE DOCTEUR INGENIEUR

Juin 82

GRARE Arnaud

Mise en oeuvre d'une unité centrale INTEL 80/24 dans un système
d'acquisition de données.

RAPPORT de STAGE-Juin 82 -Projet de fin d'études IDN

GUILLAIN Michel

Amplificateur d'instrumentation pour capteur d'Electrocardiogrammes
(E.C.G.)

RAPPORT de STAGE-Juin 82 -I.U.T. Département Génie Electrique

RIASZCZYK André

Industrialisation d'un prototype d'enregistreur magnétique.

RAPPORT de STAGE-Juin 82 -I.U.T. Option Electronique

MERY Christophe TAHIER Jacques

Projet Ecume 82 - traitement de données et affichage en temps
réel sur calculateur HP9915.

RAPPORT D'ACTIVITE-Juin 82 -Dossier technique d'utilisation

PIEL Philippe LOTIGIER Georges
 Etude et réalisation d'une carte d'accès direct à la mémoire
 (D.M.A.)
 RAPPORT de STAGE-Juin 82 -Fin d'études d'Ingénieur I.D.N. LILLE

GRARE Arnaud
 Contribution à la mise en oeuvre d'un système d'acquisition de
 données associé à un enregistrement vidéo.
 D E A-Novembre 82 -Ingénieur I.D.N.

BONDUELLE Yann
 Projet FRANCE-3. Coupe de l'Amérique.
 RAPPORT de STAGE-Mars 83 -Rapport de stage INSA

LOUAGE Francis BAUDET Jacques
 Sur une centrale d'acquisition embarquable autonome et programmable
 à mémoire de masse C.M.O.S.
 REVUE FRANCAISE-Mars 83 -Micro Bulletin CNRS N° 9

BAUDET Jacques BLASZYK A. DEGARDIN Daniel
 Centrale d'Acquisition - France 3
 RAPPORT D'ACTIVITE Mai 83

SENICOURT Sylvain
 Réalisation d'un sondeur.
 RAPPORT de STAGE-Juin 83 -I.U.T LILLE

BONDUELLE Yann
 Etude et exploitation d'un LORAN TRIMBLE dans un système électronique
 d'aide à la navigation pour le voilier FRANCE III - concurrent
 français pour la Coupe de l'Amérique 1983.
 D E A-Juin 83 -INSA RENNES

LOURME Bertrand
 Lociciels de connexions d'une carte unité centrale ISBC 80/24
 avec des périphériques.
 D E A Juillet 83

MERY Christophe
 Etude et réalisation d'un appareillage électronique de navigation
 et d'optimisation de performances du voilier 'FRANCE 3' challenger
 de la coupe de l'Amérique 1983.
 THESE DOCTEUR INGENIEUR-Novembre 83 -Ingénieur I.D.N

BIBLIOGRAPHIE DES TRAVAUX DE PHILIPPE GOUARD

(Seul ou en collaboration)

BACHEMONT Dr GOUARD Philippe THILL Edgard
Bilan du stage de détection Espoirs à Quiberon
Rapport d'activité 1979 Méméto technique

BOUET Marc GOUARD Philippe
Recherche sur la structure fine du vent.
Rapport d'activité 1979 F.F.V

GOUARD Philippe
Bilan du stage Espoirs. Présentation des tests.
Communication 1979 Colloque médical Marseille

GOUARD Philippe
Intégration des données scientifiques dans l'organisation de
la détection des espoirs et dans la préparation des coureurs
de haut niveau.
Communication Juin 80 Assises Nat. Médicales Sport - ROYAN

PREVOT Dr GOUARD Philippe DEVEAUX C. GINET Pr
Utilisation d'un test d'attention dans le suivi de l'entraî-
nement de coureur de haut niveau.
Communication Juin 80 Assises Nat. Médicales Sport - ROYAN

BOENNEC Dr PREVOT Dr GOUARD Philippe BRUN J. C. GINET Pr
Somatotype et postes occupés par des coureurs de série olympique
Communication Juin 80 Assises Nat. Médicales Sport - ROYAN

ALLAIN Dr GOUARD Philippe ROBINE Ch. KERBAOL M.
BENTUE-FERRER MASSART AUBREE NICOL VANDENDRIESSCHE
Approche biologique des systèmes endocriniens et végétatifs
du coureur de haut niveau en voile.
Communication Novembre 80 Cinésiologie N° 80

GOUARD Philippe
La préparation scientifique du sportif de haut niveau en voile.
Communication Novembre 80 Cinésiologie N° 80