

N° d'ordre : 332

50376

1983

167

50376
1983
167

THÈSE

Présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR INGENIEUR

par

Christophe MERY

Ingénieur I.D.N.

**ETUDE ET REALISATION D'UN APPAREILLAGE
ELECTRONIQUE DE NAVIGATION ET
D'OPTIMISATION DE PERFORMANCES DU VOILIER
« FRANCE 3 », CHALLENGER DE LA COUPE
DE L'AMERICA 1983**



Soutenue à Lille le 7 novembre 1983 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury :

R. GABILLARD
F. LOUAGE
L. RACZY
H. DE MAUBLANC
G. LEPAN
G. MANFREDI
R. TROTTEIN

Président, Rapporteur
Examinateur
Examinateur
Invité
Invité
Invité
Invité

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Radiopropagation de l'Université des Sciences et Techniques de Lille sous la direction du Professeur Robert Gabillard. Qu'il me soit permis de lui exprimer ici ma profonde reconnaissance pour l'aide précieuse et les conseils judicieux qu'il m'a prodigué pendant deux ans.

Monsieur Francis Louage et Monsieur Ladislas Paczy ont bien voulu accepter de juger mon travail et de faire partie de mon jury ; qu'ils en soient ici remerciés.

Mon travail a bénéficié d'une subvention du Ministère de l'Industrie et de la Recherche, je tiens à remercier cet organisme qui m'a également fait l'honneur de déléguer un de ses représentants à mon jury de thèse.

Je remercie aussi Monsieur Trottein représentant le Ministère de la Jeunesse et des Sports, de participer à mon jury.

Mon travail s'est déroulé dans le cadre des activités du Défi Français pour la Coupe de l'Amérique. Je remercie son président Mr Yves Rousset Rouard qui m'a fait confiance en m'incorporant à l'équipe de "France 3" pendant la durée des entraînements et des épreuves.

Je remercie également Mr Henri de Maublanc, Secrétaire Général du Défi Français pour la Coupe de l'Amérique, qui a bien voulu accepter de participer à mon jury.

Monsieur Georges Manfredi, Président de la Fédération Française de voile qui a permis de développer les activités du laboratoire dans le domaine du sport de la voile me fait l'honneur de participer à mon jury ; qu'il en soit ici remercié.

J'exprime aussi ma reconnaissance à Monsieur Lepan, ingénieur de la société Hewlett-Packard France pour l'aide précieuse que sa société nous a apporté et le remercie d'avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens également à remercier Monsieur Jacques Baudet pour ses conseils judicieux et ses réalisations parfaites.

Je remercie toute l'équipe de "France 3" qui m'a aidé à implanter le système à bord aux U.S.A., ainsi que tous les membres des ateliers d'électronique et de mécanique de l'USTL de l'aide sympathique qu'ils m'ont constamment apportée. Je désire enfin remercier tous les membres du personnel administratif et de service qui ont participé à la fabrication de mon mémoire de thèse.

P L A N

I MODELISATION D'UNE REGATE - DEFINITION DES VARIABLES D'ETUDES

I-1 Etude du parcours olympique

I-2 Besoins du régatier en matière de navigation et d'optimisation

I-2-1 Avant le départ

I-2-2 Au près

I-2-3 Allures portantes

I-3 Classification des besoins et faisabilité

I-3-1 Observations

a) Connaissance du milieu extérieur

b) Détermination du comportement du voilier

c) Actions de l'homme

I-3-2 Actions résultant de ces observations

a) Eléments extérieurs

b) Connaissance du parcours

c) Etude des voiles

d) Connaissance des performances du bateau

II CONCEPTION D'UN SYSTEME DE MESURE LIE A UN SYSTEME DE TRAITEMENT EN TEMPS REEL ET A UNE UNITE DE STOCKAGE DE MASSE

II-1 Cahier des charges

II-1-1 Utilisation en temps différé

II-1-2 Utilisation en temps réel

II-1-3 Contraintes

II-2 Architecture du système retenu

II-2-1 Capteurs

- a) Gite tangage
- b) Barre - trimmer
- c) Girouettes
- d) Anémomètres
- e) Speedomètres
- f) Compas
- g) LORAN

II-2-2 Système d'acquisition

II-2-3 Liaison système d'acquisition - Calculateur

- a) Chargement du programme
- b) Emission d'une séquence

II-2-4 Liaison LORAN - Calculateur

II-2-5 Calculateur

- a) Cahier des charges
- b) Essais de deux calculateurs
 - 1 - HP 9915
 - 2 - HP 9816 S

II-2-6 Alimentation

II-2-7 Afficheurs à cristaux liquides

- a) Organisation physique
- b) Organisation électronique
- c) Etude du dialogue HP - IB
- d) Dialogue retenu
- e) Electronique de transformation parallèle série
- f) Organisation d'une carte
- g) Service après-vente

III FONCTIONNEMENT DU SYSTEME - ANALYSE ET INTERPRETATION

III-1 Analyse en temps différé

III-1-1 Analyse de fichiers

- III-1-2 Abaques expérimentales
- III-1-3 Analyse des virements de bord
- III-1-4 Suivi d'abaques au près

- III-2 Programme de traitement en temps réel
 - III-2-1 Introduction
 - III-2-2 Présentation du fonctionnement
 - a) Entrée des données
 - b) Fonctionnement en boucle
 - III-2-3 Description des principaux calculs effectués
 - a) Calcul de la position des bouées
 - b) Lecture du LORAN et affinement de l'estim
 - c) Calcul du vent réel
 - d) Calcul des lay-lines
 - e) Calcul de perte au virement
 - f) Calcul de la force propulsive
 - III-2-4 Actions de l'utilisateur en temps réel
 - a) Les clés
 - b) Clavier interactif
 - III-2-5 Conclusions du programme de traitement en temps réel

ANNEXES

- Annexe 1 Electronique des capteurs Barre-Trimmer
- Annexe 2 Programme INIT-F3 de dialogue entre le calculateur et la centrale d'acquisition France 3
- Annexe 3 Composition du message de données émises par la centrale vers le calculateur, via une liaison série
- Annexe 4 Energie cinétique non restituée

" THE DEFINITION OF A BOAT IS A HOLE IN THE WATER INTO
WHICH ONE THROWS MONEY "

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

1) Origine de la recherche

Le travail que nous avons entrepris au laboratoire d'électronique et de radiopropagation dirigé par le Professeur GABILLARD est issu de ses recherches précédemment effectuées sur le sport de la voile.

En effet, il a été réalisé au laboratoire en 1979 une instrumentation complète à bord d'un dériveur de série olympique baptisé "470 labo" spécialement conçu pour la circonstance. Les capteurs installés à bord reliés à un micro-ordinateur permettaient d'objectiver le comportement de différents équipages qu'ils soient débutants ou confirmés. On se reportera à ce sujet à la référence (4) publiée par Christian DEVAUX.

En 1980, dans une suite logique du 470 a été réalisé un ensemble électronique embarqué sur une vedette dénommée "vedette météo", contenant des capteurs classiques (speedomètre, girouette, ...) associés à des capteurs météorologiques. Cette vedette d'études micro-météorologique a pour objet l'étude de la structure fine du vent dans les différents plans d'eau où se déroulent les compétitions internationales importantes. Elle a notamment été utilisée à La Baule, Hyères, Kiel et Los Angeles. On se reportera à ce sujet à la référence (5) publiée par Antoine VERNEY et à la référence (13) en cours de réalisation par Philippe GOUARD.

C'est donc tout naturellement vers le Professeur GABILLARD que se sont tournés Messieurs Yves ROUSSET-ROUARD et Henri de MAUBLANC, respectivement président et secrétaire général du Défi Français pour la Coupe de l'Amérique, afin de réaliser pour "FRANCE 3" un système électronique associé à un mini calculateur, destiné à l'optimisation de fonctionnement et à la navigation de "FRANCE 3".

Cette réalisation a été rendue possible par le soutien du M. R. T. (Ministère de la recherche et de la technologie) qui a accepté de financer cette réalisation scientifique, embarquée sur un voilier portant le nom du pays.

2) Définition des variables d'études

L'analyse des besoins existant sur un douze mètres en course, ainsi que le choix des paramètres à étudier et à enregistrer fait l'objet du premier chapitre. En voici les intitulés :

- Connaissance du milieu extérieur (Vent réel - Etat de la mer)
- Détermination du comportement du voilier et optimisation de celui-ci
- Actions de l'homme sur les appendices (barre et trimmer)
- Enregistrement des données sur disquettes sous forme de fichiers
- Navigation, c'est-à-dire situation du bateau par rapport aux marques de parcours et prévision des bords suivants.

Toutes ces données doivent être acquises et traitées en temps réel, avec un temps de rafraichissement de l'ordre de la seconde, pour respecter les contraintes dynamiques importantes des 12 mètres JI. D'autre part le système doit résister aux conditions d'humidité et de chocs auquel il est soumis en permanence.

3) Conception du système

Le système électronique et informatique embarqué comporte 4 groupes d'éléments :

- Les capteurs délivrent une tension ou une fréquence proportionnelle à la mesure effectuée.
- La centrale d'acquisition lit les différents capteurs 20 fois par seconde effectue des calculs et envoie un message vers un ordinateur suivant un cadencement programmable.
- Le calculateur, associé avec une unité de stockage de masse enregistrant les données, effectue les calculs d'optimisation, de navigation, et de vent réel, entre autres.
- Les afficheurs à cristaux liquides (LCD), répartis sur l'ensemble du bateau, sont gérés directement par le calculateur et peuvent ainsi afficher le résultat de n'importe quel calcul à l'ensemble de l'équipage.

Ces différents points font l'objet du deuxième chapitre qui traite de la conception et de la réalisation du système de traitement en temps réel.

4) Fonctionnement - Analyse et interprétation

Le fonctionnement du système se décompose en 2 parties bien distinctes. L'une concerne l'utilisation du système en temps réel à bord, et l'autre consiste en l'interprétation en temps différé à terre.

- Le stockage des données sur disquettes nous a permis d'effectuer des traitements différés à l'aide d'un deuxième ordinateur situé à terre. Ces différents programmes nous ont permis notamment de faire l'analyse des différents fichiers enregistrés, de créer les abaques du bateau à partir de l'expérimentation, d'étudier les virements de bord et enfin d'analyser le comportement du couple barre-voilier au près en le confrontant aux abaques. Ces fichiers forment une source de renseignements d'une valeur inestimable pour l'avenir du défi français pour la coupe de l'Amérique.

- Le programme de traitement en temps réel, embarqué pour les régates, du 1er mai au 15 août, comportait 5 phases principales de calcul :
 - Acquisition des données émises par la centrale
 - Calcul du vent réel et des lay-lines
 - Acquisition du LORAN et calculs de navigation
 - Optimisation des performances du bateau
 - Gestion des afficheurs à cristaux liquides

La description de ces programmes ainsi que les conclusions à tirer de leur utilisation figurent dans le chapitre 3 de ce rapport.

Chapitre 1

Modélisation d'une régates

Définition des variables d'études

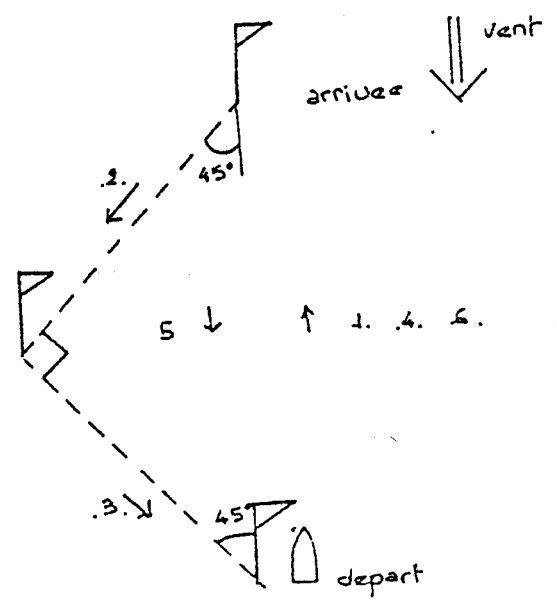
I MODELISATION D'UNE REGATE

DEFINITION DES VARIABLES D'ETUDES

I-1 Etude du parcours olympique

La coupe de l'America se déroule sur un parcours olympique. Comme le montre la figure 1, celui-ci se compose de 6 bords : 3 bords de près contre le vent, 2 bords de large, 1 bord de vent arrière. Le près est donc l'allure dominante qui représente 2/3 de la distance parcourue sur l'eau, mais chaque allure a ses besoins propres

Figure 1



I-2 Besoins du régatier en matière de navigation et d'optimisation

I-2-1 Avant le départ

Le régatier doit connaître la position du parcours qui est, en principe, donnée par le jury, ainsi que le vent réel en force et en direction. Celui lui permettra de choisir, d'une part les voiles correspondant à la force du vent et, d'autre part, le côté favorable de la ligne.

I-2-2 Au près

Comme à toutes les allures, le navigateur doit être capable de situer le bateau par rapport à toutes les marques du parcours. Il doit également sentir les évolutions du vent réel en direction, force, fréquence et importance des variations de manière à suivre le vent, et à décider de virer au moment opportun dans les refusantes*. Ces suivis de vent seront développés au Chapitre 3.

Le bateau doit suivre le meilleur compromis cap-vitesse pour assurer une remontée au vent optimale. La présence d'abaques indiquant la position idéale du bateau par rapport au vent ainsi que les caps à suivre sur les 2 bords est donc indispensable.

On doit connaître le cadre*, c'est-à-dire la position du bateau en fonction de la bouée suivante et du vent réel. C'est ce que l'on appelle situer à chaque instant la lay-line*.

On doit connaître enfin le vent apparent (en force et en direction) que rencontrera le bateau sur le bord suivant, de manière à préparer le bon spi et à se mettre tout de suite au bon cap sans perdre de temps, même si la visibilité est mauvaise.

I-2-3 Allures portantes

a) Au largue et au vent arrière

Le navigateur doit pouvoir annoncer à tout instant le cap compas et la distance à la bouée suivante, le courant étant pris en compte.

* Se reporter au Lexique

Il doit aussi prévoir le vent apparent en force et en direction sur le bord de près suivant, de manière à préparer le bon génois.

Il doit aussi recalculer les 2 caps tribord amure et babord amure au près, en tenant compte des variations de vent.

Il doit également se tenir prêt à modifier sa navigation en cas de changement de position de la bouée au vent*.

b) Au vent arrière

Le barreur doit en plus connaître l'angle optimal du bateau par rapport au vent qui assure le maximum de vitesse de descente dans le vent, ou VMG*. Les 2 caps tribord et babord amure doivent donc être affichés clairement.

I-3 Classification des besoins et faisabilité

I-3-1 Observations possibles

On peut noter trois grands groupes d'observations auxquels l'équipage doit avoir accès afin de pouvoir faire une bonne performance :

- la détermination du milieu extérieur (vent, courant, mer)
- la détermination du comportement du voilier (cap, vitesse, gite, dérive, position géographique)
- les actions de l'homme qui gèrent le bateau, interface entre l'homme et le milieu extérieur

a) Connaissance du milieu extérieur

Deux ensembles girouette - anémomètre nous fournissent la vitesse et la direction du vent apparent par rapport au bateau. Le premier groupe dirigé vers l'avant est utilisé au près, tandis que le deuxième groupe, dirigé vers l'arrière, est sélectionné aux allures portantes. On notera que les valeurs de ces capteurs sont à corriger du fait des variations d'assiette du bateau (gite-tangage), de la rotation de la tête de mât par rapport à sa base (Twist*) et de la déflexion des filets d'air en tête de mât (Upwash*).

L'influence de la dynamique est également très importante notamment dans les virements de bord où la composante latérale de la vitesse de la tête de mât, due à la variation de gite, peut atteindre 5 noeuds. Un paragraphe détaillant toutes les étapes du calcul du vent réel se trouve dans le Chapitre 3.

Le courant est obtenu par différence entre l'estime entretenue du bateau sur l'eau, et la localisation géographique par rapport au fond (latitude, longitude) obtenue par le LORAN.

L'état de la mer est plus difficile à évaluer mais l'écart-type du tangage sur 1 minute permet une bonne approche.

b) Détermination du comportement du voilier

- les angles de gite et de tangage sont mesurés avec des inclinomètres potentiométriques
- 2 speedomètres fréquentiels (1 de chaque côté de la coque) mesurent la vitesse du bateau.

- 1 compas électronique à flux gate permet de connaître le cap du bateau et de reconstituer la trajectoire du bateau, en combinant ces indications avec celles du speedomètre
- l'angle de dérive, entre le cap compas et la trajectoire réellement suivie par le bateau est déterminé par calculs à partir du moment de redressement du bateau et de l'angle de gite (cf Chapitre 3).

c) Actions de l'homme

On se limite à la mesure des angles des appendices de la coque qui sont mûs par le barreur : bare et trimmer.

Il serait en effet difficile de mesurer en permanence la tension des diverses écoutees et haubans, ce qui amènerait un nombre considérable d'informations difficiles à interpréter. Notons, toutefois, que l'équipage dispose d'hydraulique pour régler le grément, avec des indications de pression sur chaque vérin.

I-3-2 Actions résultant de ces observations

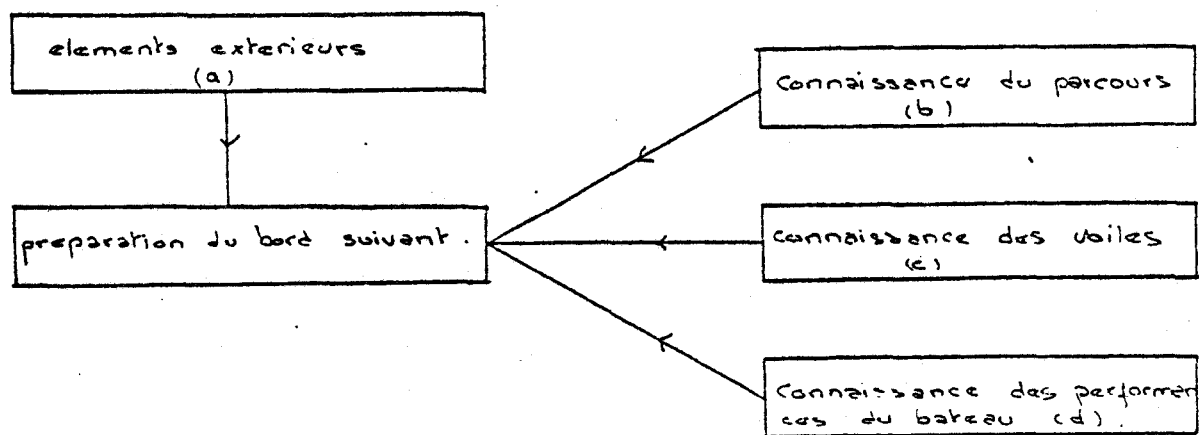
Une fois réalisées, ces trois types d'observations permettent deux types d'actions détaillées sur les figures 2 et 3 dont nous allons étudier les divers éléments.

a) Eléments extérieurs

Il n'y a pas d'action possible : "Eole" sera toujours le seul maître. Par contre, une étude répétitive du plan d'eau et de l'évolution des vents (synoptique) permet de faire de bonnes prédictions. Nous disposons à Newport d'un Centre Météo très performant, et de toutes les statistiques sur les conditions météo des régates depuis 1974.

Figure 2

PREVISION a court terme



Temps reel.

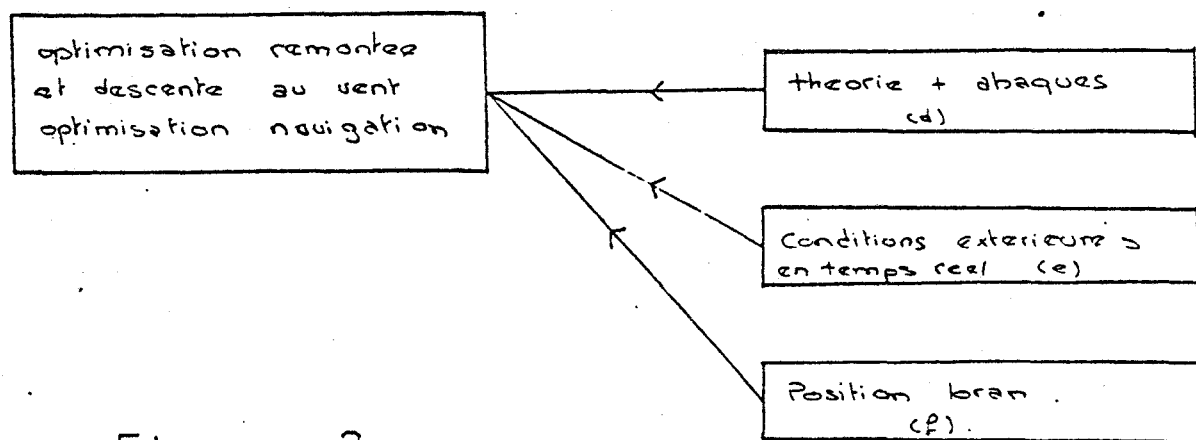


Figure 3



D'autre part, nous avons enregistré pendant tout l'été, à raison d'un point toutes les 4 minutes quand le bateau était en mer, la force et l'azimuth du vent réel, ainsi que l'heure et la position géographique du lieu de l'enregistrement.

b) Connaissance du parcours

Le comité de course mouille des triangles olympiques parfaits. Le diamètre du cercle est connu, ainsi que le relèvement magnétique de la bouée au vent. Le navigateur note la position en latitude et longitude de la bouée de départ, avant le départ, et connaît donc instantanément la position des 3 bouées, qui seront mises en mémoire du LORAN, et de l'ordinateur.

- c) L'étude des voiles ne fait pas partie du sujet. Le voilier du bord doit connaître parfaitement quelle voile est adaptée à tel type de temps. Pour les français au budget limité, ce n'est pas trop compliqué, mais pour les américains qui disposent de 150 spis et autant de génois, une mémoire informatique n'est pas superflue!

d) Connaissance des performances du bateau

Les programmes informatiques théoriques où l'on rentre la forme de la carène, et où l'on sort les possibilités du bateau sont simplement des approches de la vérité. Le programme de prédiction de vitesse [1] (V.P.P. : velocity program prediction), élaboré par le M I T n'a pas fourni pour France 3 les résultats escomptés.

La théorie devra rester un élément d'indication et devra être vérifiée par l'expérimentation qui, elle, donnera les performances exactes du bateau, si un système de mesure, relié à une unité de stockage de masse, est embarqué sur le bateau.

Ces performances seront alors utilisées en temps réel, et serviront d'étalon de référence pour le bateau.

L'optimisation sera alors réalisée avec l'homme comme filtre régulateur. Un affichage en temps réel sur des afficheurs à cristaux liquides pour l'équipage, et écran TV pour le navigateur, fourniront les conseils de la machine.

Jusqu'à présent, toutes les observations faites sur les voiliers tenaient surtout de la sensation. Un speedomètre ou une girouette électronique fournissaient quelques indications, mais le barreur n'utilisait que son toucher de barre.

La navigation restait entièrement une affaire de cartes, de compas à pointes sèches et de règle CRAS, tandis que les abaques ne provenaient pas toujours du bateau sur lesquelles elles étaient utilisées.

A l'occasion de la coupé de l'America, il est donc apparu intéressant de concevoir une centrale d'acquisitions de données, reliée à un système de traitement par ordinateur, et à une unité de stockage de masse, de manière à pouvoir étudier scientifiquement les voiliers lourds, à partir de données expérimentales réelles.

Chapitre 2

Conception d'un système de mesures

lié à un système de traitement en temps réel

et à une unité de stockage de masse

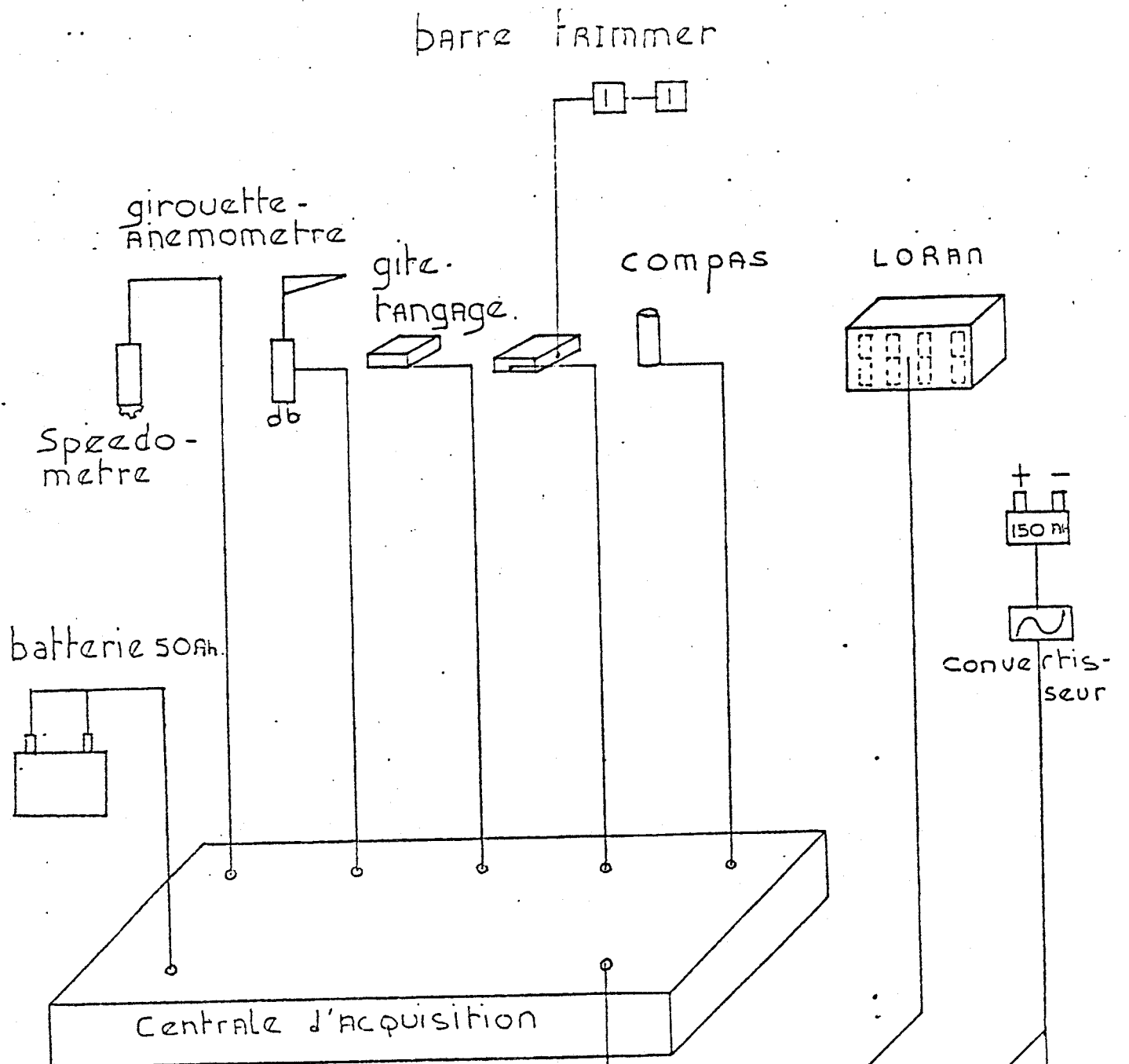
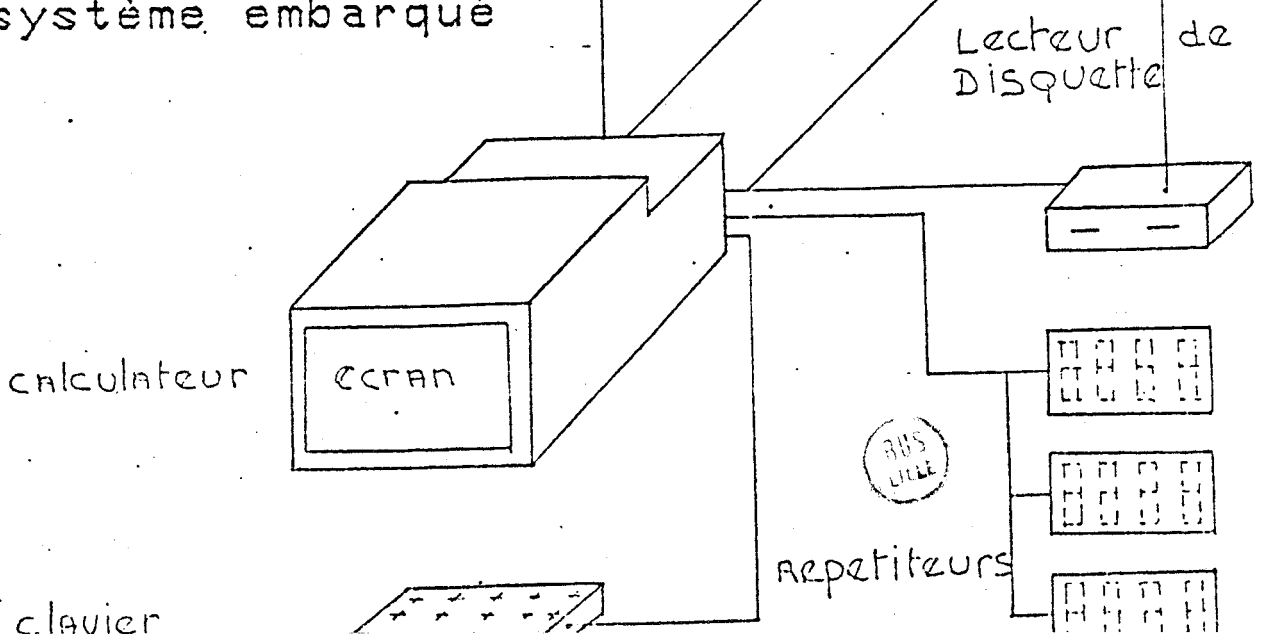
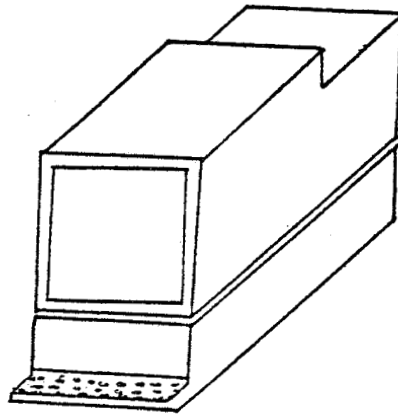


Figure 4
Architecture du
système embarqué

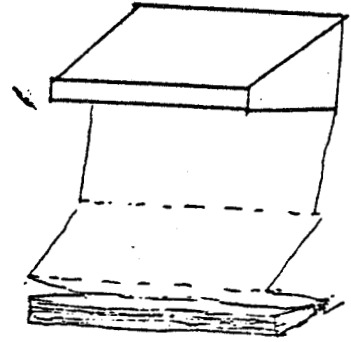




Disquette



clavier



Imprimante
graphique



matiere grise

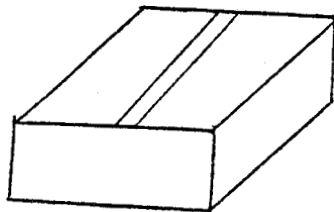
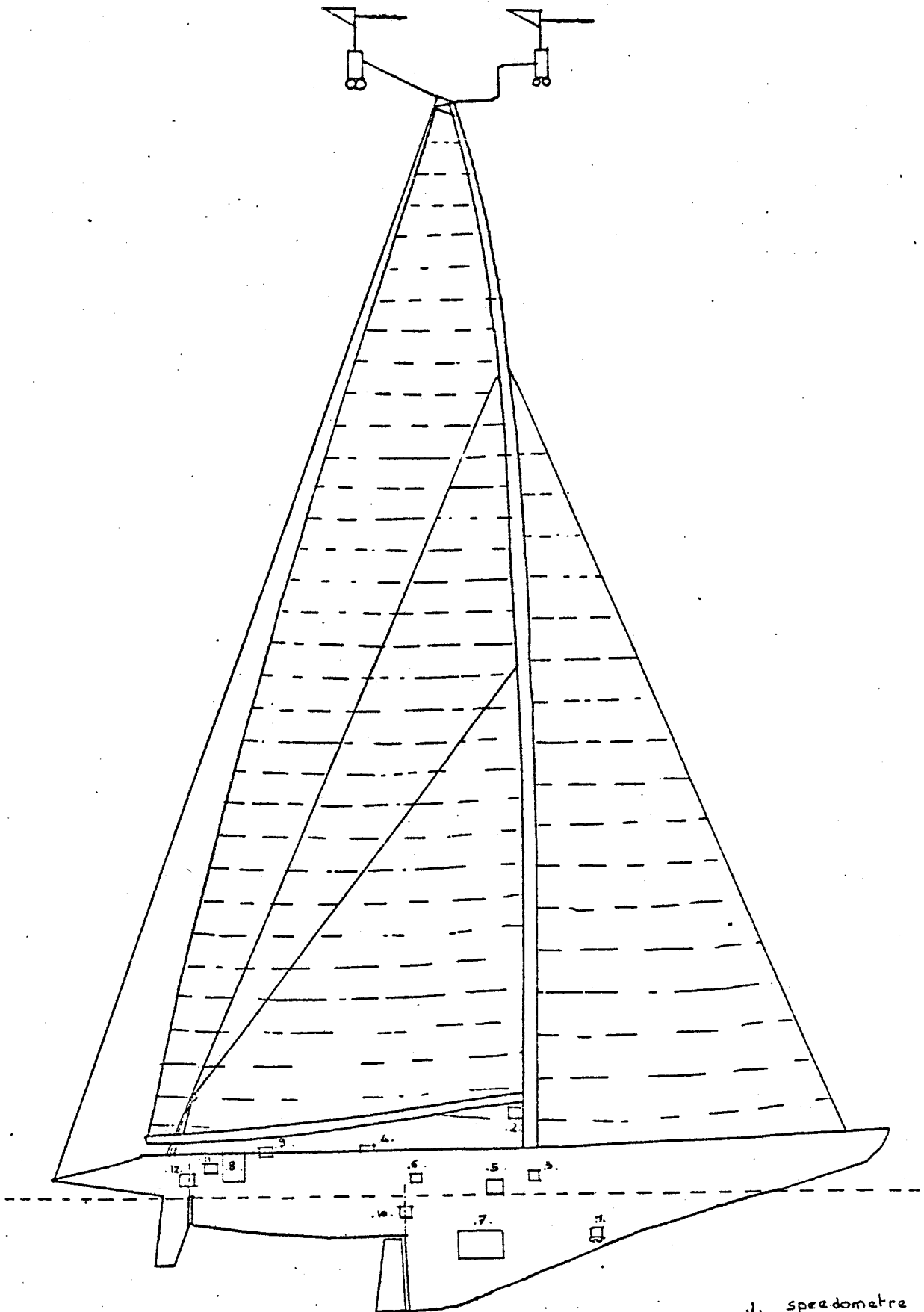


Table traçante

ARCHITECTURE DU SYSTEME A TERRE.

Figure 5





- 1. speedometre
- 2. repetiteurs
- 3. compas
- 4. afficheurs
- 5. centrale d'acquisition
- 6. gite tangage
- 7. batterie convertisseur
- 8. clavier + ordinateur + lora
- 9. repetiteurs
- 10. trimmer



Figure 6
Implantation des capteurs

II. CONCEPTION D'UN SYSTEME DE MESURE LIE A UN SYSTEME DE TRAITEMENT EN TEMPS REEL ET A UNE UNITE DE STOCKAGE DE MASSE

II-1 Cahier des charges

II-1-1 Utilisation en temps différé

Le matériel doit pouvoir servir à la mise au point du bateau étudié. A cet effet, le système de mesure doit être relié à une unité de stockage de masse destinée à collecter les données. Les fichiers de données sont dépouillés ensuite à terre, et des abaques de fonctionnement en sont déduites. Ce travail ne peut être effectué en temps réel car il exige un temps de calcul important, la connaissance de données postérieures afin d'effectuer des filtrages, et une place mémoire RAM importante, incompatible avec le programme de traitement en temps réel. Ces traitements à terre nécessitent de nombreux périphériques : lecteur de disque, imprimante graphique, table traçante, logiciel statistiques, etc ...

Le système doit pouvoir être embarqué sur plusieurs bateaux différents, à condition de résoudre les problèmes de compatibilités de capteurs, de longueur de câbles et de prises. Ainsi, il peut contribuer à régler des bateaux aussi différents que peuvent l'être un half-tonner, un 12 m J1 ou un multicoque participant à des courses transocéaniques.

II-1-2 Utilisation en temps réel

Une fois les relevés de fichiers effectués, et les abaques connues, le système doit avoir un rôle d'assistance en temps réel auprès

de l'équipage, de manière à lui permettre d'optimiser les performances du bateau, ainsi que sa navigation.

Ce système n'est, en fait, utilisable que sur des bateaux présentant une habitabilité, une autonomie d'énergie et un budget de fonctionnement suffisant pour installer l'ensemble à bord en quasi permanence. C'est le cas pour les challengers de la coupe de l'America et pour les grands voiliers transocéaniques.

II-1-3 Contraintes

Le système doit être embarquable, c'est-à-dire qu'il doit subir avec succès les tests suivants :

- Etanchéité totale et ventilation correcte
- Résistance aux chocs
- Résistance à la corrosion marine

II-2 Architecture du système

II-2-1 Capteurs

a) Gite - Tangage

Les capteurs de gite et de tangage sont constitués par des inclinomètres potentiométriques de marque HUMPHREY. Ces capteurs de forte sensibilité comportent un pendule de précision amorti dans un bain d'huile et entraînant un potentiomètre à forte résolution. La gamme est de ± 45 degrés pour la gite et de ± 20 degrés pour le tangage. La sortie de ces capteurs rentre sur deux voies analogiques de la centrale d'acquisition. Le réglage de zéro est fait une première fois au positionnement à

bord, et une deuxième fois en lecture de l'ordinateur.

b) Angles de barre et de trimmer

Les capteurs d'angles de barre et de trimmer sont composés de potentiomètres de précision de marque MCB, placés au-dessus des axes de barre et de trimmer, et reliés à ceux-ci par une fourchette permettant de pallier aux erreurs de cocentrage d'axes. Les informations provenant des potentiomètres sont ramenées à une carte électronique qui permet un réglage fin du zéro et qui gère 2 galvanomètres analogiques. Ceux-ci affichent une information à double pente : forte entre - 5 et + 5 degrés, de manière à noter le quart de degré d'écart, et faible de 5 à 45 degrés, de manière à apprécier le degré. Il est en effet très important de minimiser les angles des appendices, afin de minimiser la traînée. De plus, ces informations permettent de constater l'influence d'un réglage de gréement sur la tenue du bateau (mou* ou ardent*).

Ces 2 capteurs rentrent sur 2 voies analogiques différentielles (par rapport à la tension de zéro de barre - trimmer) sur le système d'acquisition.

Une description détaillée du plan des cartes électroniques et du fonctionnement de ces capteurs d'angles est contenue dans l'Annexe 1.

c) Girouettes

Nous avons sélectionné des girouettes électroniques de marque MCB, du type G 36 0A, agréées par la météorologie nationale.

L'axe de la pale entraîne un capteur de précision à piste plastique conducteur qui délivre, après traitement électronique, une tension proportionnelle à l'angle de la pale par rapport à une origine choisie. La tension de sortie varie de 0 à 3,6 V, soit 10 MV par degré d'angle. Cette tension entre sur la centrale par une voie analogique.

d) Anémomètres

Les anémo étanches proviennent également de chez MCB. Le moulinet entraîne un disque à fentes placé entre un émetteur de lumière à arséniure de gallium et un récepteur à phototransistor au silicium. Le générateur d'impulsions ainsi constitué délivre 18 impulsions par tour. On utilise cette sortie fréquentielle donnant 18 Hertz pour 1 m/s, qui rentre sur une entrée fréquentielle de la centrale d'acquisition.

L'anémomètre est doué d'un couple de rotation très faible, ce qui permet de mesurer des vitesses de vent inférieures à 0,5 m/s. Par tout petit temps, l'anémomètre de France 3 était le seul à fonctionner!

Par contre, cette absence de frottements amène un surcroît dans la mesure de vent apparent. En effet, le moulinet est lancé

Fichier :	D30F67	CAP	Moy = 305.39	Ec_type =	.44
Date :	21/06/82	Az Vr	Moy = -54.37	Ec_type =	1.31
Barreur :	NANNY	Vr	Moy = 2.89	Ec_type =	.02
Heure :	10.38	BS	Moy = .05	Ec_type =	.01
		Va	Moy = 2.94	Ec_type =	.03
		Gir	Moy = -.43	Ec_type =	.94

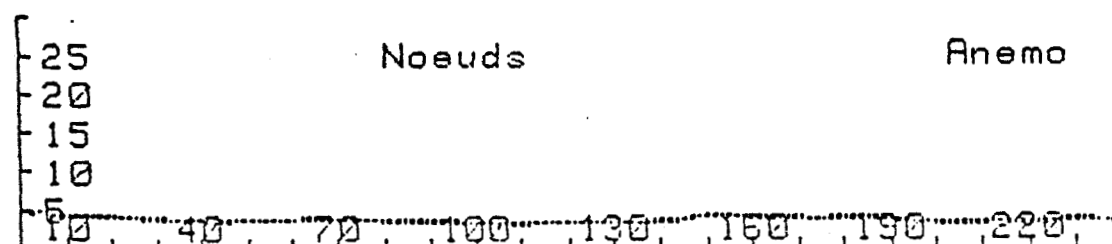
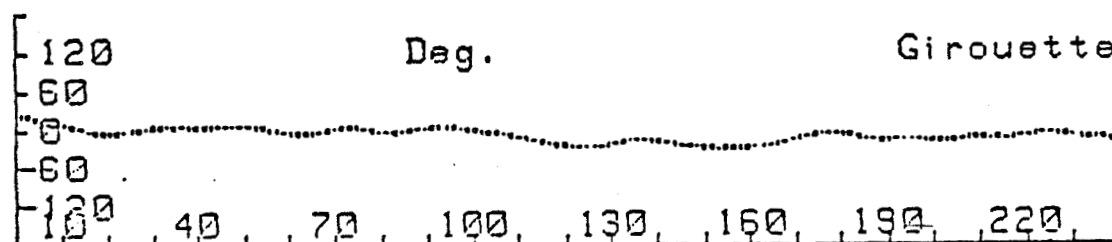
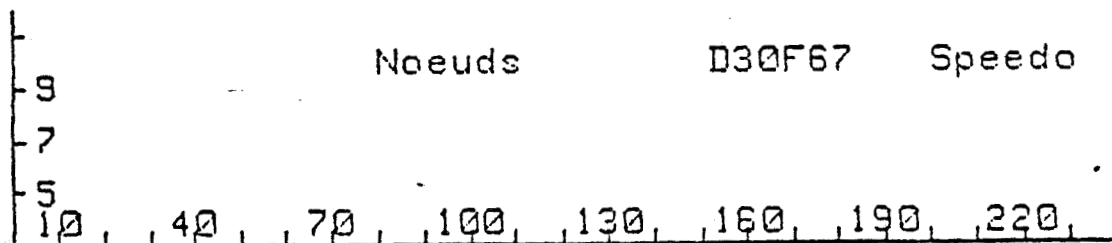
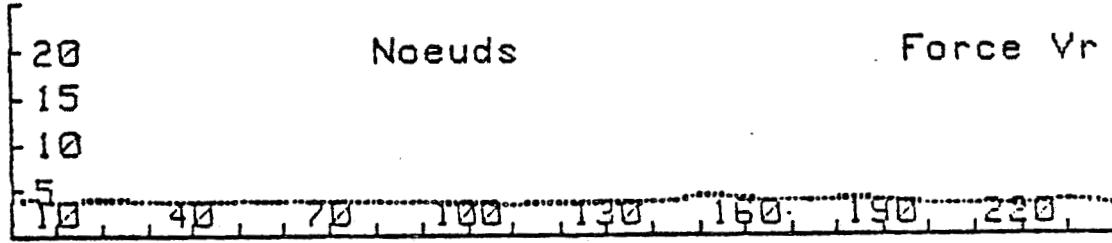
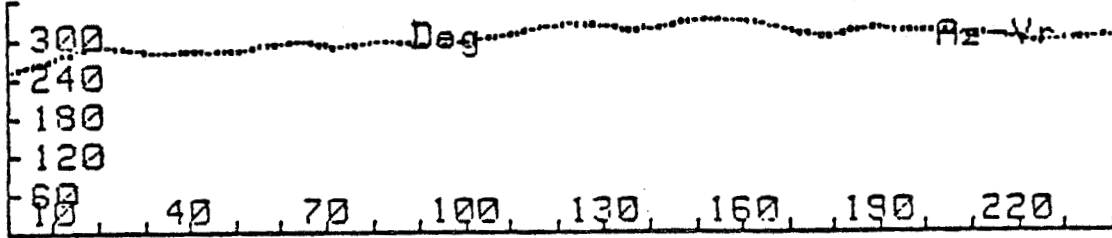
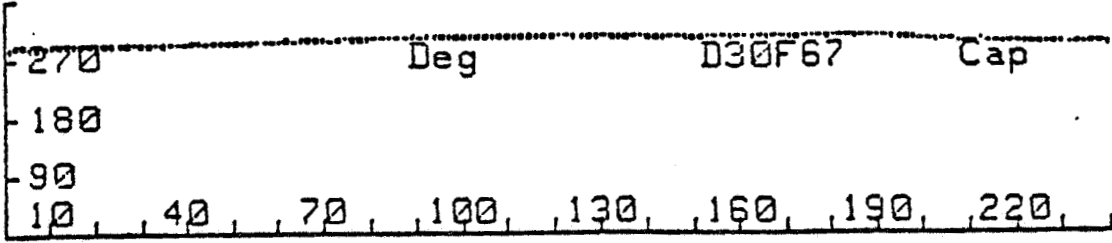


Figure 7

Influence du clapot sur l'anémomètre

dans les coups de tangage et ne s'arrête pas ; ceci est particulièrement sensible par petit temps avec du clapot. Il a donc fallu pondérer l'anémomètre, en fonction de l'écart type du tangage, qui reflète bien l'état de la mer.

Les diagrammes de la Figure 7 montrent les problèmes posés par l'anémomètre aux faibles vitesses de vent lorsque la mer est formée. Le clapot résident fait osciller la tête de mât, ce qui suffit à entretenir le mouvement de rotation de la coupelle de l'anémomètre.

Ici, le vent réel véritable est quasi nul, la vedette "Nanny" tire France 3 sous vitesse extrêmement réduite (0.05 noeuds) mais qui suffit à mettre la girouette dans l'axe, tant le vent est faible. L'anémomètre indique quand même 2.94 noeuds, ce qui est au moins 2 noeuds de trop.

"Nanny" a ensuite tiré France 3 à plusieurs paliers successifs, qui ont montré que cette erreur se corrigeait petit à petit. Tiré à 8 noeuds, l'anémomètre indiquait 8.5 noeuds.

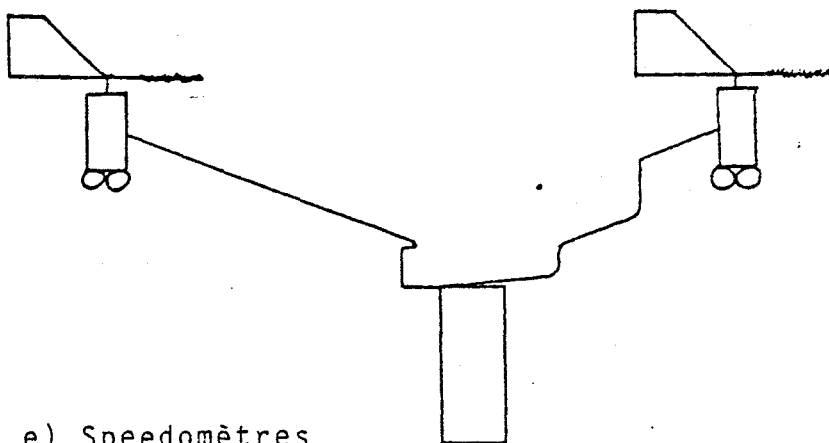
Nous avons donc été amenés à retirer de la valeur indiquée par l'anémo un offset variant de 0.5 à 1 noeud, suivant l'état de la mer.

Il est à noter que lorsque France 3 était penché sur son lift, et que le vent était très faible, l'anémomètre indiquait bien des très faibles valeurs de vent, du type 0.1 noeud, sans avoir besoin de retirer d'offset, ce qui montre bien que cette particularité est due au roulis.

Les 2 capteurs étaient livrés dans les boîtiers en alu anodisé de 30 cm de haut et de poids 600 g.

Ces dimensions et masses étant incompatibles avec les têtes de mât des 12 m J1, nous avons séparé les capteurs des cartes électroniques : la girouette a été associée à l'anémomètre dans un tube de taille classique, et les cartes électroniques ont été placées dans une boîte étanche située à l'intérieur de la coque avec le reste du système.

Ayant constaté des variations importantes de vent réel entre le près et les allures portantes, nous avons placé 2 groupes en tête de mât : 1 orienté vers l'avant pour le près, et 1 orienté vers l'arrière pour le portant.



e) Speedomètres

Les speedomètres sont composés de génératrices tachymétriques qui délivrent un signal dont la fréquence varie linéairement en fonction de la vitesse. Nous utilisons des capteurs Signet dont le signal de sortie a une fréquence de 8 Hz par noeud.

Ce signal entre sur une entrée fréquentielle du système d'acquisition. Pour avoir une précision au 1/100ème de noeuds, demandée par le barreur, le système d'ac-

Partie du Signal de mesure

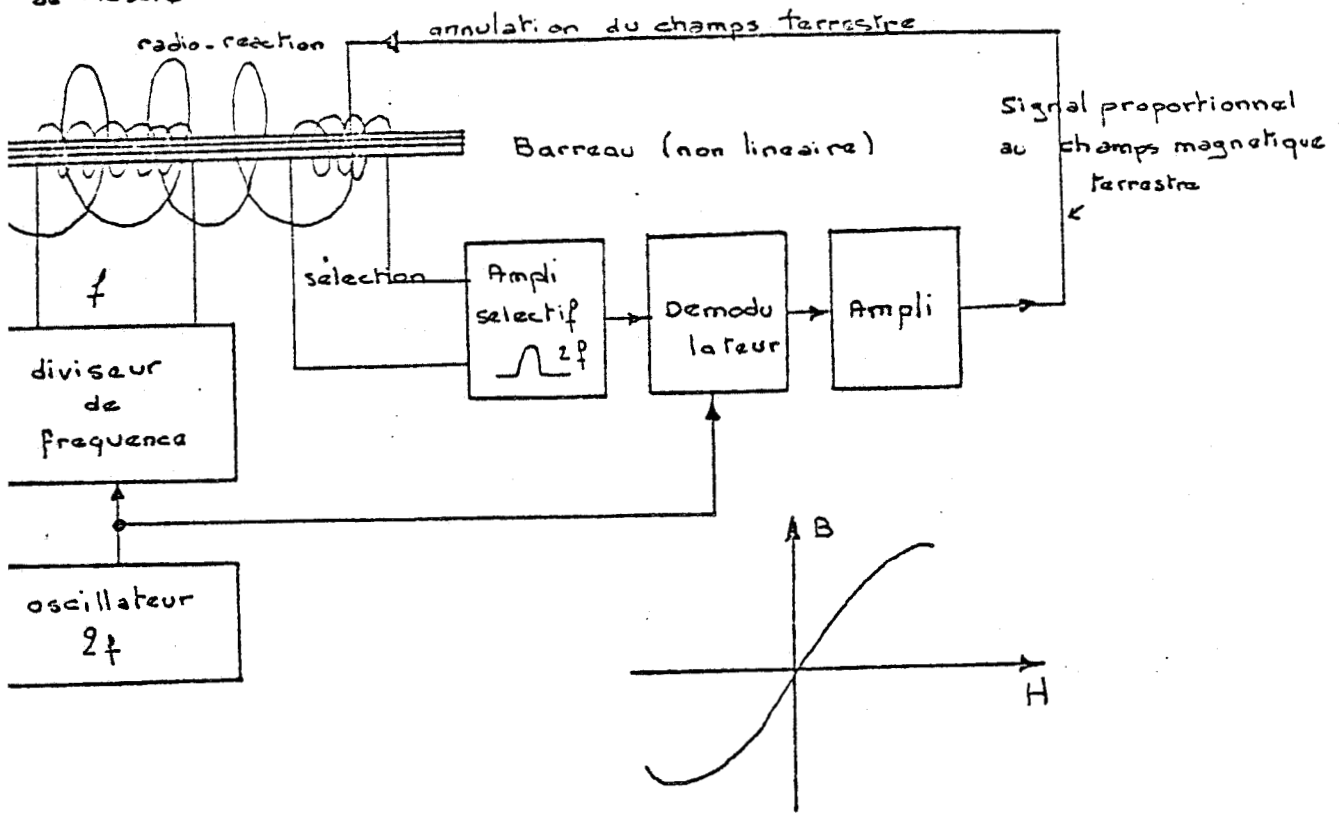


Figure 8

Schéma de principe du compas à flux gate

quisition compte le nombre de tops et lance une rampe analogique à chaque top. La valeur de la rampe analogique aux 2 extrémités du décomptage affine la précision.

f) Compas

Un compas électronique à flux-gate MCB du type CMS 410 donne le cap magnétique. Les 2 magnétomètres orthogonaux du capteur sont montés sur un joint de cardan immergé dans un bain d'huile amortisseur. Ce dispositif doit être placé loin de toute masse magnétique et aussi près que possible du centre instantané de rotation du bateau. Pour le principe, se reporter à la figure 8.

France 3 étant un bateau en aluminium avec un accastillage comprenant des pièces métalliques, nous avons établi une courbe de déviation du compas qui a été intégrée dans le calculateur embarqué.

g) LORAN

La position du bateau sur le fond est donnée par un récepteur LORAN C.

Le sigle LORAN provient de l'abréviation de Long Range Aid to Navigation. C'est un système de navigation hyperbolique développé par l'US Navy permettant une localisation à moyenne et grande distance de 500 à 1 000 milles [2].

Des couples de stations Maître et Esclave émettent des impulsions à front raide exactement synchronisées, c'est-à-dire que l'Esclave émet avec un certain retard

caractéristique lorsqu'elle a reçu le signal du Maître. Le récepteur situé sur le bateau permet de mesurer en microsecondes l'intervalle de temps qui sépare l'arrivée des impulsions Maître et Esclave. Cet intervalle définit la position de l'hyperbole, lieu du navire.

Le LORAN C fonctionne sur une fréquence porteuse de 90 à 110 kHz apte à la propagation à longue distance. Les impulsions de durée 270 microsecondes sont émises par groupe de 8 ou elles sont séparées par des intervalles de 1 000 μ s. La station Maître émet pour identification une 9^{ème} impulsion, 1 300 microsecondes après la 8^{ème}.

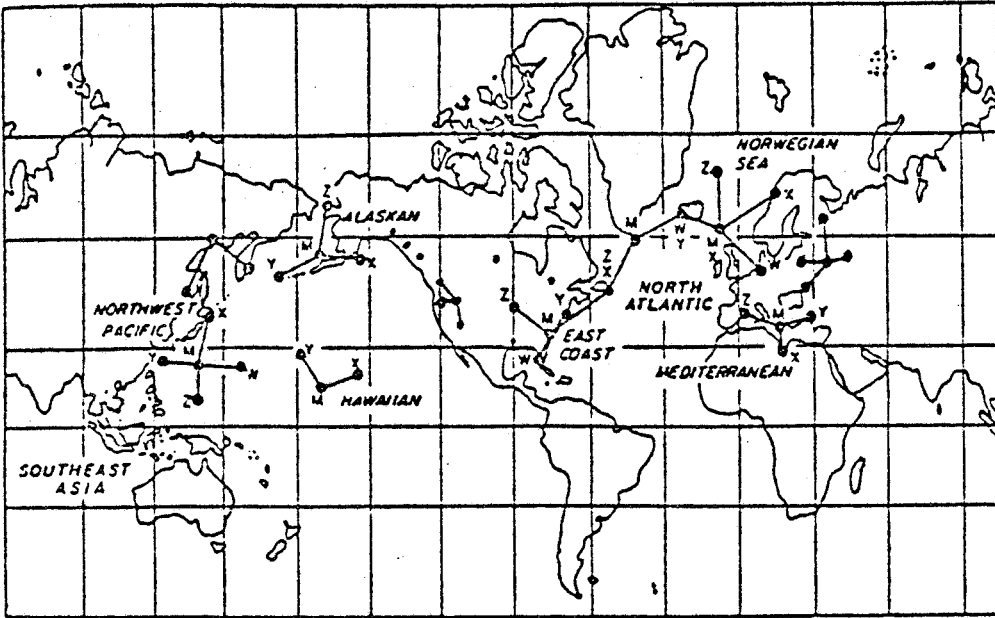
La synchronisation entre les stations est assurée par des oscillateurs au césium qui contrôlent la phase à \pm 200 nanosecondes près. En cas d'anomalie dans la synchronisation des stations, il y a clignotement (blinking) de la 9^{ème} impulsion du Maître.

Les émetteurs LORAN sont regroupés en chaînes qui comprennent un Maître (M) et au moins 2 ou 3 Esclaves (X,Y,Z), situés à quelques centaines de milles autour.

La couverture LORAN s'étend parfaitement sur l'ensemble des U.S.A. mais est très imparfaite à Lille, ce qui nous a obligés à utiliser un simulateur de LORAN, pour effectuer la mise au point du système. La figure 9 représente l'implantation des diverses chaînes LORAN dans le monde.

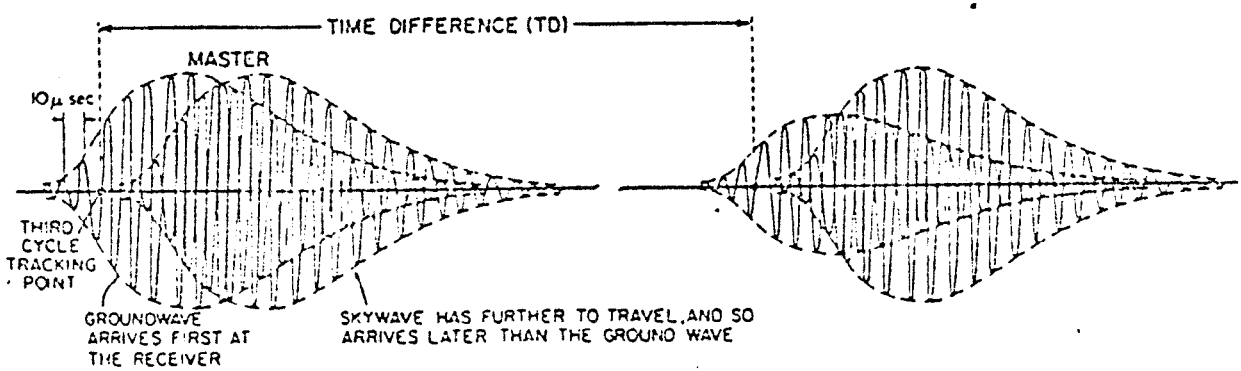
Mesure de différence de temps

Une partie de ces informations provient de la brochure [3] éditée par Trimble



LORAN TRANSMITTER CHAINS WORLD-WIDE

Figure 9



RECEIVER TRACKS THIRD CYCLE OF THE FIRST PULSE TO ARRIVE, THIS WILL ALWAYS BE THE GROUNDWAVE

LORAN PULSE SHAPES

Figure 10



Navigation.

Le signal émis par les stations est mesuré par le récepteur LORAN en prenant le passage au zéro à la 3ème période. La différence de temps est alors mesurée avec une précision du centième de microseconde. La figure 10 représente les signaux reçus en provenance d'une station Maître et d'une station Esclave, et montre comment le récepteur LORAN obtient la précision. Les ondes directes parviennent toujours au récepteur en premier. Les ondes réfléchies sont donc éliminées puisque le LORAN considère la 3ème période du premier signal arrivé.

La distance entre le récepteur et l'émetteur étant proportionnelle au temps que met le signal à arriver, on peut établir les courbes de "différences de temps constantes" qui sont des hyperboles ayant pour foyers la station Maître et une station Esclave. L'intersection de plusieurs hyperboles provenant de différents couples "Maître-Esclave", détermine la position du récepteur.

Le LORAN embarqué sur France 3 utilise un micro-processeur qui possède en mémoire le contour des côtes. Il corrige donc automatiquement les temps de propagation en fonction du pourcentage de parcours terrestre des ondes entre l'émetteur et le récepteur. En effet, la vitesse de propagation des ondes est différente au-dessus de la terre et au-dessus de la mer. D'autre part, il sélectionne automatiquement les filtres à utiliser en fonction des différents émetteurs.

Le constructeur garantit une précision de 0,15 mille nautique, soit 275 m. En fait, la précision observée était bien meilleure (20 m) et la répétabilité parfaite, à condition d'associer un calculateur au LORAN. Le LORAN envoie un message toutes les 7 secondes environ, et ce message peut avoir été acquis 20 secondes auparavant. Le point fourni par le LORAN correspond donc à une position antérieure du bateau. Pour obtenir le point exact, il faut y ajouter l'estime du trajet effectué depuis l'acquisition du point.

Cette correction est effectuée par l'ordinateur qui utilise les indications du compas, du speedomètre, et du courant. Le courant est lui-même déterminé par comparaison entre l'estime et les points successifs fournis par le LORAN.

II-2-2 Système d'acquisition

C'est l'interface entre les capteurs et l'ordinateur. Il doit donc gérer 8 entrées analogiques (2 girouettes, barre, trimmer, gîte, tangage, compas (2)), pour la plupart différentielles, et 4 entrées fréquentielles (2 speedomètres et 2 anémomètres). Tous ces capteurs sont interfacés et amplifiés par une carte "Entrée Analogique" et une carte "Entrée Fréquentielle".

Une carte multiplexeur prend 1 point de mesure toutes les 50 ms sur les entrées analogiques.

Une carte CPU organisée autour d'un microprocesseur du type IM 8060 gère l'ensemble, ainsi que l'UART qui envoie un message donnant une indication sur chaque capteur au calculateur.

Ce système est le fruit de l'expérience du laboratoire. Il dérive de la centrale d'acquisition embarquée sur le 470 en 79 [4], et de celle embarquée sur la vedette météorologique en 80 [5] puis sur le canoë kayak depuis 82 [6]. A la suite de ces réalisations, il est apparu intéressant de pouvoir changer le programme de la centrale d'acquisition à la demande, attendu que ce système est destiné à être couplé à un ordinateur. Cela a donc permis de limiter le programme résidant en ROM à un programme minimum de dialogue avec le ordinateur, permettant le chargement d'un programme plus important en mémoire RAM, pouvant être modifié facilement par l'utilisateur du ordinateur utilisant, lui, un langage évolué.

Le programme sur RAM du système d'acquisition France 3, long de 595 octets, est donc stocké sur micro-disquette et est envoyé depuis le ordinateur sur le système d'acquisition, grâce au dialogue que nous allons détailler. Les possibilités de changement de programme les plus utilisées sont la variation du cadencement du message émis par la centrale de 400 ms à 12,8s et la possibilité de changer les coefficients d'étalonnage des différents capteurs. Ceci est particulièrement utile pour la girouette dont le répétiteur est géré directement par la centrale.

Cette centrale a fait l'objet d'un rapport interne [9].

II-2-3 Liaison système d'acquisition ↔ ordinateur

Une liaison de type série a été choisie, du

fait de sa simplicité de mise en oeuvre et du nombre restreint de conducteurs nécessaires. Les 2 éléments communiquant entre eux sont l'UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) du système d'acquisition, et une interface série du ordinateur. La liaison respecte la norme RS 232 C et la vitesse de transmission adoptée est 4 800 bauds. La norme RS 232 C est un standard international permettant de réunir 2 périphériques par l'intermédiaire d'une liaison série [7]. Ce standard est représenté sur la figure 12.

Chaque octet comprend 8 bits de données, sans bit de parité et nous utilisons un seul bit de stop.

Les échanges entre le ordinateur et le système d'acquisition sont de deux ordres : le chargement initial du programme du système d'acquisition, et l'envoi de données du système d'acquisition vers le ordinateur.

a) Chargement du programme de la centrale d'acquisition (INIT - F3)

Ce chargement se déroule en 3 phases :

- le ordinateur envoie le programme au système d'acquisition
- le système d'acquisition renvoie ce qu'il a reçu
- le ordinateur compare, et recommence la procédure s'il a décelé une erreur

Ce dialogue nécessite 2 lignes de données (rentrant et sortant), 1 ligne de dialogue sortant du système d'acquisition (CTS) et 2 lignes de dialogue sortant du calcula-

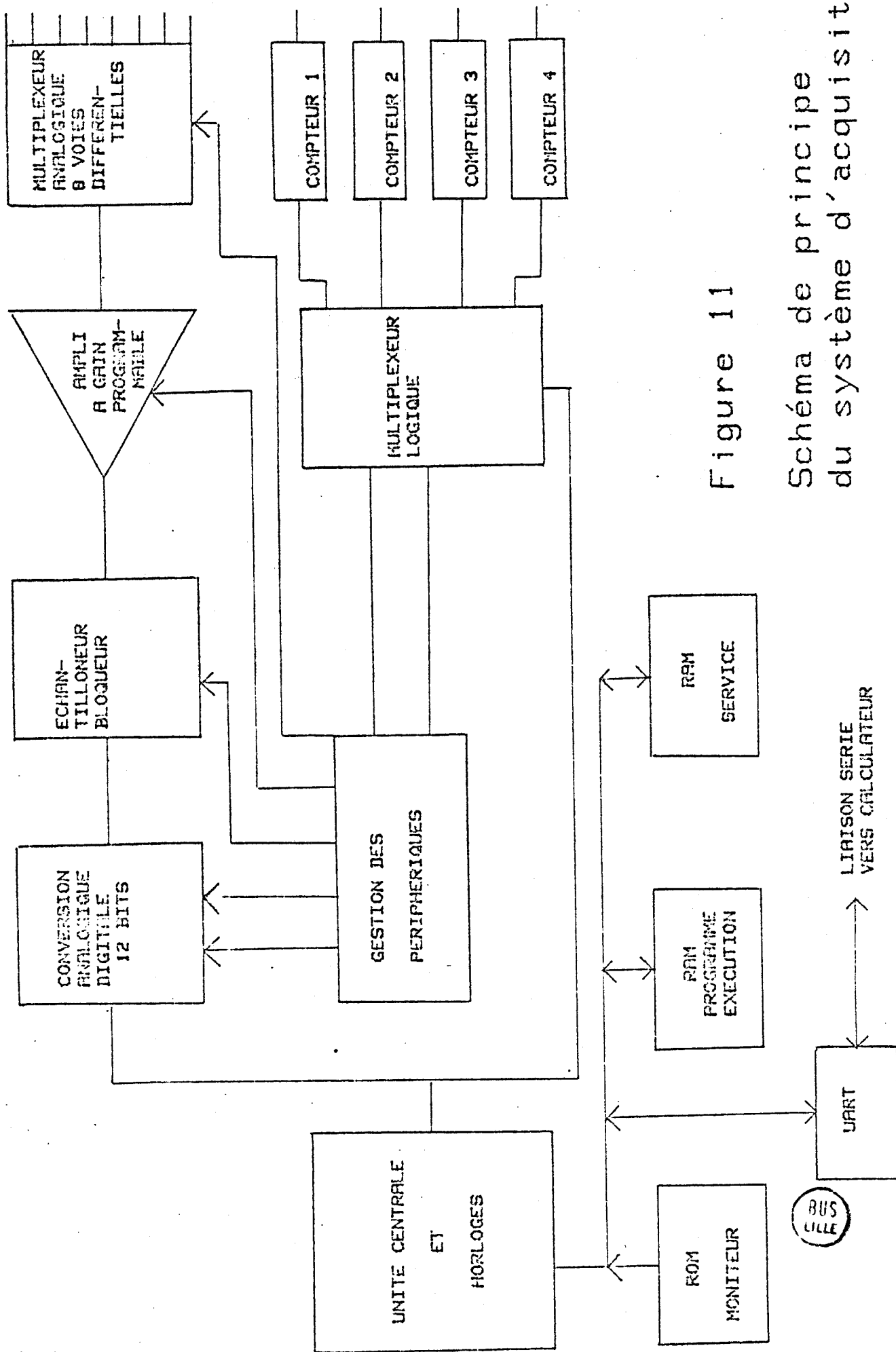
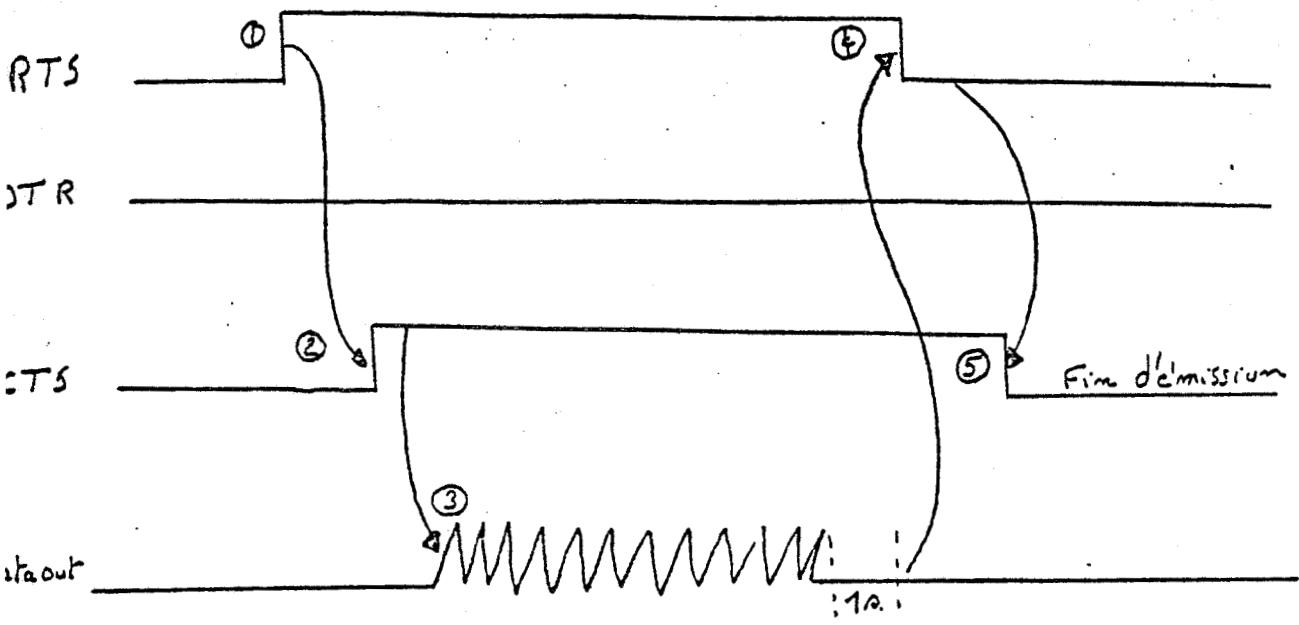


Figure 11

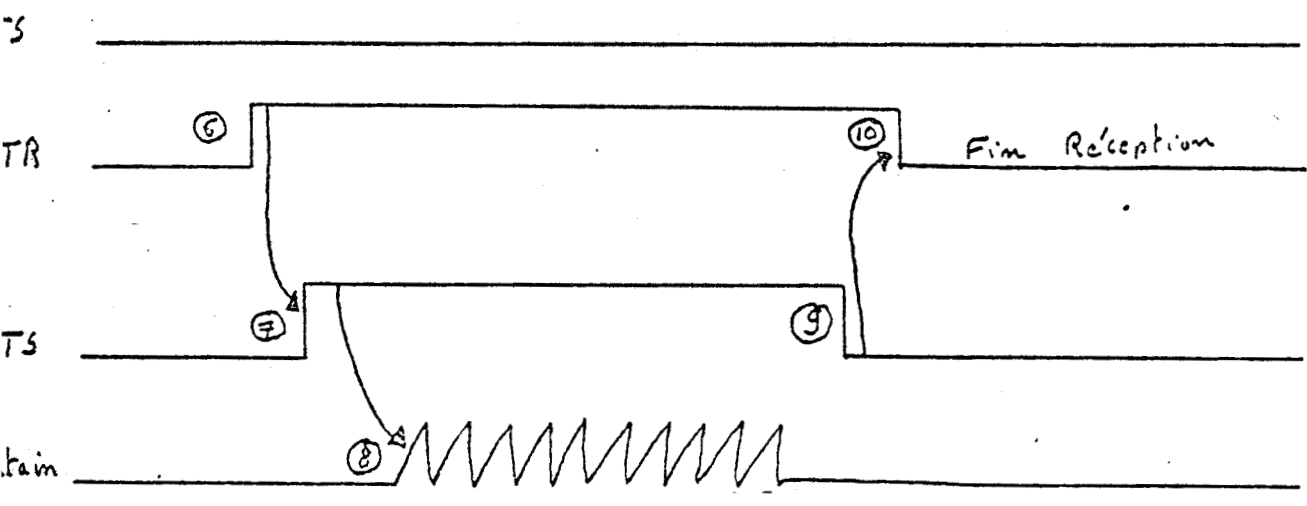
Schéma de principe du système d'acquisition

Emission

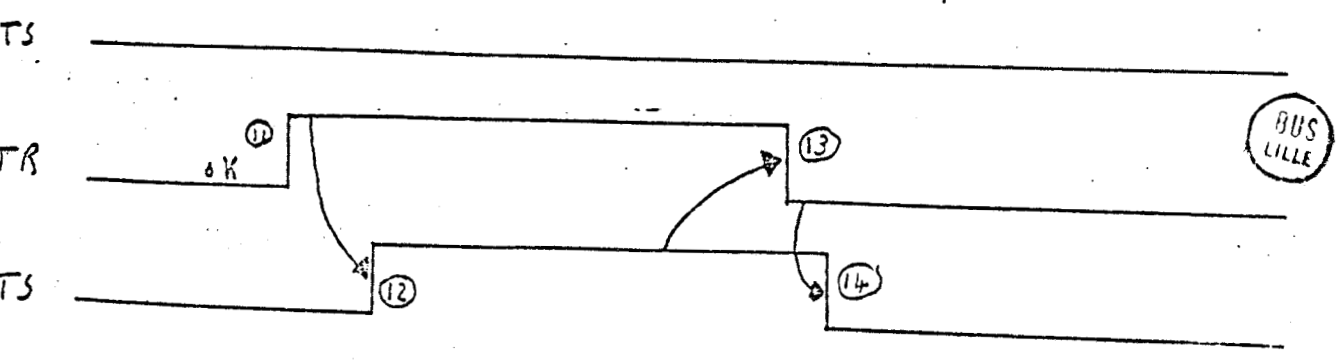
Figure 13



Réception



Compaision O.K. :



teur (RTS - DTR).

Dialogue de chargement du programme de l'ordinateur vers la centrale d'acquisition

Voir aussi Figure 13

Lorsque le calculateur veut envoyer le programme, il place sa ligne de sortie RTS à l'état haut (1). Cela est aussi valable dans le cas où la centrale d'acquisition a déjà un programme chargé et que l'utilisateur désire en charger un autre.

La centrale répond en plaçant sa ligne CTS à l'état haut (2), ce qui signifie qu'elle est prête à recevoir les données. Le calculateur envoie alors les 595 octets de programmes sur le port de sortie (3), attend une seconde, et place la ligne RTS à l'état bas (4), ce qui signifie que le transfert de datas est fini. La fin de l'émission est effective quand la centrale replace la ligne CTS à l'état bas (5).

Dans une deuxième phase, la centrale d'acquisition renvoie le programme qu'elle vient de recevoir, afin que le calculateur vérifie l'absence d'erreurs de transmission. Le calculateur annonce qu'il est prêt à recevoir les données en plaçant la ligne DTR à l'état haut (6). La centrale place alors sa ligne CTS à l'état haut (7) et envoie 595 octets sur son port de sortie (8). Ensuite, elle ramène la ligne CTS à l'état bas (9) pour indiquer la fin du transfert. Le calculateur répond en plaçant la ligne DTR à l'état bas (10).

L'ordinateur compare le programme original et le programme relu. S'il constate une erreur, il reprend l'émission, en plaçant la ligne RTS à l'état haut (phase (1)).

S'il n'y a pas eu d'erreur de transmission, le calculateur l'indique à la centrale en plaçant sa ligne DTR à l'état haut (11). La centrale répond en plaçant sa ligne CTS à l'état haut (12). La procédure se termine quand l'ordinateur ramène DTR à l'état bas (13), suivi par la centrale qui ramène CTS à l'état bas (14).

L'initialisation de la centrale est alors terminée, et le système commence à jouer son rôle de centrale d'acquisition.

Tous les numéros se rapportent à la figure 13 qui représente le diagramme temporel du dialogue calculateur - centrale.

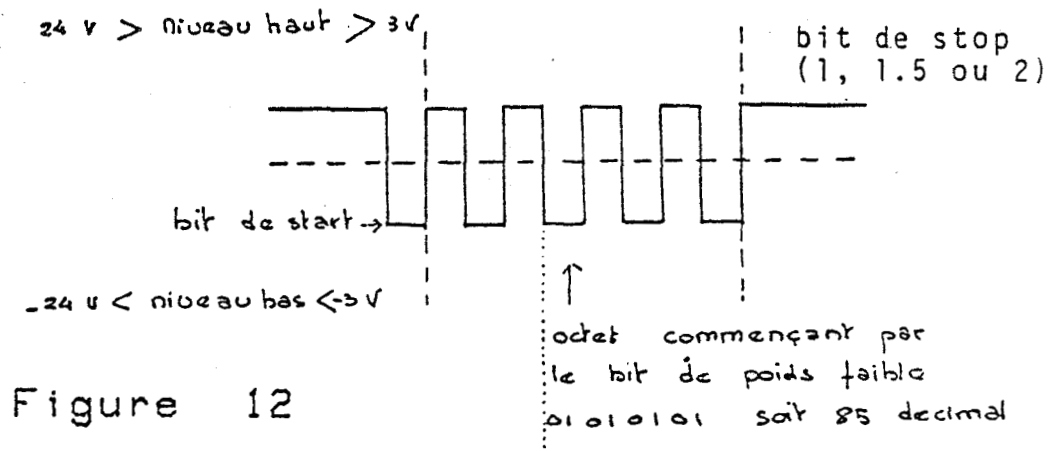


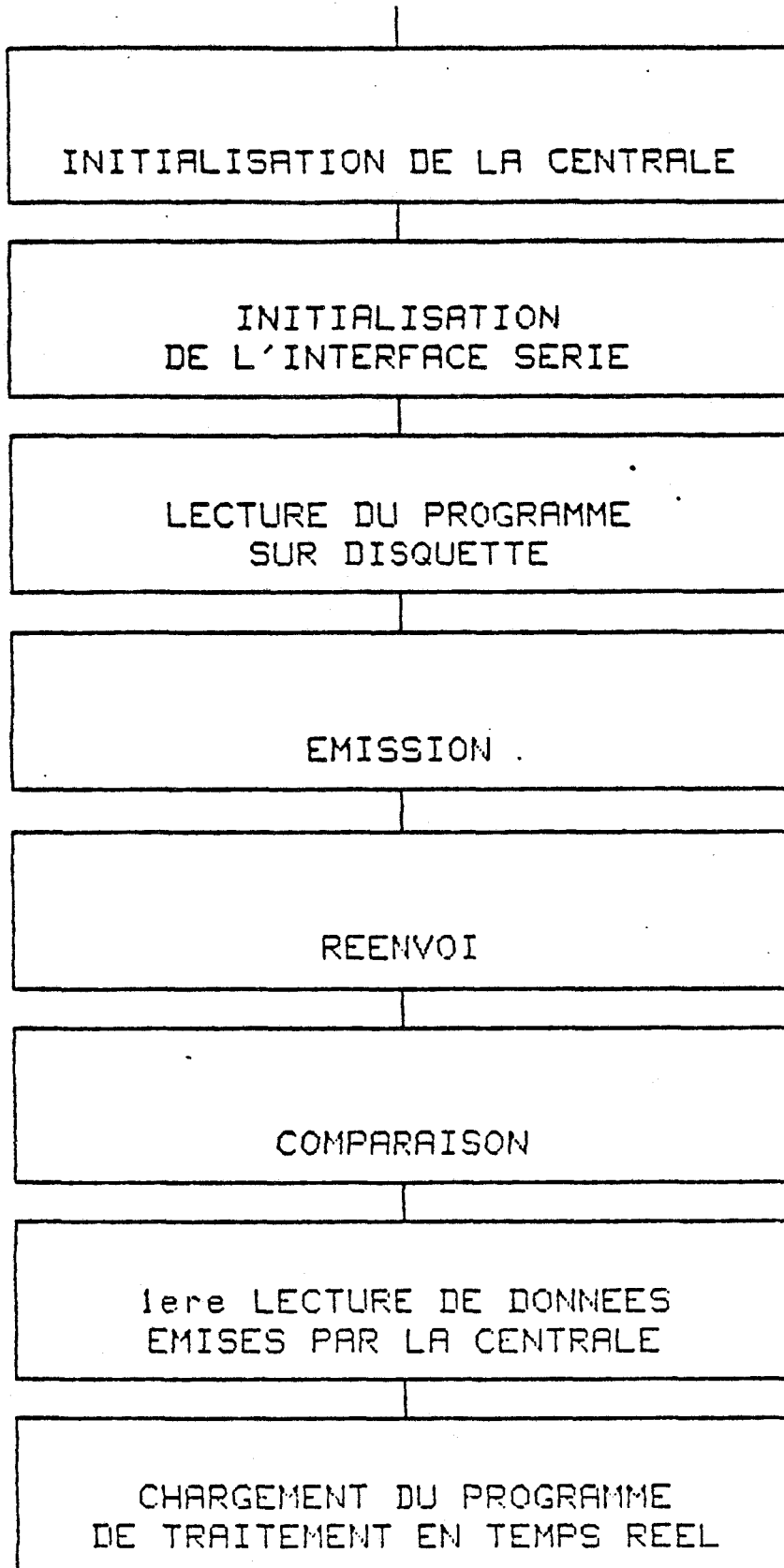
Figure 12

b) Emission d'une séquence de données de la centrale vers le calculateur

Le dialogue pour le fonctionnement permanent du système est beaucoup plus simple.

L'UART du système d'acquisition envoie en effet 36 octets qui composent son message, en plaçant la ligne RTS à 1 au début du message, et en la ramenant à 0 à la fin. Il faut noter que cette ligne RTS n'est pas indispensable, le bit de start du premier octet se présentant sur le port d'entrée

Figure 14



Organigramme de INIT_F3

série du calculateur suffisant à activer le transfert. La ligne RTS sert uniquement à ne pas décaler le message, au cas où le programme du calculateur aurait été interrompu et où il voudrait reprendre la main au milieu d'une transmission.

Le calculateur ne répond pas lorsqu'il a reçu le message et le système d'acquisition n'attend pas de réponse.

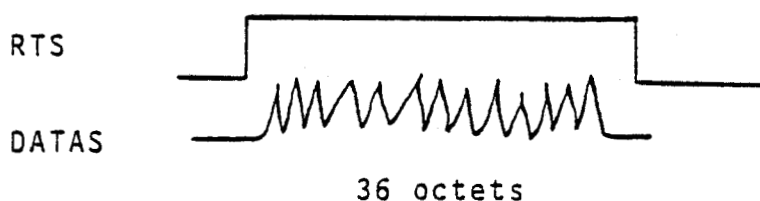


Figure 15

Les datas sont codés en binaires sur 2 octets, le premier octet représentant les 8 bits de poids fort.

Les datas toujours positifs (speedo, anémo, NB gir, V référence, gite, tangage) sont codés de 0 à 65535.

Pour les datas pouvant changer de signe (Sin Cap, Cos Cap, Sin Gir, Cos Gir, barre, trimmer), un offset de 32768 est rajouté.

La composition du message se trouve dans l'Annexe 3).

II-2-4 Liaison LORAN → Calculateur

Le LORAN utilisé à bord, de type Trimble 100A est équipé en option d'une sortie série RS 232 C permettant l'interfaçage avec un calculateur.

Contrairement à la liaison série existant entre le calculateur et le système d'acquisition, le dialogue est inexistant : le calculateur est simplement alerté par le bit de start de la première donnée. D'autre part, la liaison ne s'effectue que dans le sens LORAN → Calculateur. Le message émis par le LORAN comporte 204 octets donnant des indications sur la latitude, la longitude, la vitesse et le cap sur le fond, la distance et le cap à la destination rentrée en mémoire, l'écart de route, et la qualité du signal reçu.

Le calculateur n'utilisera que les 25 premiers octets qui concernent la latitude et la longitude, car il calcule lui-même de manière plus fréquente et plus adaptée en temps réel les autres indications fournies par le LORAN. Par contre, les autres indications sont utilisées comme moyenne glissante à long terme (1 à 9 minutes) et visualisées sur l'afficheur à cristaux liquides intégré au LORAN. Le rafraîchissement du point LORAN vers le calculateur s'effectue toutes les 7 à 15 s, à la vitesse de 1 200 bauds.

L'utilisation de 2 interfaces série différentes, et les possibilités de bufferiser les entrées / sorties permettent de faire les acquisitions simultanées du LORAN et de la centrale d'acquisition.

Le programme de traitement en temps réel consulte le registre d'entrée du LORAN toutes les 1.6 s, et valide une nouvelle position LORAN, si le registre s'est rempli depuis la dernière scrutation.

II-2-5 Calculateur

Le premier calculateur à avoir été embarqué

sur un bateau était un HP 9825 en 1977 sur "COURAGEOUS" qui remporta la coupe. Il servait alors de simple aide pour calculer des fonctions spéciales.

Cette année, beaucoup de concurrents embarquent des calculateurs [10] pour aider à optimiser la marche du bateau, mais c'est France 3 qui a poussé la démarche le plus loin, en plaçant un ordinateur comme centre essentiel de l'électronique du bateau.

Les inconvénients sont évidents : aucun matériel n'a été conçu pour résister aux traitements imposés par la navigation sur un 12 m J1, et si l'ordinateur tombe en panne, il n'y aura plus d'électronique à bord.

Nous avons pris ce risque car, d'un côté, les avantages sont énormes. Tous les autres concurrents disposaient d'électronique du commerce, avec des programmes sur ROM figés, qui effectuaient toujours les mêmes calculs, auxquels l'utilisateur n'a pas accès. Or, quand on voit, par exemple, comment bouge la tête d'un 12 m, on comprend très vite qu'il vaut mieux avoir accès aux calculs si l'on veut obtenir une indication de vent réel correcte.

Le simple fait de changer de mât nous a obligés à changer tous les étalonnages, du fait du changement de structure et d'évolution de la tête de mât.

Sur simple demande du barreur, ou de l'équipier concerné, les afficheurs peuvent changer de fonction, chose impossible sur les autres 12 m. La souplesse du système est donc absolue.

Les seuls problèmes techniques que nous ayons jamais eu avec le ordinateur sont une panne d'alimentation à Miami, car le convertisseur était sous-dimensionné, et un problème de disquette voilée à Newport, ce qui prouve que ce choix n'était pas déraisonnable.

a) Cahier des charges du ordinateur

Nous avons besoin essentiellement d'un ordinateur léger pour ne pas surcharger l'arrière du bateau, mais embarquable, c'est-à-dire suffisamment résistant aux chocs et à l'humidité. Il devait avoir une consommation raisonnable, de manière à pouvoir être alimenté par un convertisseur de camping de 200 W. Il devait aussi pouvoir fonctionner avec les ondes plus carrées que sinusoïdales fournies par de tels convertisseurs. Le poids, l'encombrement et le prix d'un onduleur, conçu spécialement pour informatique, nous empêchaient en effet d'envisager cette solution.

Il devait pouvoir se raccorder à une unité de stockage de masse présentant les mêmes particularités et disposer d'un langage Basic évolué sur ROM, avec un minimum de 40 K octets de mémoire RAM.

Il devait surtout être dépannable très rapidement aussi bien en France qu'aux Etats-Unis, car les conditions de travail n'étaient pas vraiment conventionnelles.

C'est surtout ce dernier critère qui nous a aiguillés vers la firme HEWLETT-PACKARD. En effet, H.P. France nous a prêté, pour tout l'été, un matériel de secours, tandis que H.P. U.S. nous a assuré une assistance matérielle rapide, efficace et gratuite.

Rôle du calculateur embarqué

Deux cas de figures se présentent :

1) Programme de régate

L'ordinateur doit faire l'acquisition des variables émises par la centrale, ainsi que l'acquisition de la position LORAN.

Il doit, ensuite, calculer en temps réel les fonctions nécessaires à la navigation et à l'optimisation de la marche du bateau, ainsi que prévoir les conditions de vent sur le bord suivant. Il doit être re-programmable en cours de fonctionnement par action sur des touches de fonctions spéciales.

Il doit également assurer la gestion d'un écran alphanumérique indiquant en clair les résultats et d'un écran graphique où se tracent la trajectoire, la flèche de vent et les laylines. Il a, enfin, la charge de rafraîchir les afficheurs à cristaux liquides disséminés sur le bateau.

2) Programme d'entraînement

Le calculateur sert à la mise au point du bateau. Dans ce cas, il lit les variables en provenance de la centrale d'acquisition, et stocke ces données dans des fichiers sur disque ou cassette, lorsque la mémoire centrale de la machine est pleine.

Le calculateur doit également assurer un programme minimum de traitement en temps réel, avec affichage des résultats sur cristaux liquides.

b) Essai de 2 calculateurs

Deux calculateurs ont été essayés afin de déterminer lequel était le plus adapté à la coupe de l'America.

- 1 En 1982 [8], un calculateur du type HP 99 15 a été implanté sur l'Ecume de Mer du Professeur Gabillard, afin d'étudier la faisabilité du projet France 3 et de concevoir un système d'afficheurs à cristaux liquides.

Le HP 99 15, version éclatée du HP 85, avait l'avantage d'être une machine très légère, peu encombrante et embarquable, avec unité de stockage sur cassette incorporée et moniteur vidéo séparé. La consommation de l'ensemble ne dépassait pas 65 W, le prix de l'ensemble faible (25 KF), et le langage Basic sur ROM possédait des ordres de programmation avancée remarquables, notamment pour la gestion des entrées / sorties.

Hélas, ce calculateur organisé autour d'un processeur 8 bits était lent, notamment en ce qui concerne les ordres graphiques, et ne disposait au maximum que de 32 K octets de mémoire RAM.

La durée minimale d'un cycle de programme en temps réel (acquisition de la centrale, calculs, affichage alphanumérique, affichage sur cristaux liquides) était de 6.4. s ce qui impliquait un délai de 12.8 s entre le début d'une acquisition et l'affichage d'une variable calculée. On ne pouvait plus alors parler de traitement en temps réel.

Cette machine a donc été abandonnée pour

la coupe de l'America, qui est une course nécessitant surtout un traitement dynamique. Par contre, elle reste très adaptée aux courses transocéaniques où les bords sont beaucoup plus longs et les nécessités de rafraîchissement rapide des indications moins vitales.

2 HP 9816 S

Nous avons sélectionné pour la coupe de l'America 1983 un calculateur du type HP 9816 S, qui a été introduit sur le marché français en Décembre 1982. Le calculateur embarqué sur France 3 était le 25ème de cette série fabriqué en Europe.

Cette machine est beaucoup plus puissante que celle étudiée précédemment. Elle dispose de 768 K de mémoire RAM maxi, organisée autour d'un processeur MC 68000.

Ses dimensions restent raisonnables (282 mm x 315 mm x 488 mm), pour un poids de 8.9 Kg. Sa consommation, avec écran incorporé, mais sans unité de stockage de masse est de 80 W, et il peut être associé à un lecteur de 2 disquettes 3 pouces consommant 67 W.

Le prix de l'ensemble atteint 60 KF.

Ce calculateur a permis de ramener la durée minimale d'un cycle de programme en temps réel à 1s.

Son seul défaut est de ne disposer d'un langage de programmation avancée uniquement sur RAM, et de ne pouvoir rajouter qu'une interface, en plus de l'interface série et de l'interface HP - IB intégrées à l'appareil. Ce qui fait que dans la configuration

utilisée sur France 3, avec un interface série et le langage de programmation avancée chargé, il ne restait plus que 70 K octets de mémoire RAM utilisable pour le programme et les fichiers.

Les grandes possibilités de cet appareil ont permis de faire un programme réunissant les possibilités de stockage et de traitement en temps réel. Ceci a particulièrement été apprécié dans l'application à "France 3", compte-tenu des délais très courts impartis pour la réalisation des abaques, et de la présence indispensable du système à bord, notamment à cause de son rôle d'électronique traditionnelle et d'affichage. La spécificité de manoeuvre des 12 m J1, qui n'ont que 2 allures fondamentales, le près serré et le grand large, limitent les prises de mesures aux autres allures. De plus, les manoeuvres incessantes réduisent les longs bords à allure stable, propices à la création d'abaques.

Le système embarqué a dû se plier entièrement aux lois de la Cup, mais, en contrepartie, l'entraînement n'a pas fait beaucoup de cadeaux à la mise au point et à l'utilisation scientifique du système. Peut-être que ce manque de rigueur explique bien des choses.

Les programmes utilisés sur ce calculateur seront décrits dans le Chapitre suivant. Les listings commentés se trouvent dans un volume à part [12] .

II-2-6 Alimentation

Nous avons divisé l'alimentation en 3 parties distinctes.

- 1- 3 batteries de 50 Ah alimentent un convertisseur 12 V / 110 V alternatif 60 Hz, chargé de faire fonctionner le calculateur, le lecteur de disquettes, ainsi qu'un ventilateur qui est placé dans la boîte du convertisseur afin d'éviter que celui-ci ne chauffe trop. Le bilan des puissances se présente ainsi :

Calculateur HP 9816 S	80 W maxi
Lecteur de disquette HP 9121 D	67 W
Ventilateur	8 W
	<hr/>
	155 W

En comptant un rendement de 85 % du convertisseur, la consommation sur ce groupe de batteries est de 15 A maxi. En fait, la consommation moyenne relevée était de 10 A, ce qui donne 15 heures d'autonomie. Pour économiser les batteries, le système était alimenté sur secteur le plus longtemps possible, avant le départ du dock. Le lecteur de disquette n'était allumé que lors du stockage.

- 2- Une batterie de 50 Ah alimente le système d'acquisition dont la consommation ne dépasse pas 0.6 A. Cette alimentation était séparée pour éviter de perturber les signaux de la centrale avec du 60 Hz secteur ou les signaux de la VHF et du LORAN. L'autonomie de la centrale est donc très longue (80 heures).

3- Une batterie de 50 Ah alimente le LORAN (18 W), la VHF (10 W) et les afficheurs (0,25 W).

L'autonomie de ce groupe est donc de 21 heures.

Les batteries utilisées sont des batteries étanches sans entretien de marque française STECO, qui ont donné entière satisfaction. Ces batteries avaient déjà été embarquées avec succès sur Pen Quick 6, pendant la course autour du monde.

II-2-7 Afficheurs à cristaux liquides

a) Organisation physique

Les afficheurs à cristaux liquides permettent à l'équipage de se rendre compte des performances du bateau. Ils sont répartis sur toute la longueur du bateau, ainsi tous les équipiers peuvent avoir une bonne vision de la marche du voilier. Sont ainsi affichées les informations essentielles, telles que la vitesse du bateau, la vitesse du vent apparent, et l'angle du bateau par rapport au vent apparent. Le barreur dispose de ces mêmes informations, répétées à babord et à tribord de manière à ne pas le déconcentrer. Il connaît également la vitesse théorique que doit faire le bateau ainsi que l'angle théorique, par rapport au vent réel. Le tacticien dispose en permanence de la force et de l'azimut du vent réel, de manière à suivre l'évolution du vent sur le plan d'eau.

b) Organisation électronique

Les afficheurs doivent être gérés par le

calculateur. En effet, ils doivent afficher les résultats de calculs effectués par ce dernier. Ne disposant plus que d'un port d'entrée/sortie disponible sur le 9816, le pont HP IB, nous avons été amenés à concevoir un périphérique afficheur à cristaux liquides compatible avec cette norme dénommée également IEEE 488-1978. Un petit boîtier électronique relais assure la transformation parallèle-série des données, sortant de l'ordinateur, et entrant dans des registres à décalage commandant les LCD*. Tous les afficheurs sont montés en série, ce qui fait qu'un seul câble à 5 conducteurs alimente les 14 afficheurs disséminés sur le bateau.

Pour arriver au dernier afficheur, l'information circulera dans les registres à décalage des afficheurs le précédant avant d'être validée. Un tel système avait été testé avec succès en 82, lors d'essais à la Baule [8].

c) Etude du dialogue HP-IB

Le port de sortie HP-IB a été créé par Hewlett Packard pour relier un système contrôleur (par exemple un calculateur) avec un ou plusieurs systèmes non contrôleurs (autres calculateurs, périphériques, etc ...). Ce type de dialogue a ensuite été normalisé sous le nom de IEEE 488 et adopté par d'autres constructeurs. Chaque périphérique de la chaîne est différencié par un numéro d'adressage.

La liaison se présente comme un port parallèle de 8 bits, avec 3 lignes de dialogues (DATA Valid, No DATA Accepted, Not Ready For DATA) et 5 lignes de commande (Attention

Signal line ATN, Service Request SRQ, Interface Clear Line IFC, Remote Enable Line REN, End or Identify Line EOI).

Le dialogue entre 2 éléments se divise en 2 parties :

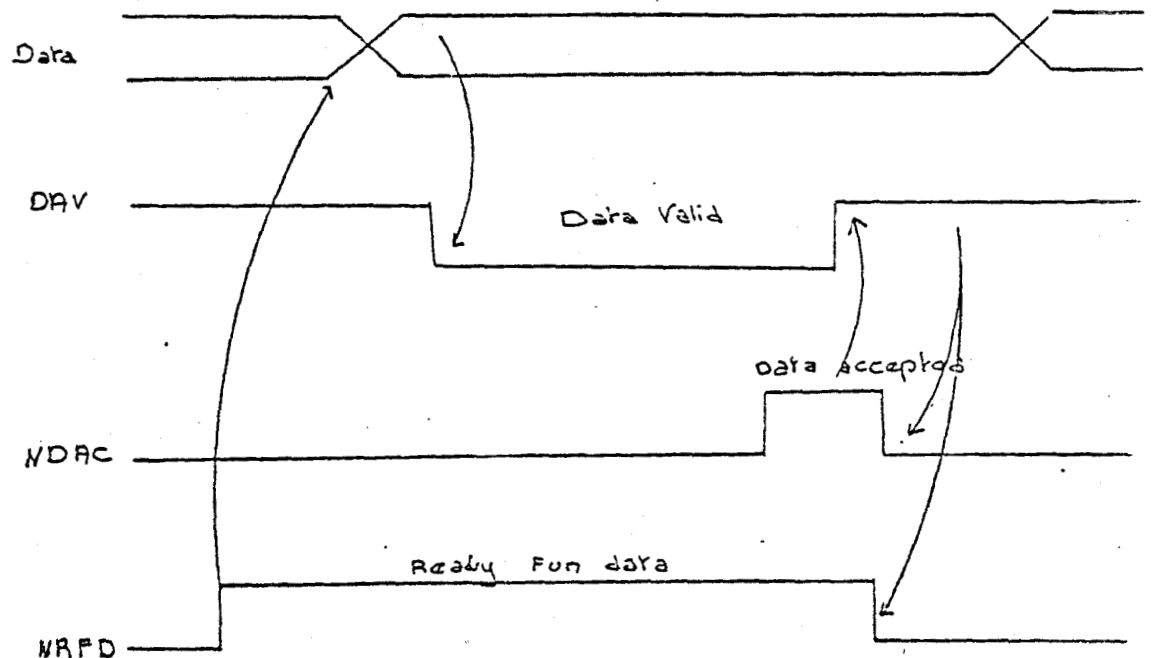
- Envoi d'un message de commande

Il est envoyé par le contrôleur et spécifie l'adresse de l'expéditeur et la ou les adresses des destinataires du message allant être transmis. La séquence de commande est différenciée de la séquence de données par la mise à l'état haut de la ligne d'attention (ATN).

- Envoi d'une séquence de données

Les périphériques de la chaîne dont les adresses ne correspondent pas à celles du message de commande ne réagissent pas à cette commande (état toujours prêt).

Les périphériques concernés dialoguent entre eux suivant Figure 16 .



Dialogue standard HP-IB

Tous les périphériques destinataires indiquent qu'ils sont prêts à recevoir des données en plaçant la ligne NRFD (Not Ready For Data) à l'état haut (faux). Les lignes sortent en collecteur ouvert, ce qui fait que cette ligne restera à l'état bas tant que tous les destinataires ne seront pas prêts.

L'expéditeur place alors l'octet suivant sur le port de sortie et place la ligne DAV (Data Valid) à l'état bas (vrai). Cela indique aux destinataires qu'un octet a été placé et qu'ils peuvent le lire.

Chaque destinataire accepte la donnée et place la ligne NDAC (No Data Accepted) à l'état haut (faux). Comme dans le cas de NRFD, la ligne passe à l'état haut quand tous les destinataires ont accepté la data. Ensuite, l'expéditeur refait passer la ligne DAV à l'état haut, et la séquence suivante commence.

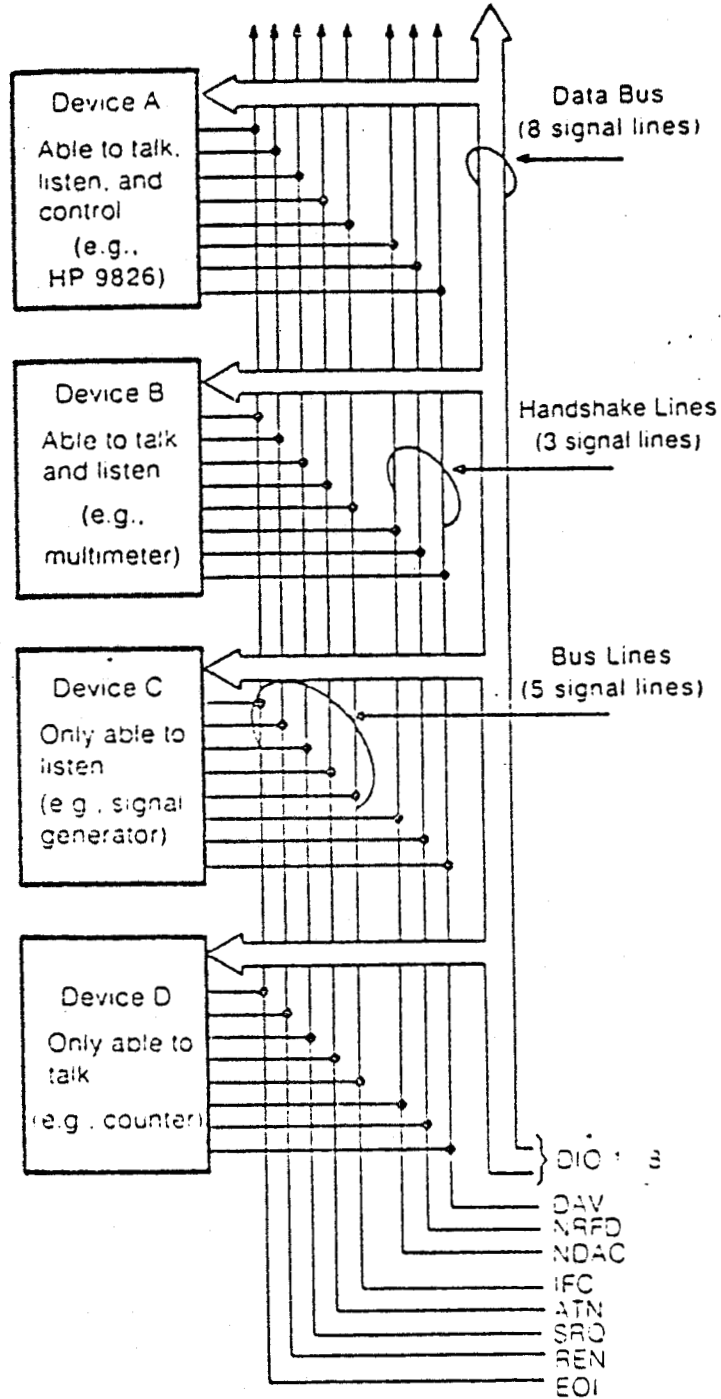
d) Solution retenue pour simuler le dialogue

L'objectif consiste à envoyer des données par l'intermédiaire du port HP IB, donc de réaliser le dialogue entre le calculateur (contrôleur expéditeur) et un périphérique afficheur (non contrôleur destinataire).

Dans un souci de simplicité de matériel, nous avons supprimé la phase de commande du dialogue standard HP IB. Notre périphérique est un périphérique inintelligent c'est-à-dire qu'il accepte systématiquement comme donnée ce qui se présente sur le port de sortie. Dans notre cas, les datas sont transférés dans des registres à décalage

Figure 17

HP-IB Control Lines



donc les mots de commande qui figurent au début du message circulent dans les registres à décalage, avant d'être perdus à la sortie du dernier registre comme le montre la Figure 18.

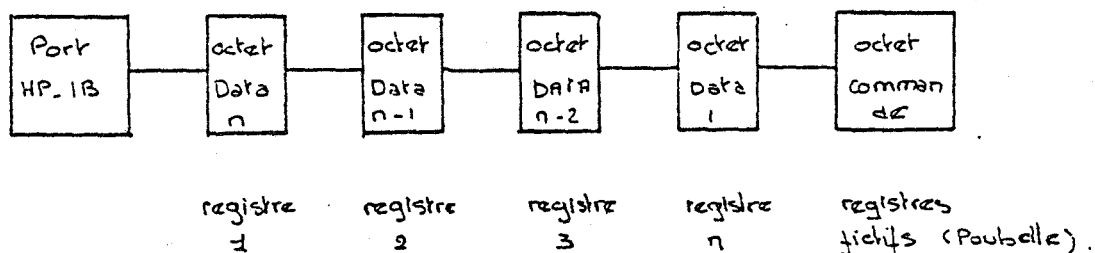


Figure 18

Le fait d'utiliser ce système n'est pas gênant dans la mesure où il est le seul périphérique HP-IB à avoir cette particularité. Par exemple, nous l'utilisons en même temps que l'unité de stockage de masse qui elle aussi est reliée au calculateur via le port HP-IB. Il suffit de donner au périphérique afficheur une adresse fictive inutilisée par les autres périphériques pour éviter tout problème :

- Dans le cas d'une écriture sur le périphérique afficheur, les autres périphériques ne se sentiront pas concernés, du fait de la non-concordance des adresses du mot de commande.

- Lors d'une sortie sur un périphérique différent du périphérique afficheur, le dialogue se déroulera normalement entre les 2 éléments concernés, plus le péri-

phérique afficheur. Celui-ci acceptera toutes les données (inutiles) et les transmettra dans les registres à décalage. Mais ces données illicites ne seront pas validées, ce qui fait que l'utilisateur ne se rendra compte de rien, l'affichage ne variant pas.

La seule conséquence visible sera un ralentissement de la vitesse de transfert de données, si le périphérique afficheur est plus lent que les 2 correspondants légitimes. C'est le cas lors de transferts entre le calculateur et le lecteur de disquettes. Par contre, un échange entre le calculateur et une imprimante n'est pas affecté, l'imprimante étant plus lente que le périphérique afficheur.

Pour accélérer le stockage de données à bord, nous avons placé un interrupteur sur l'alimentation du périphérique afficheur, ce qui ramenait la vitesse de transmission à la vitesse standard.

e) Electronique de la boîte relais-transformation-parallèle-série

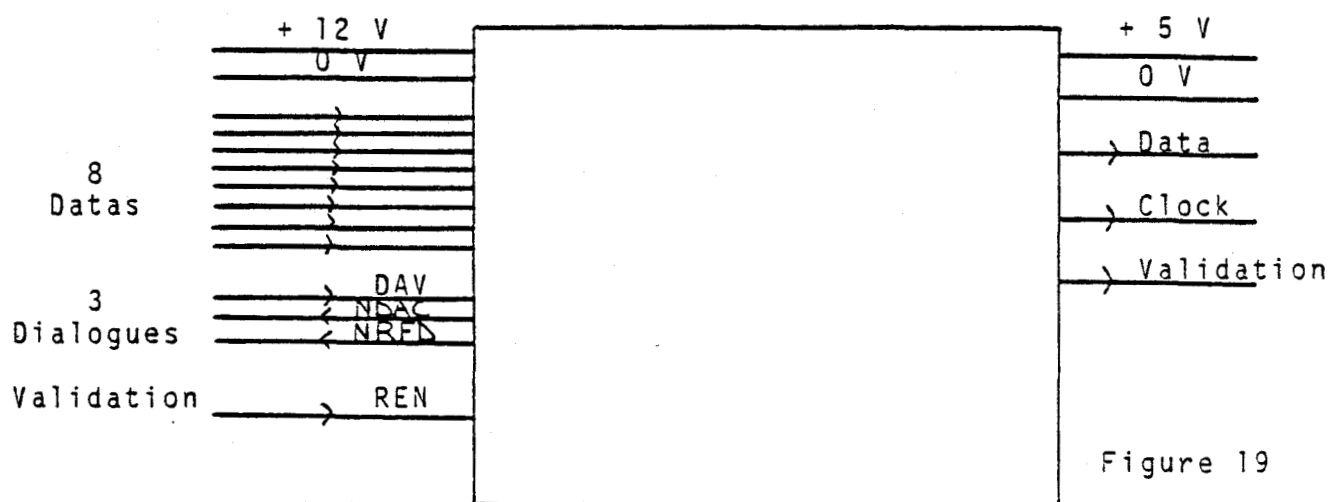


Figure 19

Le rôle de la boîte relais consiste à transformer l'information type HP-IB sortant de l'ordinateur en information directement utilisable par les circuits gérant les afficheurs.

Le fonctionnement est le suivant :

- . 1 circuit 7805 crée du 5V à partir du 12V batterie
- . 1 oscillateur 72555 crée un signal carré de fréquence 25 K Hz
- . 1 circuit 4027 divise la fréquence par 2 et un compteur 4520 prend 8 périodes de ce signal (ce sera l'horloge), à partir de l'instant où le calculateur a placé sa ligne Data Valid à l'état bas (vrai)
- . Le compteur gère également le multiplexeur HI 508, la voie Enable étant reliée au + (toujours valide).
Les entrées du H 1508 sont les 8 bits de données et entre le front descendant n et le front descendant n + 1 de l'horloge, le bit n + 1 sera présent sur la sortie du HI 508.
- . Le registre à décalage HL CDO 438 A placé en sortie lit un bit sur un front montant de l'horloge, donc en plein milieu de l'intervalle de présence de la donnée.
- . Les lignes de dialogues NDAC et NRFD sont reconstituées à partir des différentes sorties.
- . On utilise, comme ligne de validation, la sortie REN du port HP-IB, dont l'état est programmable
- . Le temps de transfert d'un octet est de

$$\frac{8}{12500} = 0.64 \text{ ms}$$

- . Pour 15 afficheurs utilisant chacun 4 octets, le temps total du transfert sera d'environ 45 ms.

Ce temps n'est pas compté comme temps de programme, le transfert étant géré directement par l'interface du calculateur.

f) Organisation d'une carte afficheur

Nous avons utilisé des afficheurs à cristaux liquides 3.5 digits du type transflectif réfléchitif de marque Hamlin, spécialement conçus pour l'utilisation en atmosphère marine et utilisés par les industriels de l'électronique marine française.

Les afficheurs, ainsi que les boîtiers étanches, nous ont été fournis gratuitement par la firme Plastimo.

Ces afficheurs sont gérés par des circuits Hughes HLCD 0438 A (32 bits LCD drivers) dont nous allons donner la description. Il s'agit d'un circuit CMOS /LSI qui pilote 32 segments d'afficheurs à cristaux liquides. Il ne requiert que 3 lignes de contrôle ; la rentrée des données se fait en série sur la ligne Data in, au rythme d'une horloge (ligne clock), le circuit validant lui-même les données lorsque l'ordre lui en est donné (ligne load).

Plusieurs circuits de ce type peuvent se monter en cascade. C'est ce qui a été fait dans le projet présenté où 14 circuits sont placés en série. La Figure 20 montre l'organisation interne d'un circuit HLCD 0438 A.

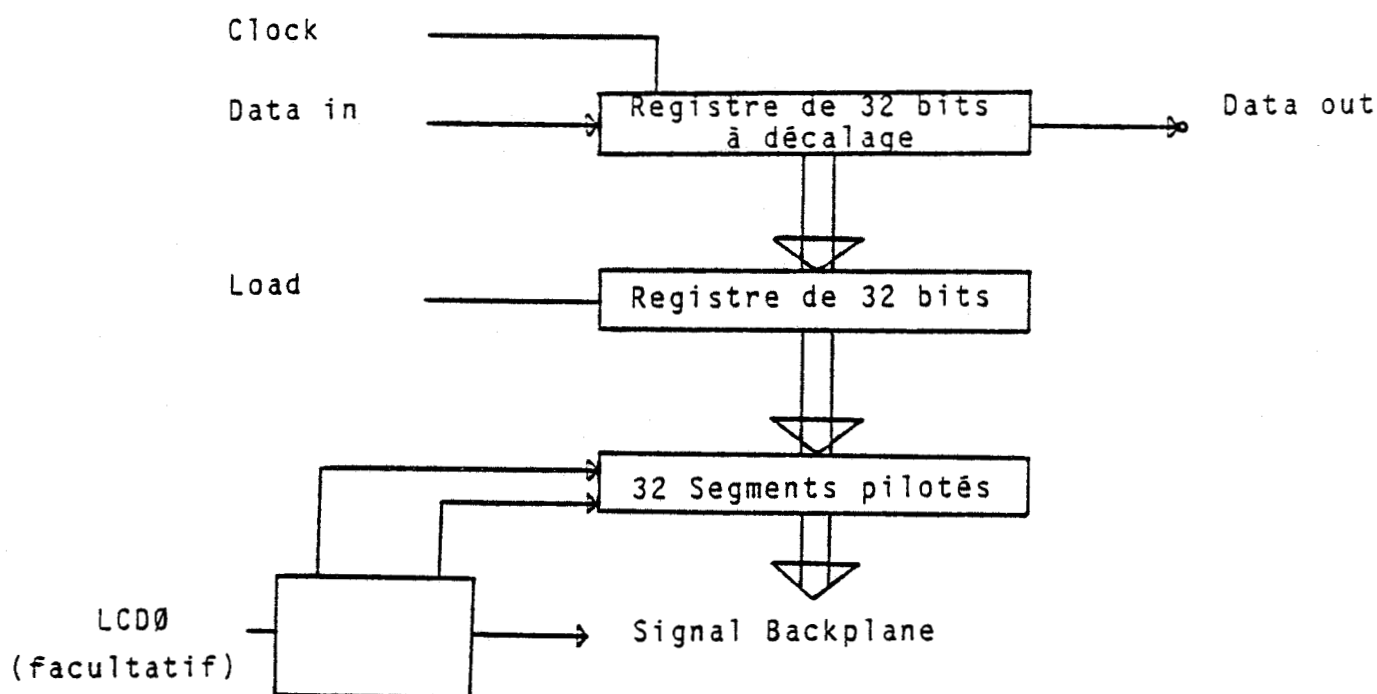


Figure 20

Le registre à décalage se décale sur un front de descente du signal d'horloge. Le circuit génère lui-même le signal alterné symétrique (rapport cyclique 1/2) qui commande les afficheurs à cristaux liquides.

Les signaux entrant sur la carte afficheur sont remis en forme pour corriger l'effet capacitif de la liaison qui est relativement longue (20 m de la boîte relais au dernier afficheur). Les signaux +, -, clock et load sont transmis directement au connecteur de sortie. La sortie data out est combinée avec l'horloge pour corriger les éventuels temps de transmission.

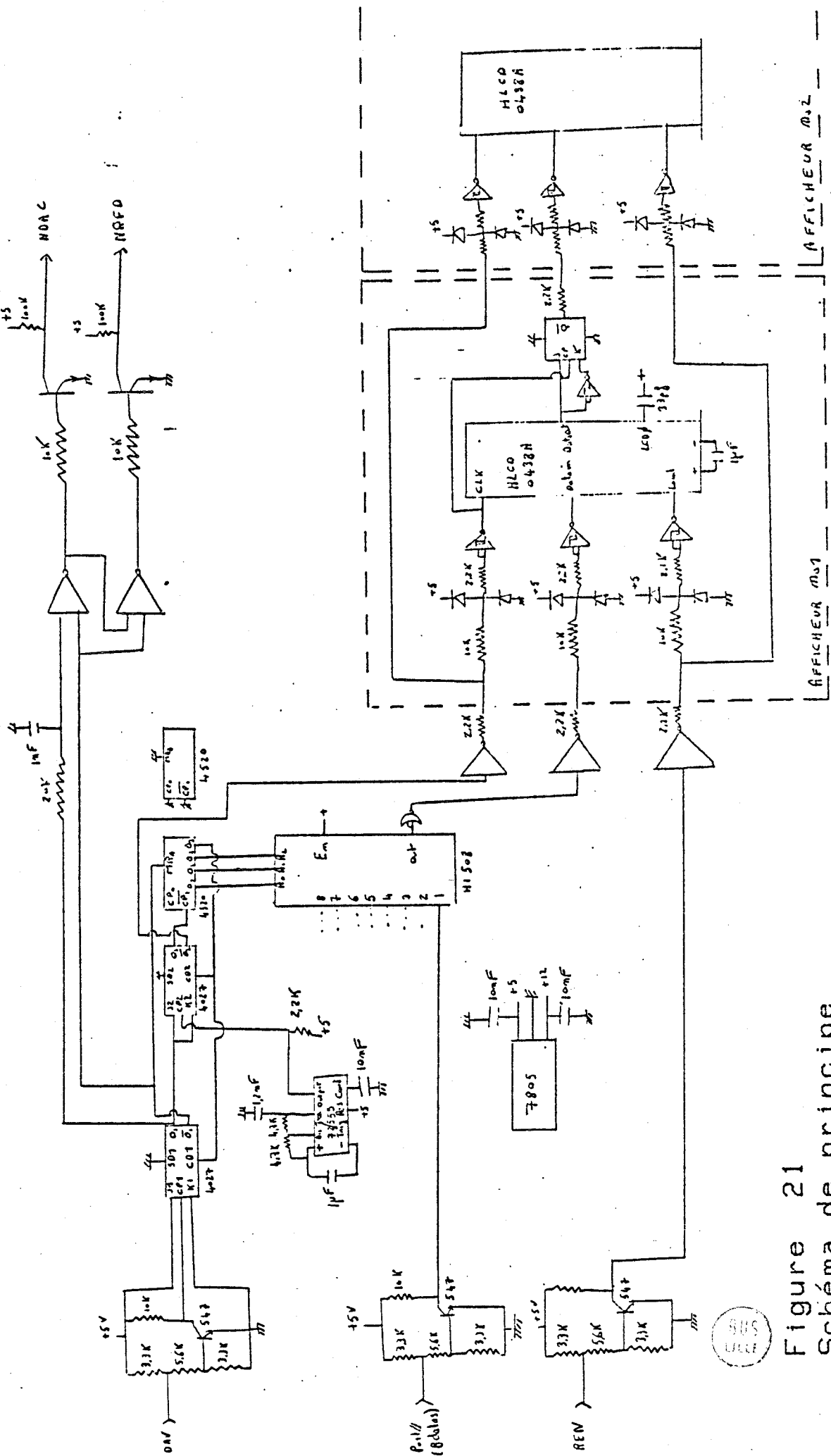


Figure 21
 Schéma de principe
 Afficheurs 'FRANCE 3' - USTL

g) Service après-vente

Les afficheurs sont les éléments les plus délicats du système. Les conditions d'utilisation sont difficiles : lignes électriques longues, douches permanentes d'eau de mer le jour et d'eau douce le soir au rinçage du bateau, pression des équipiers poids lourds pour lesquels ils servent de cale-pieds, etc ...

L'expérience de Floride nous a amenés à étanchéifier totalement avec du siligute, et à établir un banc d'essai détectant les pannes. Le catalogue des pannes a été facilité par la simplicité du matériel : simplement 5 lignes à suivre. Ce test s'est avéré efficace dans les conditions d'utilisation imposées (dépannage entre 9 H. du soir et 6 H. du matin) et pourrait trouver une application chez Darty !

Ce programme de test figure en Annexe 4.

Chapitre 3

Fonctionnement du système

Analyse et interprétation

III FONCTIONNEMENT DU SYSTEME - ANALYSE ET INTERPRETATION

III-1 Analyse en temps différé

III-1-1 Analyse de fichiers

Le programme "GROVE-NEWP" relit les fichiers de valeurs brutes stockés par le programme de traitement en temps réel. Un traitement statistique supprime les points aberrants et les variables sont ensuite filtrées à l'aide d'un filtre numérique.

On calcule ensuite le vent réel à partir de ces variables filtrées, en direction et en force, en tenant compte de l'influence statique et dynamique de l'angle de gite. L'influence dynamique est particulièrement importante lors d'un virement de bord où la gite évolue de -30° à $+30^\circ$ et où la tête de mât a une vitesse latérale de 5 noeuds.

On trace ensuite en parallèle l'évolution des variables en fonction du temps, de manière à connaître le type d'allure contenue dans le fichier étudié. On essaie ensuite de noter les corrélations.

Etude des réponses des différents capteurs :

- Le tangage est peu significatif. En effet, moyenné sur 1.6 s, sa valeur est toujours inférieure à $1/2$ degré. Par contre, l'écart type du tangage calculé sur 1 minute permet de caractériser le type de mer où évolue le bateau.
- Le trimmer est peu utilisé dynamiquement lorsque le bateau est en régime établi. Le barreur le fixe généralement à 2° pour rendre le bateau moins ardent. Le trimmer permet aussi de voir si le bateau est excessivement mou ou ardent, et indique par conséquence les réglages de mât à effectuer.

- On s'est aperçu, grâce à l'enregistrement, que l'angle de barre évoluait énormément, même en régime établi (de 5° au moins). Le barreur travaille toujours son toucher de barre. Dans un virement, l'angle dépasse souvent 15 degrés.
 - Le cap compas varie évidemment beaucoup plus doucement que l'angle de barre. Il est filtré par les 26 tonnes du bateau, et n'a pas besoin de traitement numérique dans le programme. Il varie au plus de 12° en 1.6 secondes dans un virement de bord, moment où le rayon de giration du bateau est le plus faible. Visiblement, un bateau comme Australia II a un rayon de giration 1.5 fois plus faible.
 - Le speedomètre varie parfois de plusieurs dixièmes de noeuds entre 2 acquisitions, ce qui a beaucoup surpris les barreurs habitués aux indications ultra-filtrées des appareils du commerce ; Nous avons alors utilisé une moyenne glissante sur 8 secondes, soit 5 acquisitions.
 - L'anémomètre nécessite un filtrage important. En effet, il se situe à 25 m de haut où les coups de gite et de tangage sont très accentués.
 - La girouette demande un filtrage important aux allures portantes. En effet, à cette allure, le roulis rythmique est important, et la vitesse du vent apparent relativement faible, ce qui déstabilise la pale de la girouette. Par contre, au près, le filtrage nécessaire est faible.
- La corrélation cap-azimut du vent réel est excellente, ce qui prouve que les barreurs "sentent" parfaitement le vent et font coller la trajectoire du bateau à la trajectoire du vent.

On note pourtant des fautes de concentration dans de longs bords où le bateau navigue seul sans lièvre*.

Même si la corrélation est bonne, l'angle entre le bateau et le vent réel n'est pas constant : le bateau n'est jamais en régime permanent, notamment au près, ce qui se traduit fatalement par des oscillations de vitesse. Or physiquement, cette tactique ne devrait pas être payante dans la mesure où l'énergie cinétique stockée par accroissement de vitesse du bateau n'est pas intégralement restituée. En effet, la traînée du bateau est une fonction dont la pente augmente avec la vitesse (voir Annexe 5). Cet état de fait peut être expliqué par 2 choses :

- Le jeu tactique propre à la coupe de l'America veut que le bateau sous le vent essaie de sortir le bateau au vent en faisant plus de cap, ce qui oblige celui-ci à lofer et à perdre de la vitesse s'il n'a pas acquis assez d'inertie, sous forme d'énergie cinétique. Le bateau sous le vent a donc intérêt à faire osciller sa trajectoire autour de la trajectoire théorique, de manière à réussir à monter au vent avec plus d'énergie cinétique que son adversaire.
- Explication plus rationnelle mais plus choquante : jusqu'ici, les barreurs ont toujours été habitués à barrer grâce à l'indication du speedomètre, en lofant* lorsque la vitesse augmente trop, et en abattant* lorsque l'excès inverse se produit. Mais, comme le montre l'analyse des fichiers de France 3, l'inertie du bateau (26 tonnes) est énorme : le bateau met 25 secondes à ralentir à la suite d'un cap trop pointu, et 35 secondes à réaccélérer malgré une abattée prolongée. Le speedomètre n'est donc pas une information concernant l'état du bateau en temps réel, mais plutôt une vision des conséquences de la façon dont le bateau a été mené dans les 30 secondes précédentes.

Par contre, les barreurs n'ont jamais eu jusqu'ici l'occasion de barrer avec l'angle entre le bateau et la direction du vent réel. Cette indication est un état du bateau en temps réel, et dépend uniquement des variations du vent et du cap du bateau. Une abaque basée sur cet angle et non plus sur le speedomètre permet de barrer en se rapprochant beaucoup plus du régime permanent.

Sur la feuille de résultats ci-contre, obtenue avec le programme "GROVE-NEWP", on peut constater les particularités des 12 m J1. Cette prise de mesure a été réalisée à Miami le 13 Mars 1983, par petit temps (6.85 noeuds de vent réel) propice aux erreurs de barre, et avec un vent variable en direction.

Le barreur a beaucoup de mal à suivre le vent, ce qui nous permet de constater l'inertie d'un 12 m J1. Alors que le maximum de girouette se situait à la seconde 68, le maximum de speedomètre correspondant se situe seulement à la seconde 103, soit 35 secondes plus tard. De même, un minimum de girouette se situe à la seconde 128, et le minimum de speedomètre à la seconde 153, soit 25 secondes plus tard. On constate donc que les temps de réaction sont très lents et que, bien entendu, le bateau met plus de temps à accélérer qu'à freiner.

En régate, les oscillations de girouette sont moins importantes, le barreur étant moins distrait, mais on peut quand même toujours noter sur la vitesse des sinusoides évoluant entre les 2 limites que le barreur se fixe, compte-tenu du vent et de l'état de la mer.

III-1-2 Abaques expérimentales

Un programme de calcul de performances optimales, ou abaqes, a été réalisé. Grâce à la

Fichier :	D6F19	CAP	Moy = 130.91	Ec_type = 1.28
Date :	13/03/03	Az Vr	Moy = 169.25	Ec_type = .58
Barreur :	P. HAEGELI	Vr	Moy = 6.88	Ec_type = .09
Heure :	2.15	BS	Moy = 5.71	Ec_type = .04
		Va	Moy = 11.35	Ec_type = .12
		Gir	Moy = -25.34	Ec_type = .56

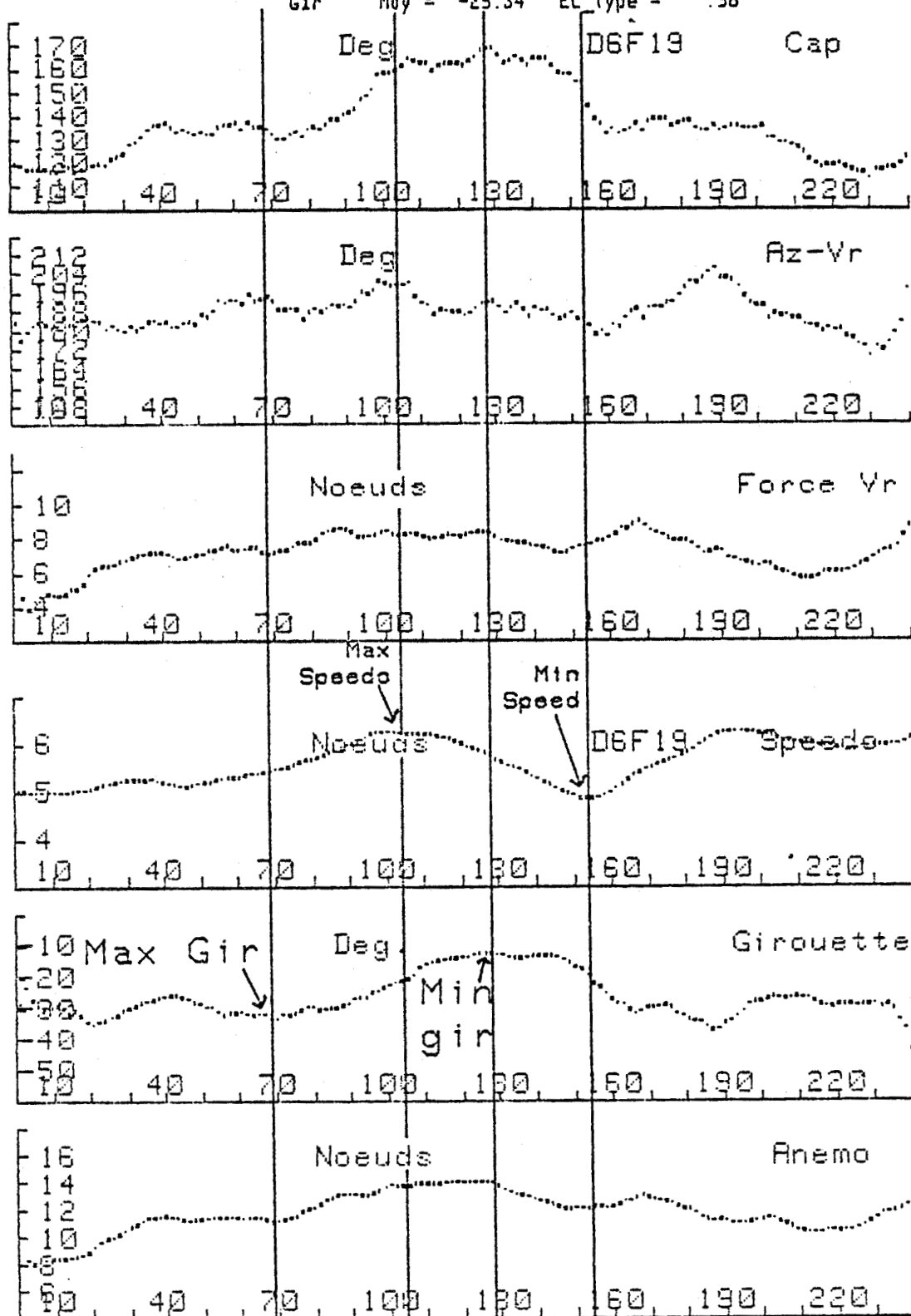


Figure 22



Inertie des 12 m J.I.

Fichier :	D27F81	CAP	Moy = 199.10	Ec_type =	.26
Date :	11/06/83	Az Vr	Moy = 228.51	Ec_type =	.19
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy = 17.91	Ec_type =	.07
Heure :	14.03	BS	Moy = 7.74	Ec_type =	.02
		Va	Moy = 24.94	Ec_type =	.06
		Gir	Moy = -17.69	Ec_type =	.14

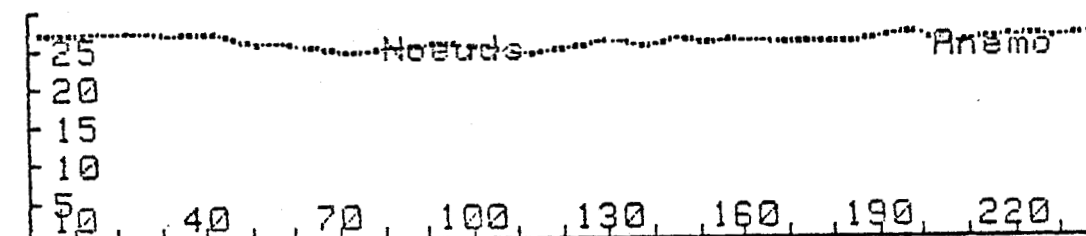
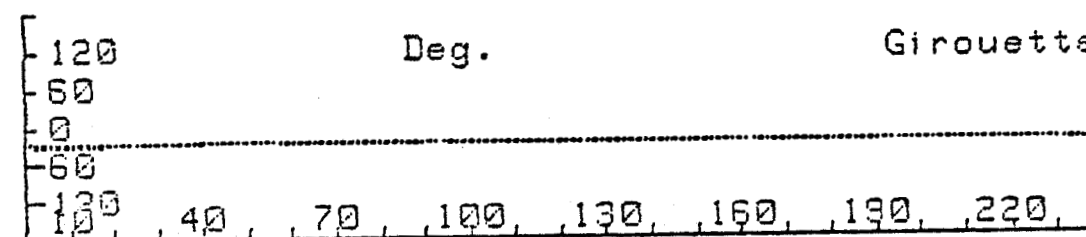
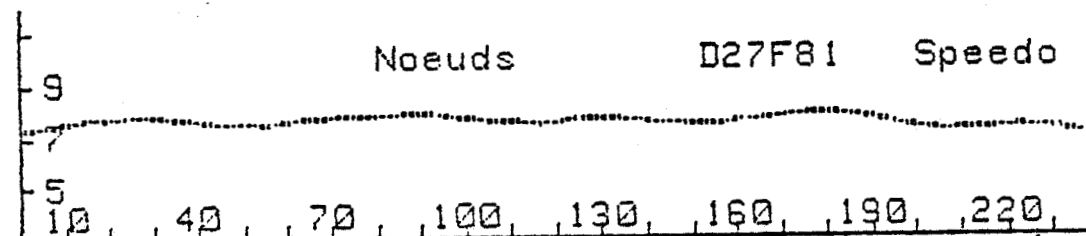
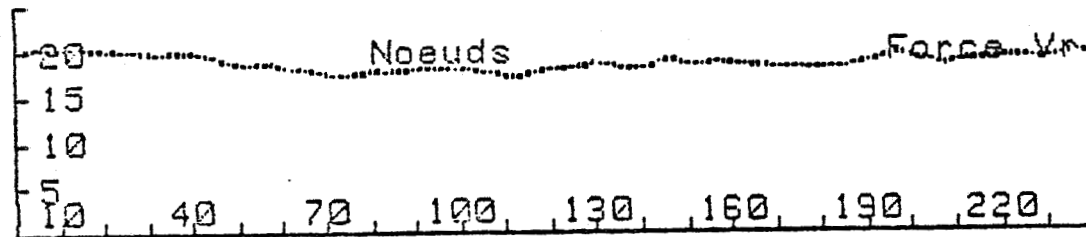
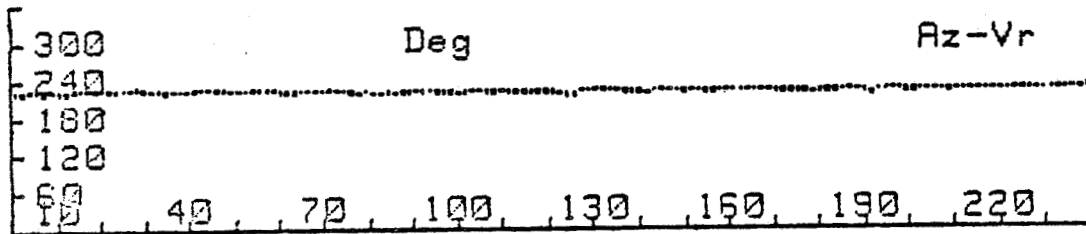
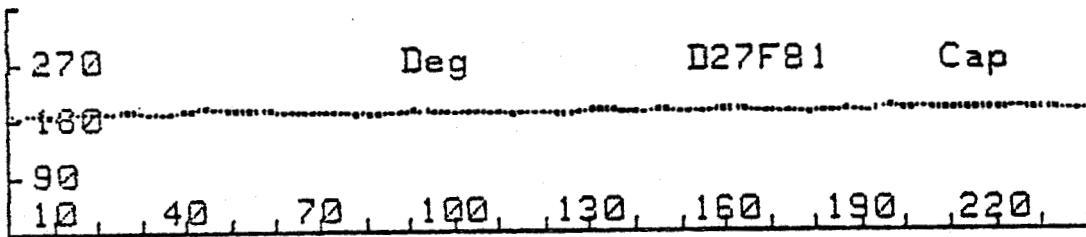


Figure 23

4 minutes de près tribord amure

Traitements effectués par 'GROVE_NEWP'



Fichier :	D26F101	CAP	Moy = 156.43	Ec_type = 3.45
Date :	09/06/83	Az Vr	Moy = 159.45	Ec_type = .75
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy = 9.71	Ec_type = .08
Heure :	16.53	BS	Moy = 6.73	Ec_type = .05
		Va	Moy = 15.13	Ec_type = .11
		Gir	Moy = -1.60	Ec_type = 2.10

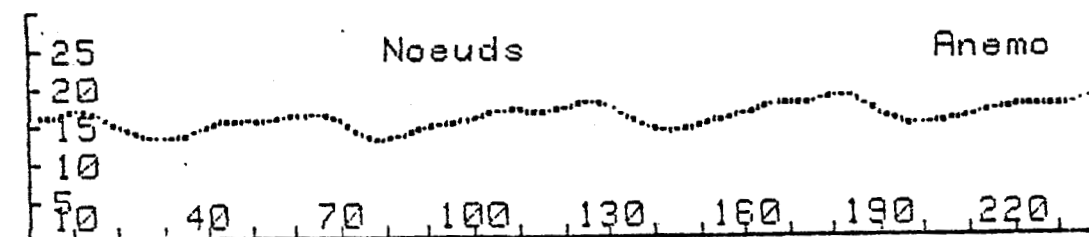
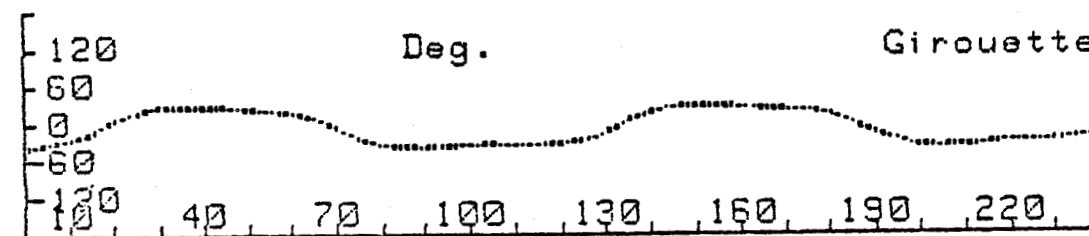
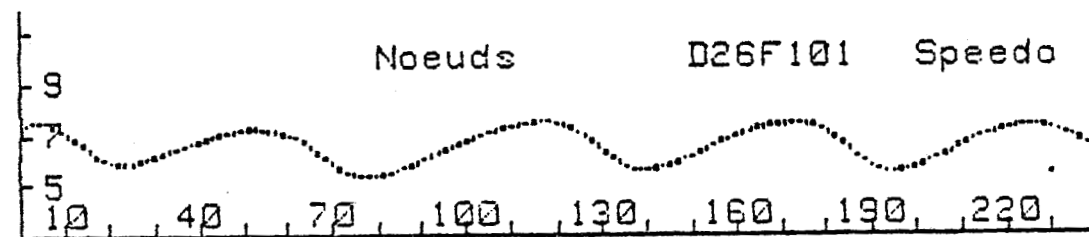
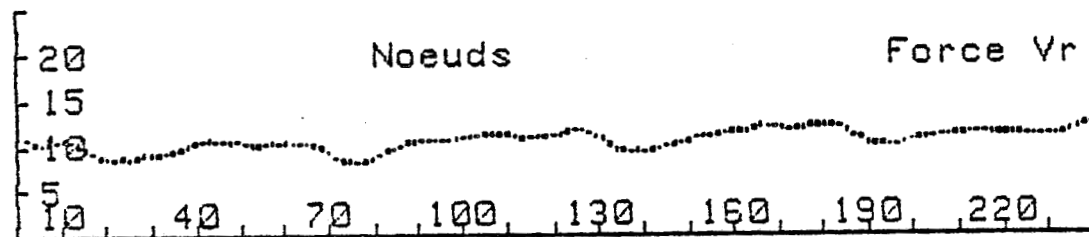
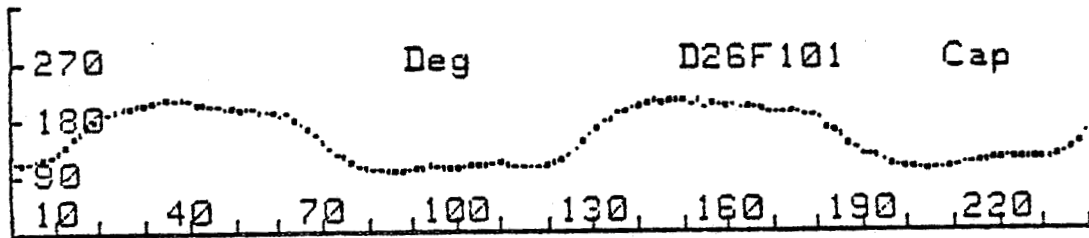


Figure 24
 Traitements effectués par 'GROVE_NEWP'



4 Virements de bord en 4 minutes

Fichier :	D26F95	CAP	Moy = 209.59	Ec_type = 12.00
Date :	09/06/83	Az Vr	Moy = 158.45	Ec_type = .40
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy = 10.91	Ec_type = .04
Heure :	16.31	BS	Moy = 6.86	Ec_type = .04
		Va	Moy = 6.04	Ec_type = .05
		Gir	Moy = 25.50	Ec_type = 9.44

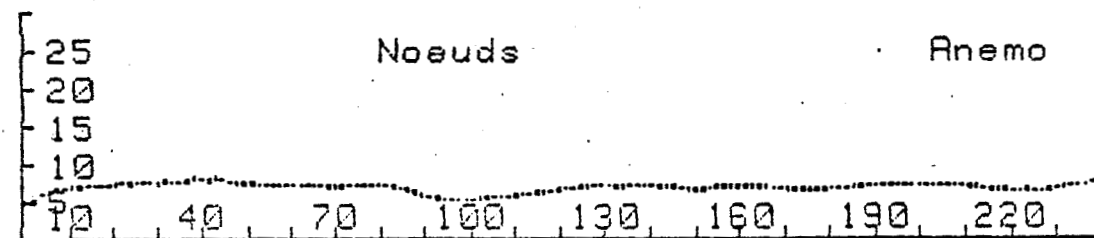
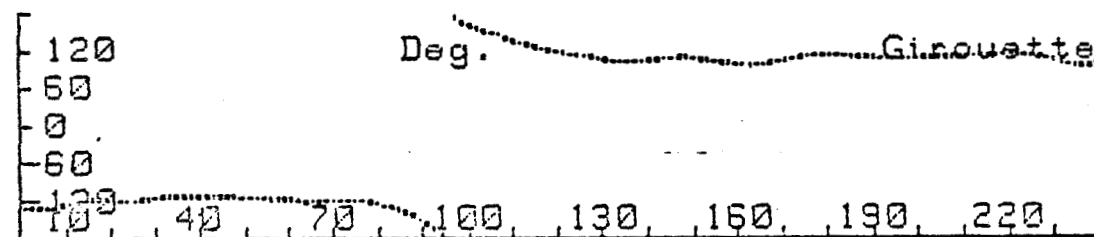
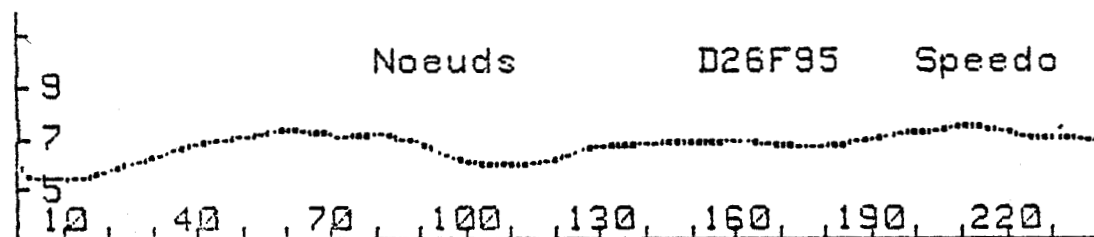
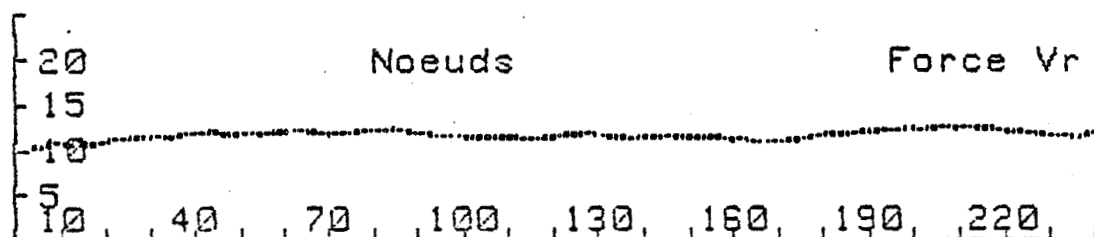
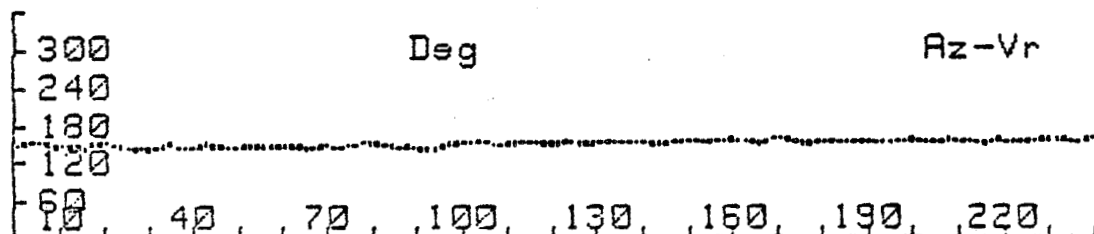
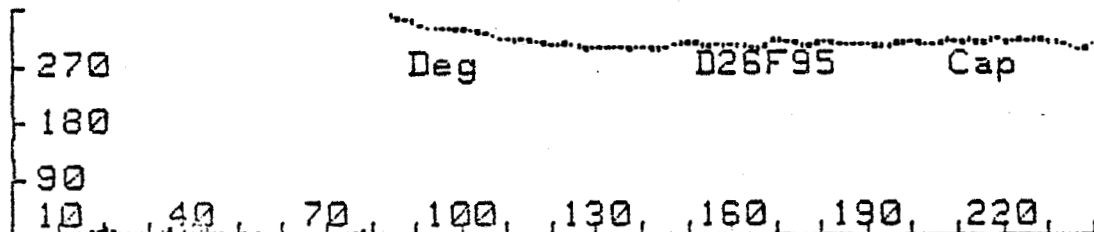


Figure 25
 Traitements effectués par 'GROVE_NEWP'
 4 minutes de vent arrière + empannage

mémoire centrale conséquente du calculateur, on charge un grand nombre de fichiers dans cette mémoire. Ensuite, le vent réel est calculé, et chaque mesure est stockée dans une case correspondant à une certaine classe de vent réel. Ainsi, on peut étudier, par exemple, les vents de 5 à 15 noeuds, en définissant 10 classes d'étendue 1 noeud chacune.

On trace ensuite, pour une classe donnée, l'évolution de la gite, de la vitesse ou du VMG (vitesse de remontée au vent), en fonction de l'angle du bateau par rapport au vent réel.

Dans le cas du VMG, par exemple, le maximum de la courbe nous donne l'angle optimal de remontée au vent, ainsi que la vitesse de remontée au vent correspondante, et cela pour chaque force de vent réel. De même, le minimum de VMG nous fournit l'angle optimal de descente au vent, et la vitesse de descente.

De plus, une interpolation par la méthode des moindres carrés nous donne une équation simple du fonctionnement du bateau qui pourra être utilisée dans le programme de traitement en temps réel.

Une étude incluant tous les points de mesures des fichiers où le bateau progressait en régime établi a montré des incongruités. En effet, comme on l'a montré précédemment, l'inertie du bateau fausse complètement les mesures ponctuelles, en temps que mesures répétitives.

Nous avons alors été amenés à utiliser comme points de fonctionnement des points correspondants à des moyennes sur 50 acquisitions, soit 1mn 20s. Le nombre de points d'abaque a alors été considérablement réduit, mais les résultats

obtenus sont devenus beaucoup plus cohérents et intégrés dans le programme de traitement réel.

Le diagramme de la page suivante montre le calcul du point de fonctionnement statique optimal, obtenu pour un vent réel compris entre 12 et 13 noeuds. L'angle optimal est de 32.5° entre l'axe du bateau et le vent réel, et la vitesse correspondante est de 8.25 noeuds.

Ce programme a donné des résultats beaucoup moins précis que ceux réalisés en 1982 sur l'Ecume de Mer. En effet, en 1982, toutes les prises de mesures avaient été effectuées avec les mêmes voiles et les mêmes réglages et en seulement 3 journées de navigation. Tandis que les abaques de France 3 ont dû être réalisées sur 2 mois, avec sans cesse des réglages des voiles des mâts et des barreaux différents. D'autre part, l'extrême flexibilité du mât ne permet pas d'avoir une précision garantie au degré près pour la girouette, ce qui provoque une certaine dispersion des mesures.

On peut comparer les mesures concernant France 3 et les mesures concernant l'Ecume de Mer, réalisées en Septembre 1982, avec un calculateur HP 9915 implanté à bord (Figures 26 et 27).

Ces résultats montrent combien il est difficile d'établir des abaques expérimentales, et combien de rigueur cela demande. Les conditions à réunir sont, à mon avis, les suivantes :

- . Disposer d'un bateau dont les réglages soient connus et reproductibles
- . Disposer du gréement, des voiles et du barreur définitif

-3.76603039088E-6 -.000634753708488 -.044104575953 -.11684004304
 TERME DU PLUS HAUT DEGRE D'ABORD

Racine 1-Kmg -34.4484831046 .565850267817
 Racine 2-Kmg -113.320497329 -.358044742006

CORELATION: R=-.360597363004

Par la methode des curseurs :

Gamma optimal : 32.5

Kmg optimal : .58

Vitesse : 8.25239577014

3.4054650657E-6 -.000758442696454 .041765409067 -.11705191954

TERME DU PLUS HAUT DEGRE D'ABORD

Racine 1-Kmg 36.5128213637 .562548267851
 Racine 2-Kmg 111.962777284 -.168798598708

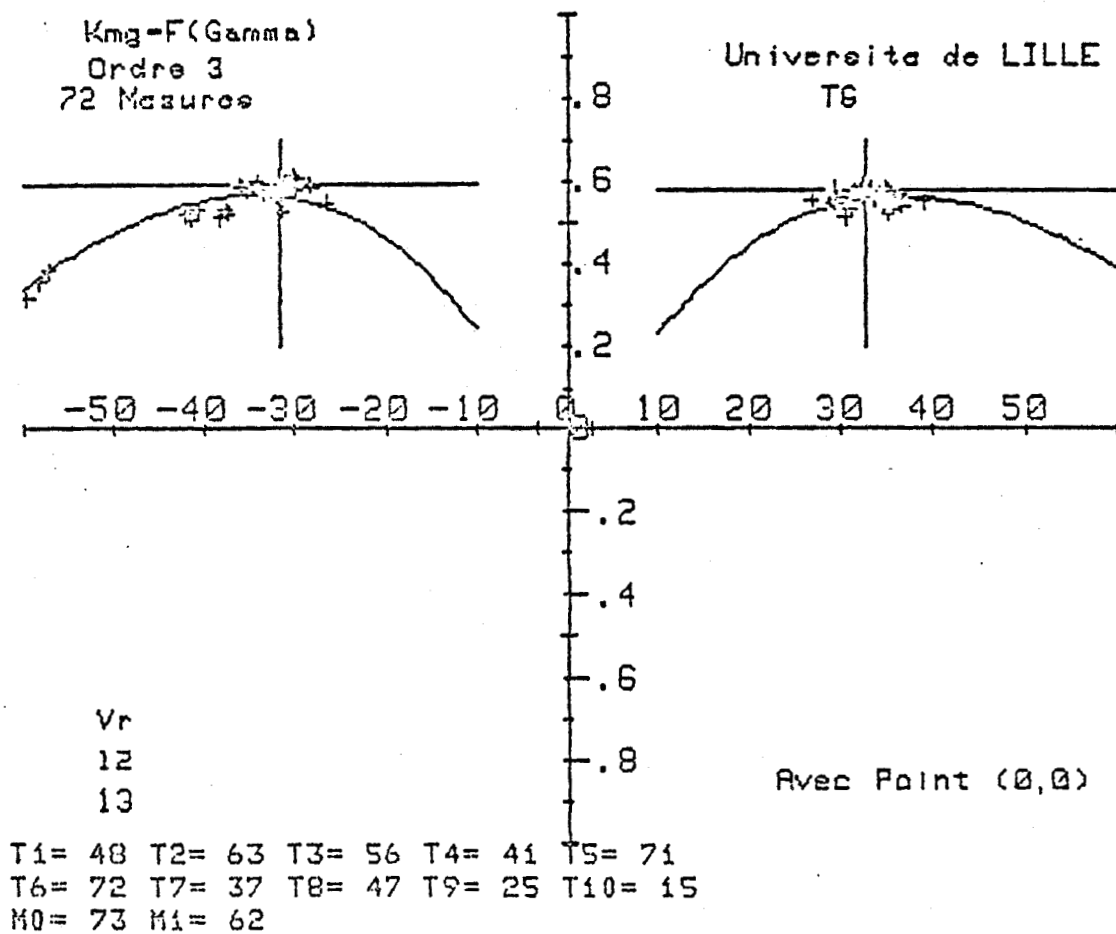


Figure 26

Abaque de 'FRANCE 3' établie en mai-juin 83
 On note la dispersion importante des mesures
 limitant la validité de l'abaque .

Vitesse théorique : 8.25 Noeuds
 Angle théorique : 32.5 Degrés



Abaque 'Ecume' établie en 82

ELATION:R= .935362335709

31724976400E-07 -2.41916743114E-04 -1.52964462662E-02 - .00139027779

ME DU PLUS HAUT DEGRE D'ABORD

line 1-Kg -39.7380677433 .276250904774
 line 2-Kg -154.169777151 -.34669316695

ELATION:R=-.929231646773

52274558910E-07 -2.74453331180E-04 .017377754566 -.01618564129

ME DU PLUS HAUT DEGRE D'ABORD

line 1-Kg 39.9814679244 .30081731825
 line 2-Kg 152.157143419 -.37128908604

$\gamma = F(\text{Gamma})$

Indre 3

T 3

51 Mesures

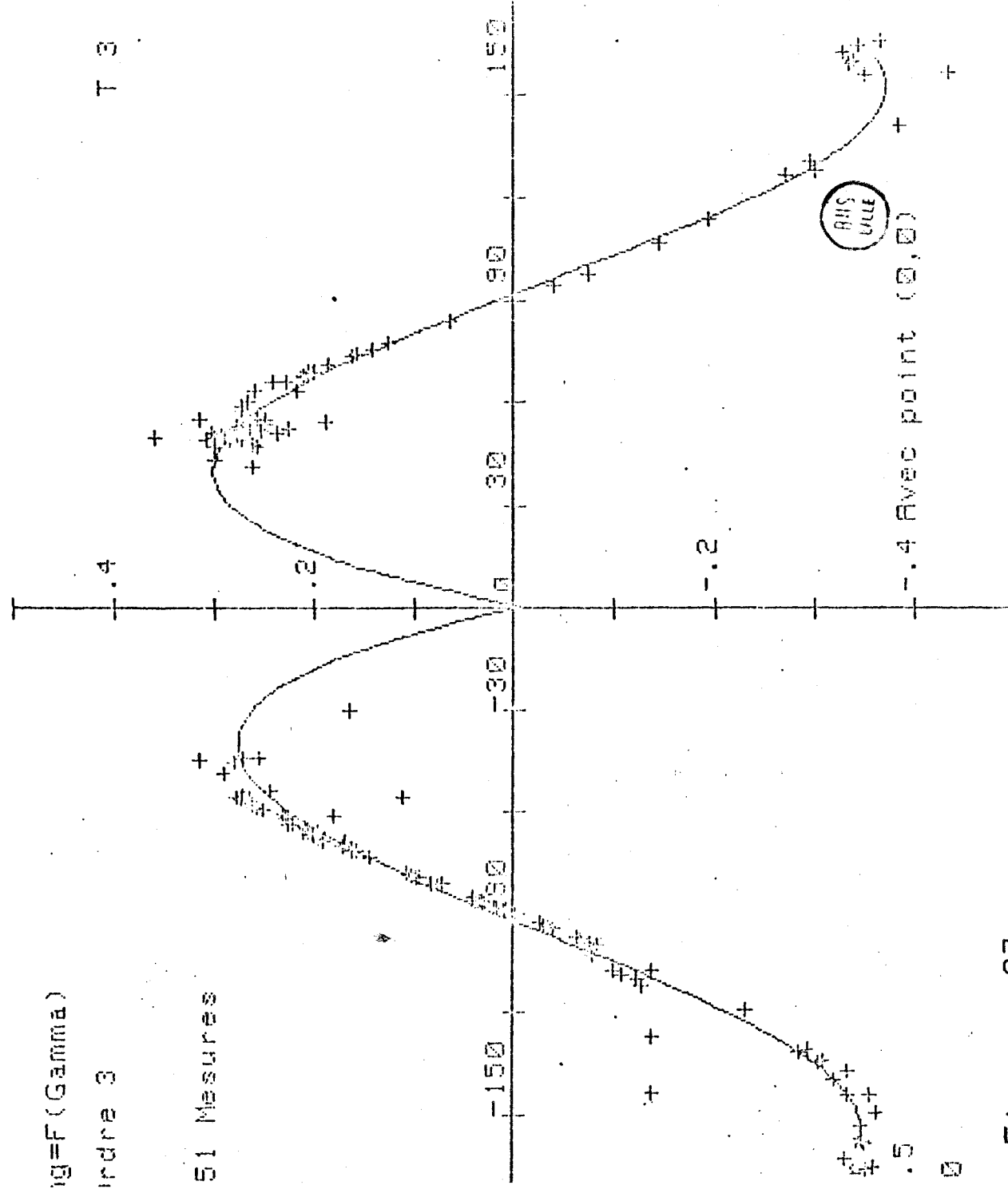
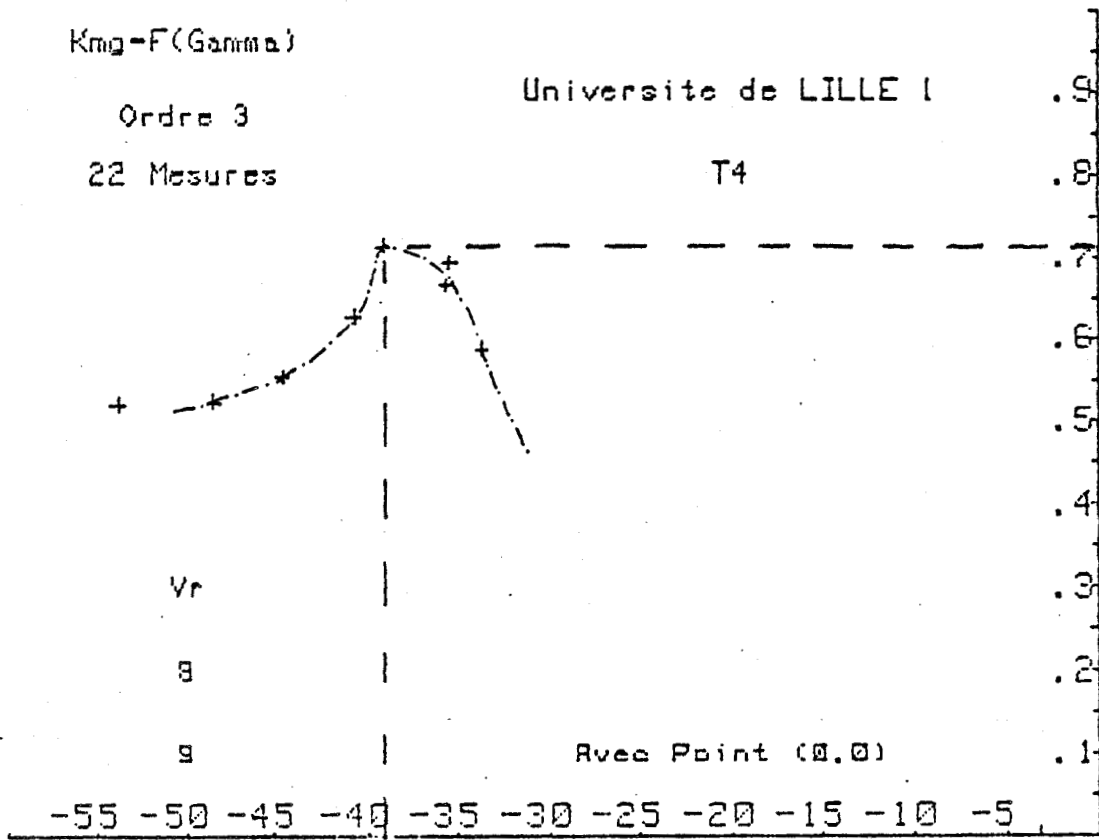


Figure 27



Le maximum de KMG est tres visible .
 Il se situe pour un angle de 39 deგრés et le KMG resultant est de 0.72
 On en deduit la vitesse du bateau egale à 7.7 noeuds .

Figure 28

Abaque obtenue sur un long bord



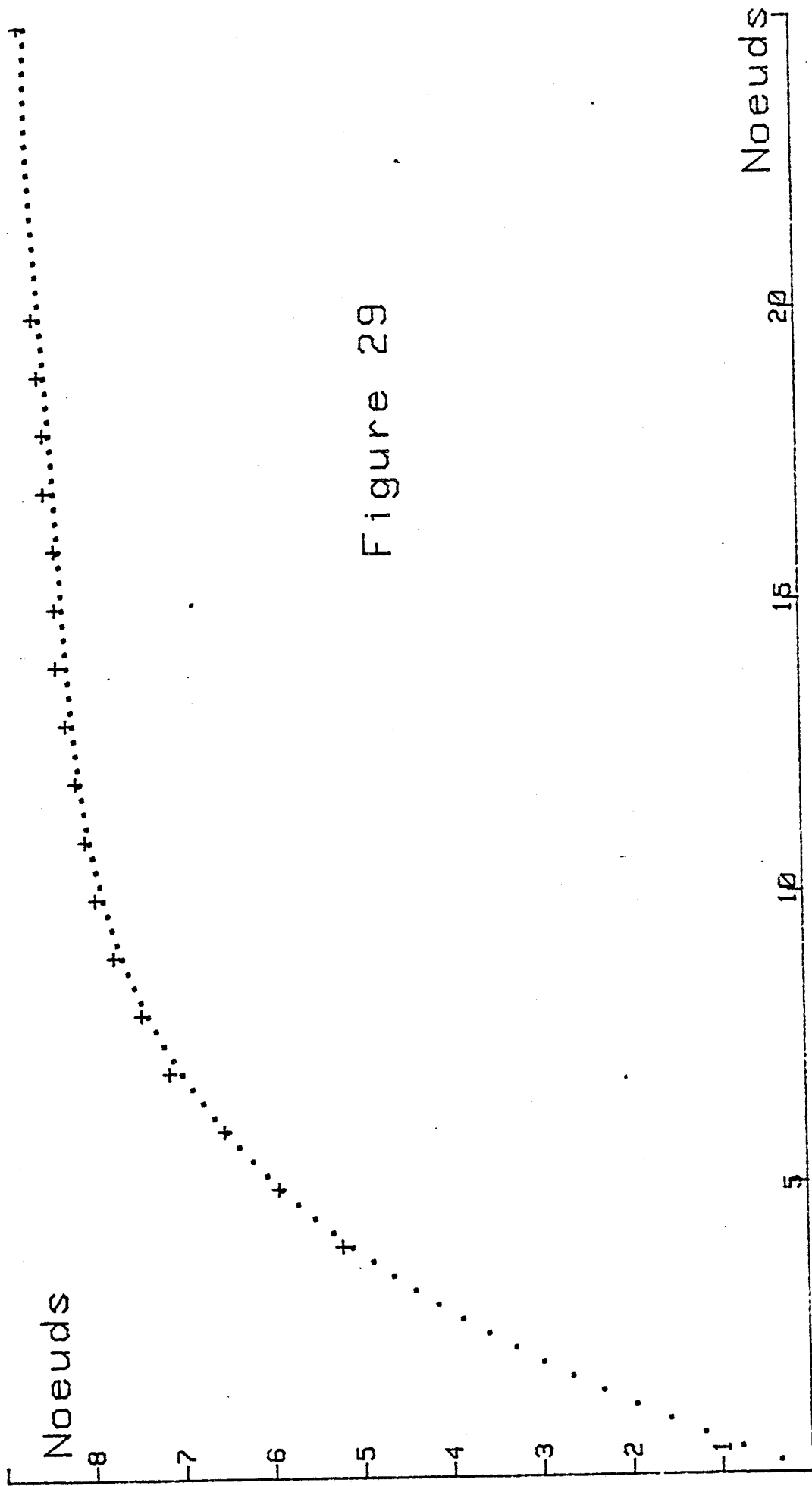


Figure 29



Vitesse au près = F (Vent réel)
 Interpolation a l'ordre 4

Equation : $Y = -8.E-5 X^4 + 0.00571 X^3 - 0.15237 X^2 + 1.82334 X + 1 - 0.03214 X^0$

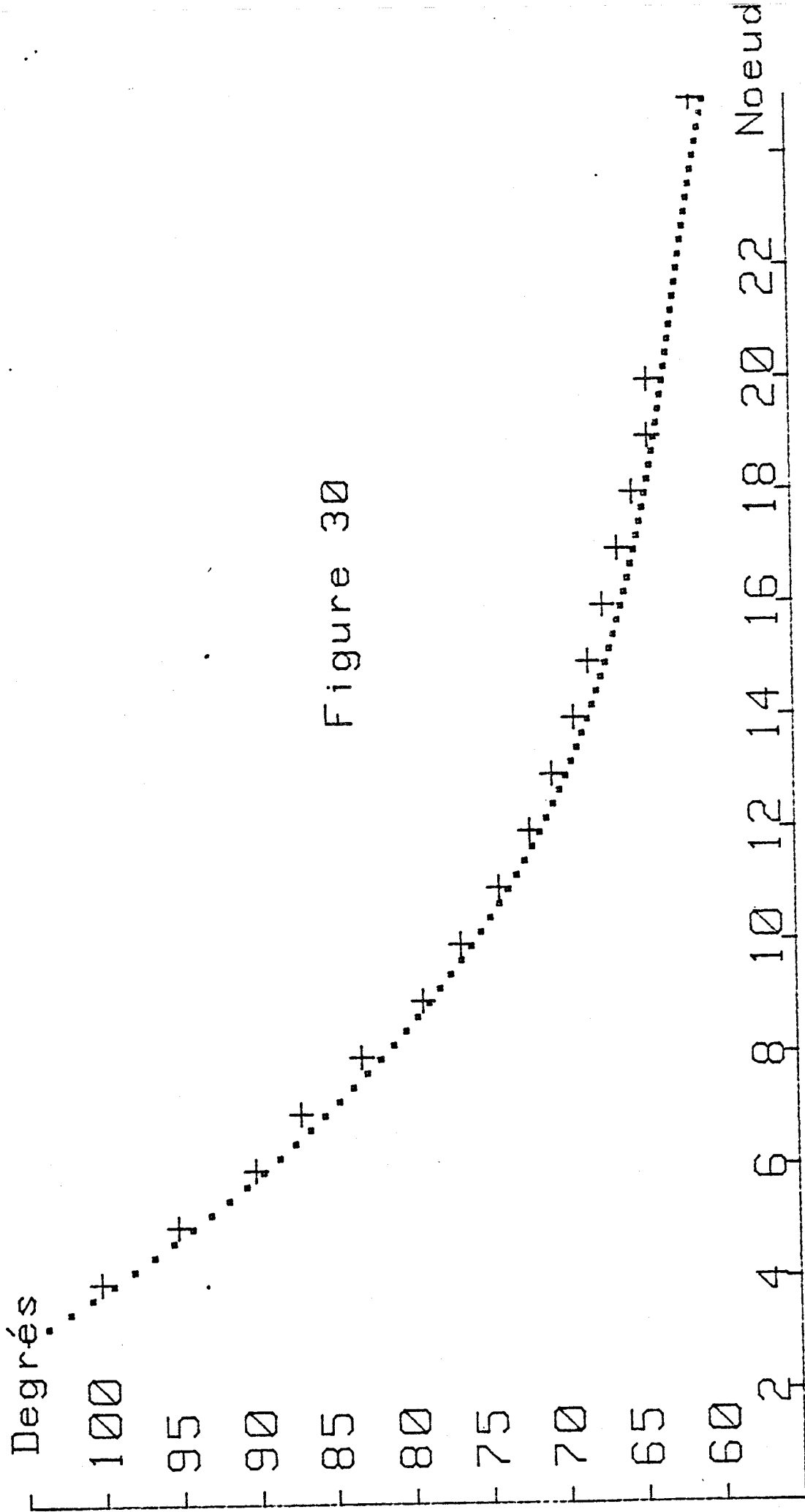


Figure 30



Tacking angle = F (Vent réel)
 Interpolation à l'ordre 3

Equation : $Y = -.00562 X^3 + .35511 X^2 - 7.99976 X + 1 + 126.78079 X^0$

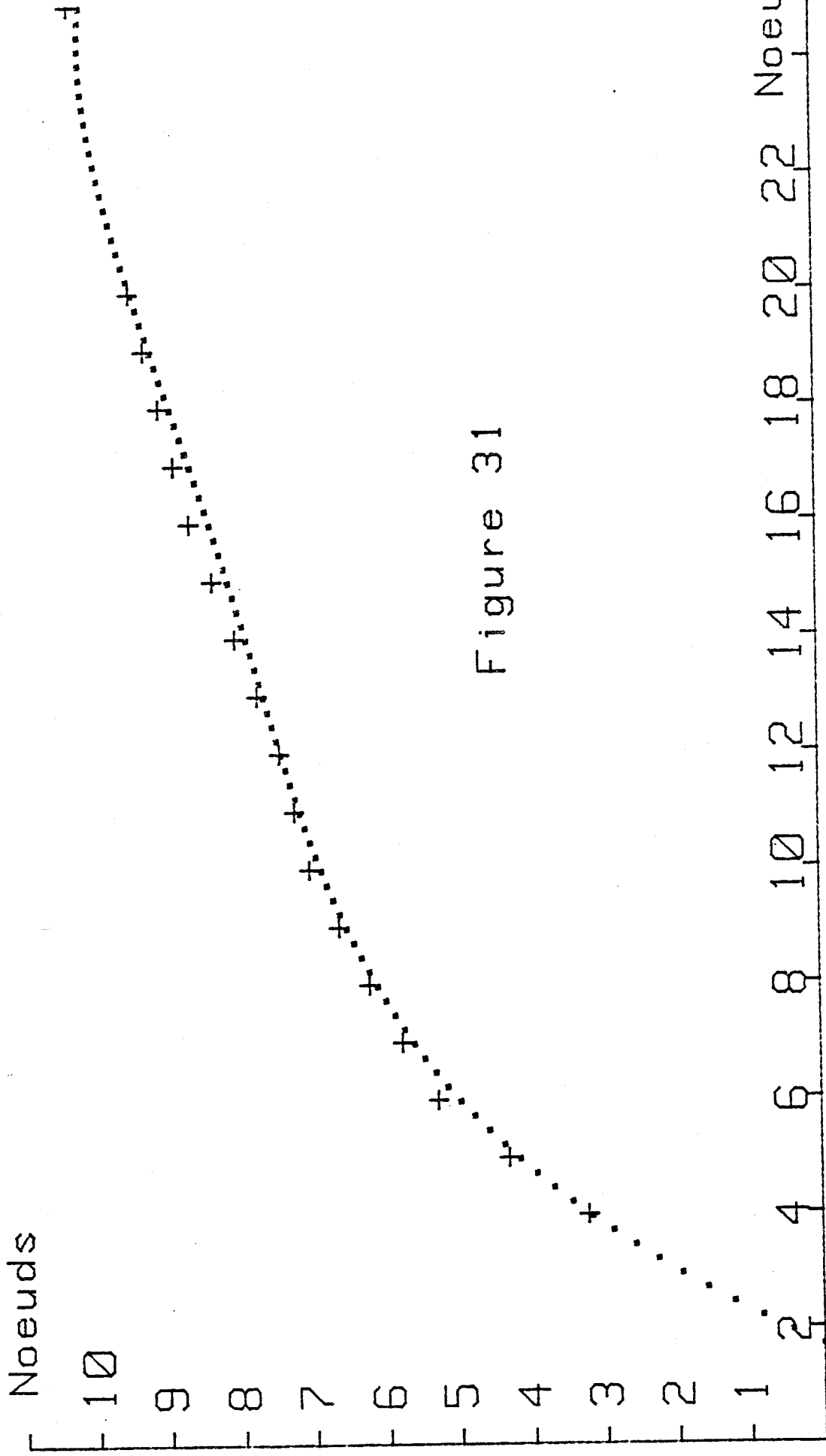


Figure 31



Speedo au portant = F (Vent réel)
 Interpolation à l'ordre 4

Equation : $Y = -.00014 X^4 + .00913 X^3 - .21349 X^2 + 2.41162 X + 1 - 3.48655 X^0$

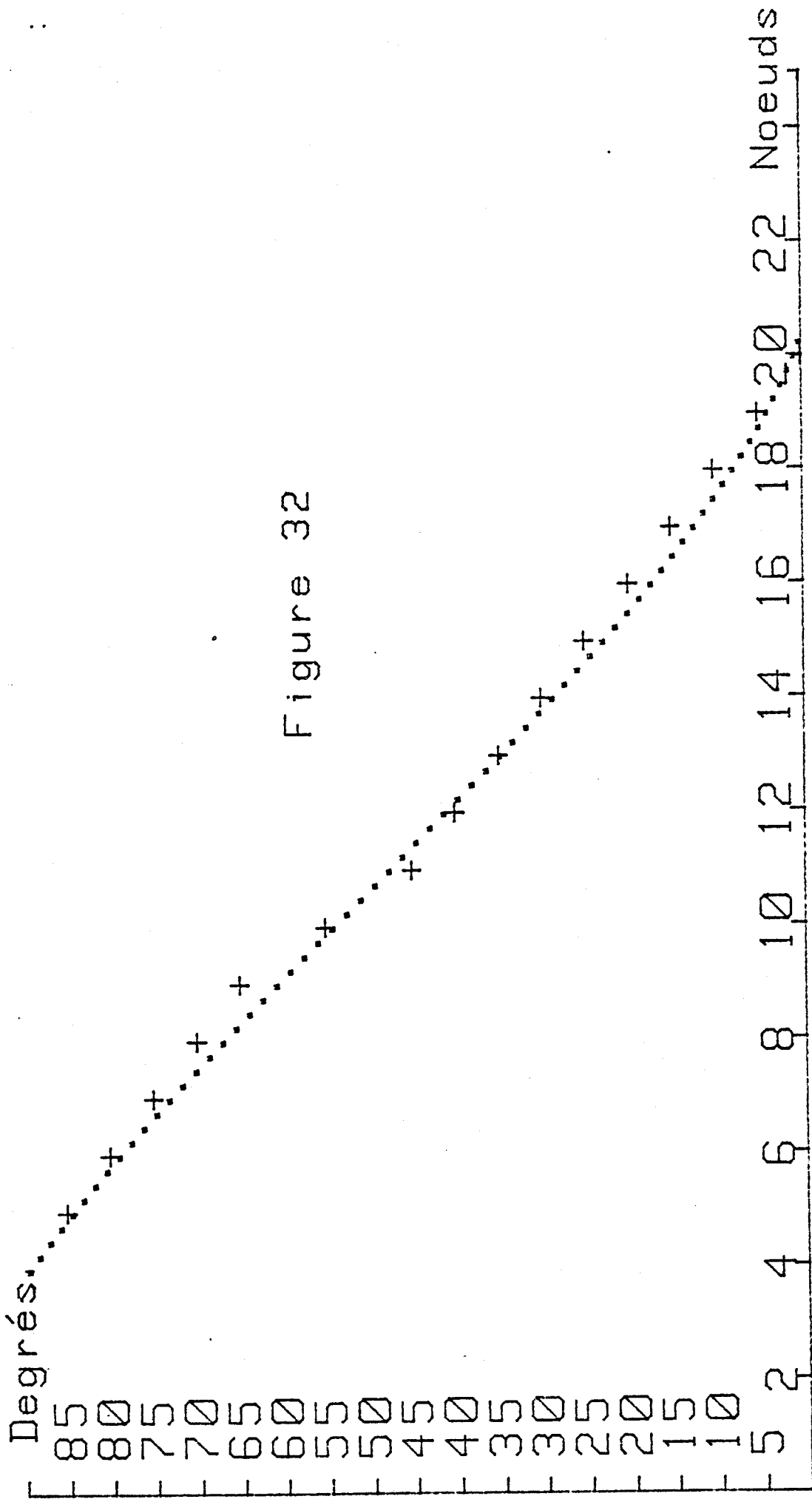


Figure 32



Jibing angle = F (Vent réel)
 Interpolation à l'ordre 3

Equation : $Y = +.01402 X^3 - .44383 X^2 - 1.63571 X + 1 + 104.08685 X \wedge 0$

- . Consacrer suffisamment de journées consécutives à faire exclusivement des mesures en tirant des bords très longs, sans manoeuvre, tout en ayant à bord un équipage compétent et motivé.

Aucune de ces 3 conditions nécessaires n'a jamais été réalisée pendant la présence du système informatique à bord de France 3, ce qui a rendu très difficile la constitution de ces abaques.

A titre indicatif, la page suivante montre le tracé du Kmg en fonction de l'angle, réalisé à partir de prises de mesures obtenues sur 1 seul bord tribord amure de 35 mn de long.

On note très bien alors le point de fonctionnement optimal, sans aucune dispersion de points. La précision aurait encore pu être affinée avec un bord durant 1 heure.

Les abaques devraient être recalculées tous les 6 mois pour constater les progrès du bateau, des voiles et de l'équipage.

III-1-3 Analyse des virements de bord

Le virement de bord est la manoeuvre fondamentale en 12 m J1. Les 2 bateaux régatant ensemble sont supposés avoir des vitesses identiques en régime permanent ; le seul espoir du bateau qui est derrière est d'attaquer son concurrent en virements de bord, de manière à se dégager du déventement de son adversaire. Les 2 antagonistes luttent alors pendant quelquefois 20 minutes en virant constamment, guettant la faute du concurrent adverse. On a compté ainsi 51 virements sur un bord de 2,5 milles entre France 3 et Canada 1, lors de leur régata du 25 Juin 1983.

Peu d'études ont été effectuées à ce jour sur ce thème, à part une approche du problème par Robby ROBINSON [11] .

Le nombre de facteurs qui régissent un virement est relativement faible. Un virement dépend de l'habileté des embraqueurs à reprendre l'écoute du génois, et de l'état physique des winchmen après une série de virements. Ces 2 facteurs dépendent essentiellement de l'entraînement. Sauf incidents (noeuds dans l'écoute, surpattage sur le winch), les équipiers du 12 m sont suffisamment au point pour réussir parfaitement la manoeuvre.

La majeure responsabilité du virement incombe donc au barreur qui doit coordonner les mouvements des 2 appendices (barre et trimmer) avec l'équipage pour perdre le moins de terrain possible dans le vent.



On a montré, dans l'analyse des virements, que le trimmer devait être pris (passé d'un côté à l'autre), avant que le bateau soit dans le lit du vent.

Les 2 grandes possibilités de virement sont :

- . Le virement sec : le bateau lofe sans préparation à l'aide d'un grand coup de barre, et se remet vite à son cap.
- . Le virement mou : le barreur évite les mouvements brusques de manière à faire perdre peu de vitesse. Il commence par abattre légèrement avant le virement, puis passe le trimmer en plusieurs fois, avant de relancer le bateau sur l'autre bord. En contrepartie, ce virement dure plus longtemps.

Pour étudier les virements, un programme spécial a été conçu. Il lit les données correspondant

à 4 minutes de navigation, ou le virement se situe au milieu. Après un filtrage numérique des informations provenant des différents capteurs, il calcule la vitesse de remontée au vent avant le virement. On calcule ensuite le VMG* pendant le virement et l'intégration de la différence entre le VMG instantané et le VMG moyen avant virement donne la perte en mètres pendant le virement. En parallèle avec cela, on trace l'évolution des différents capteurs importants comme la girouette, la vitesse et les angles de barre et de trimmer. On reconstitue également la trajectoire du bateau pendant ces 4 minutes, de manière à déterminer le Tacking Angle* (différence de cap d'un bord sur l'autre).

Analyse de cas

- Très mauvais virement : fichier D27F57

Le barreur a 3 degrés de trimmer tribord amure pour équilibrer le bateau, mais n'en a plus que 1 degré babord amure, ce qui entraîne des coups de barre plus hachés, avec une moyenne d'angle de barre plus importante.

Le bateau n'est pas du tout relancé à la sortie du virement (pas d'abbattée), ce qui fait que la vitesse descend très bas (4 noeuds) et qu'elle met longtemps à remonter (70 secondes).

La perte dans ce virement est de 32 mètres.

- Virement moyen : fichier D21F96

Le barreur abat un peu avant le virement pour lancer le bateau, puis abat à la sortie du virement mais pas suffisamment pour relancer le bateau, ce qui fait que la vitesse remonte trop lentement.

Fichier: D27F57 Date: 11/06/83
 Perte: 32.1 metres Vent: 16.9 n
 Début : 70 sec Vrt : 90 sec Durée: 90 sec

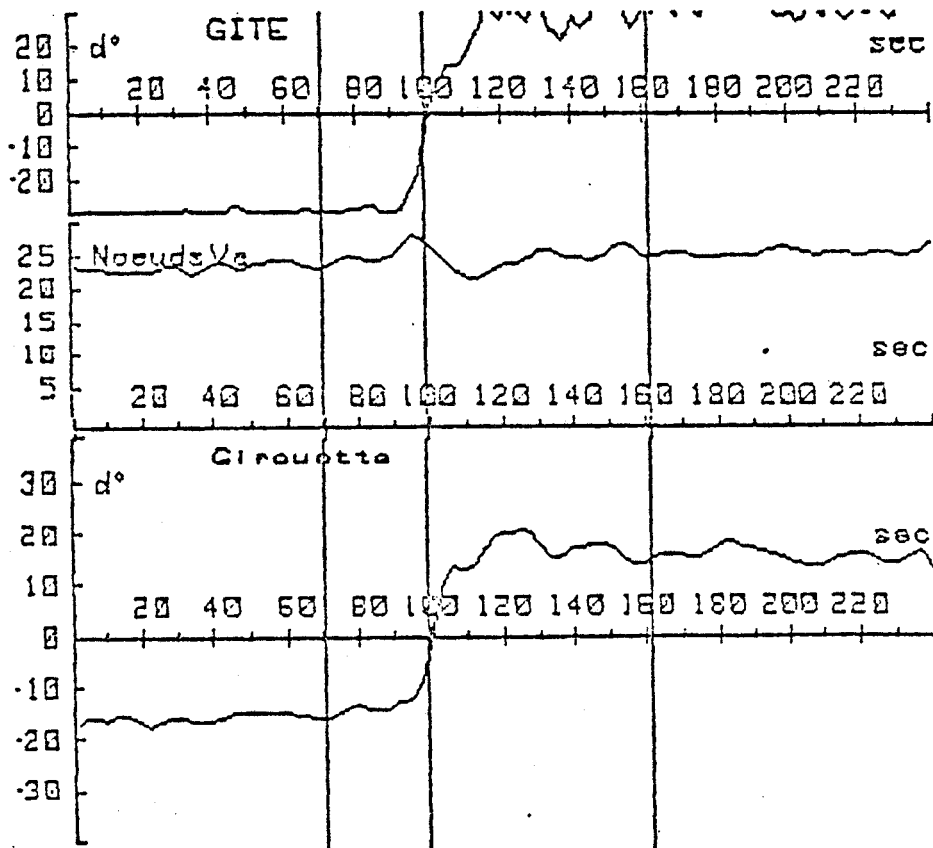
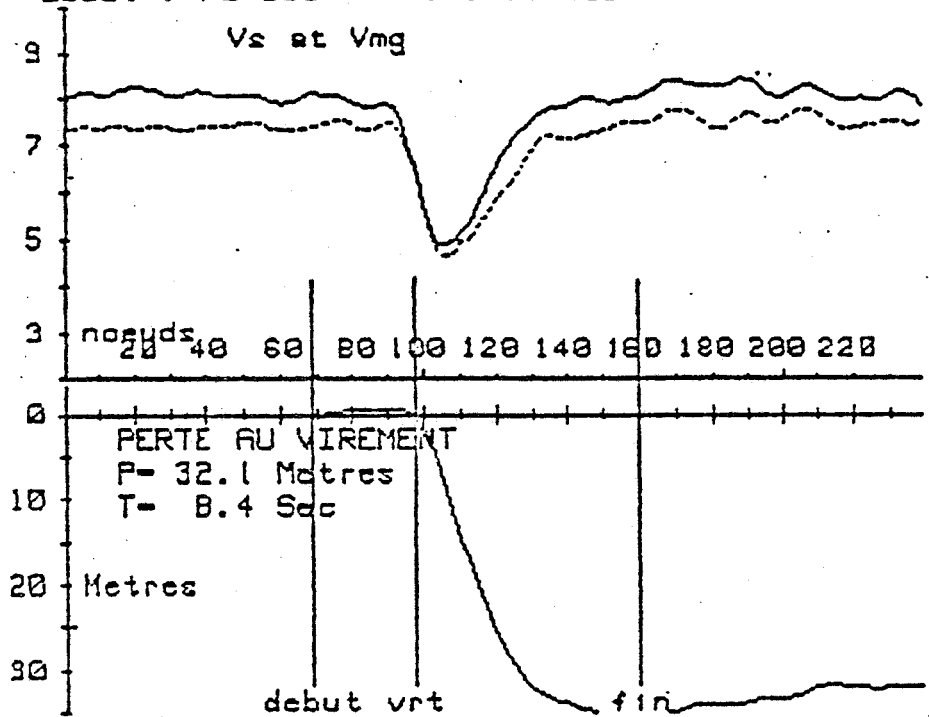
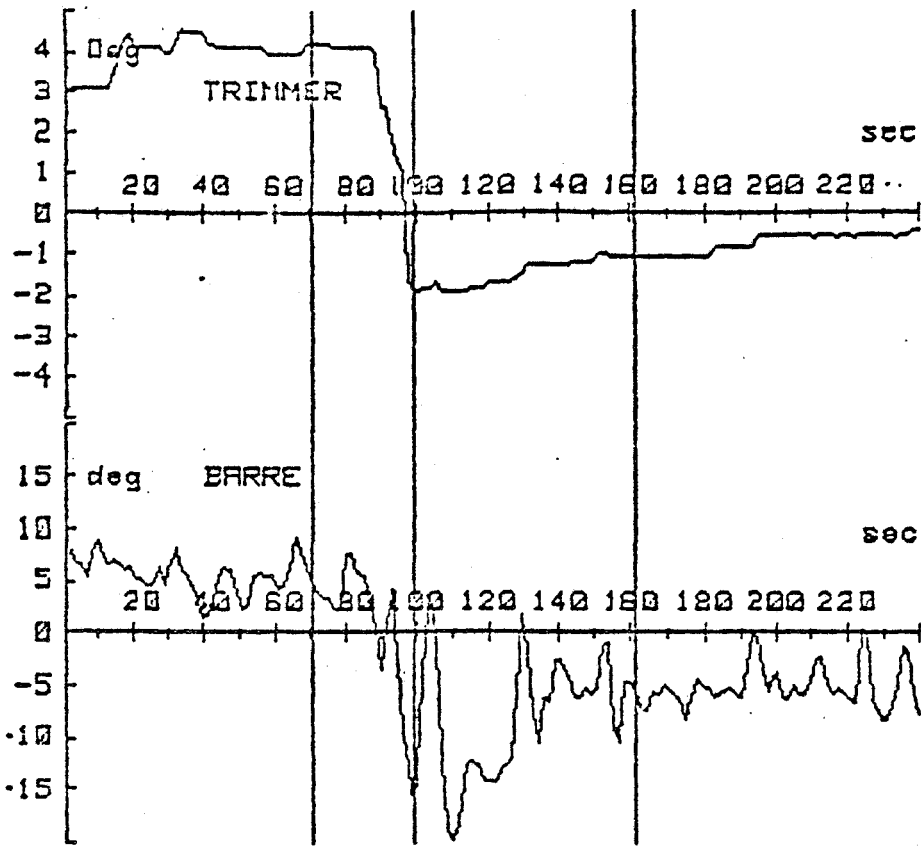


Figure 33 - Page 1

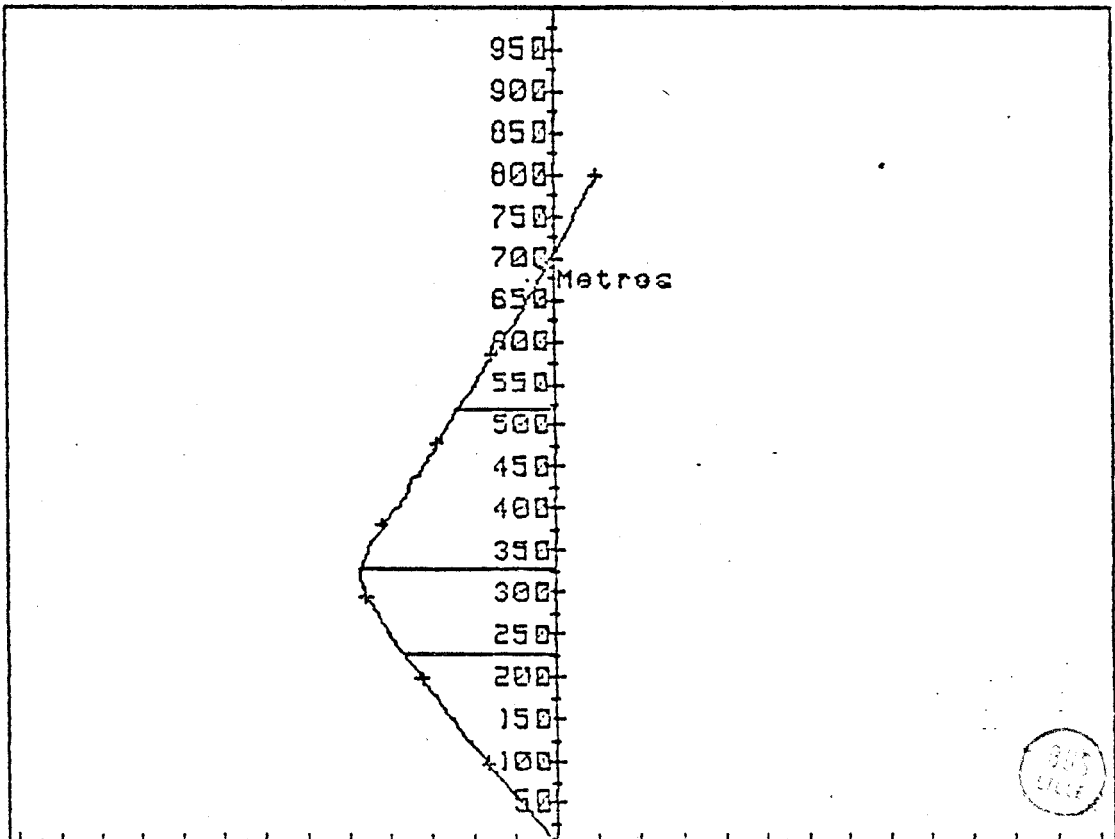




ANALYSE DE VIREMENT(suite)

Fichier:D27F57

Espacement:30.0 sec



Fichier: D21F96 Date: 03/06/83
 Perte: 26.6 metres Vent: 18.0 n
 Début : 50 sec Vrt : 74 sec Durée: 80 se

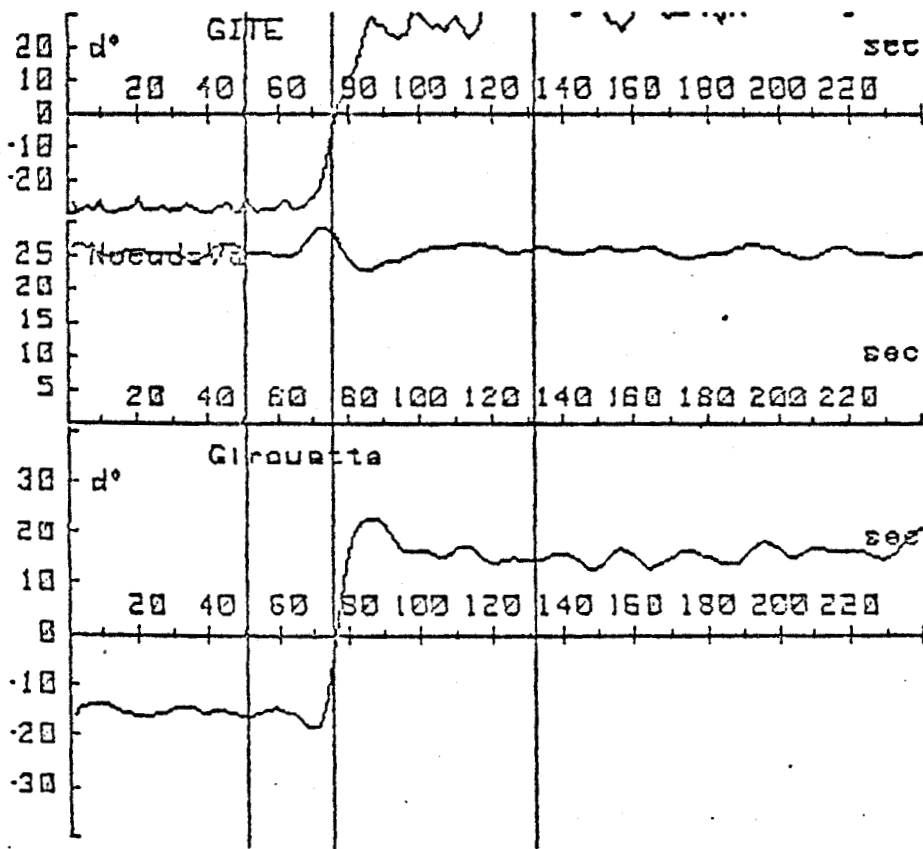
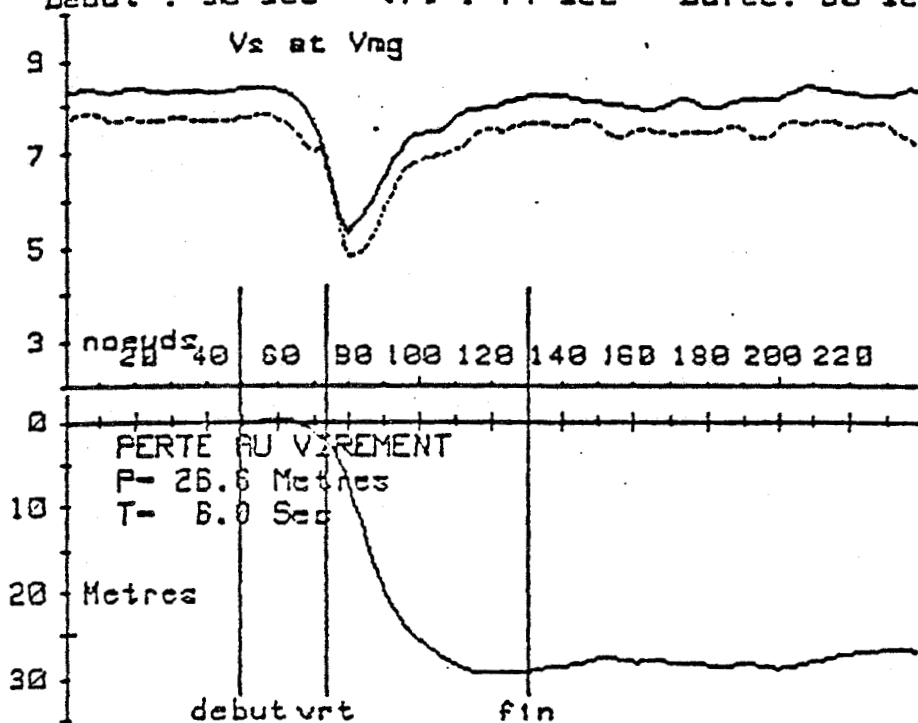
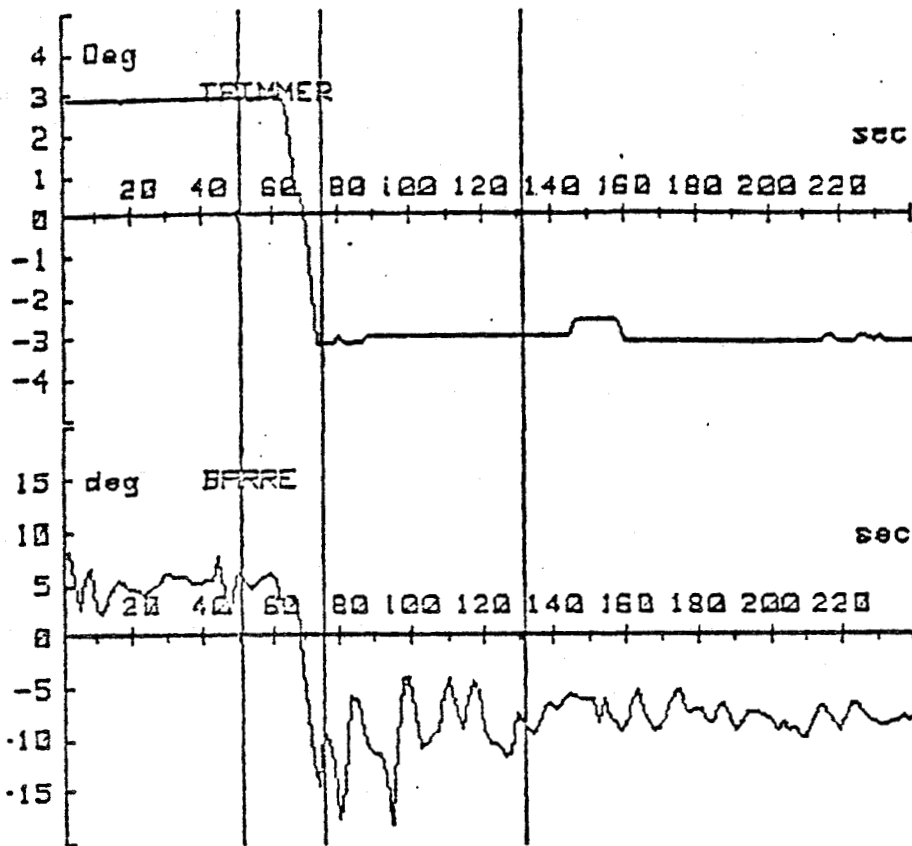


Figure 34 - Page 1

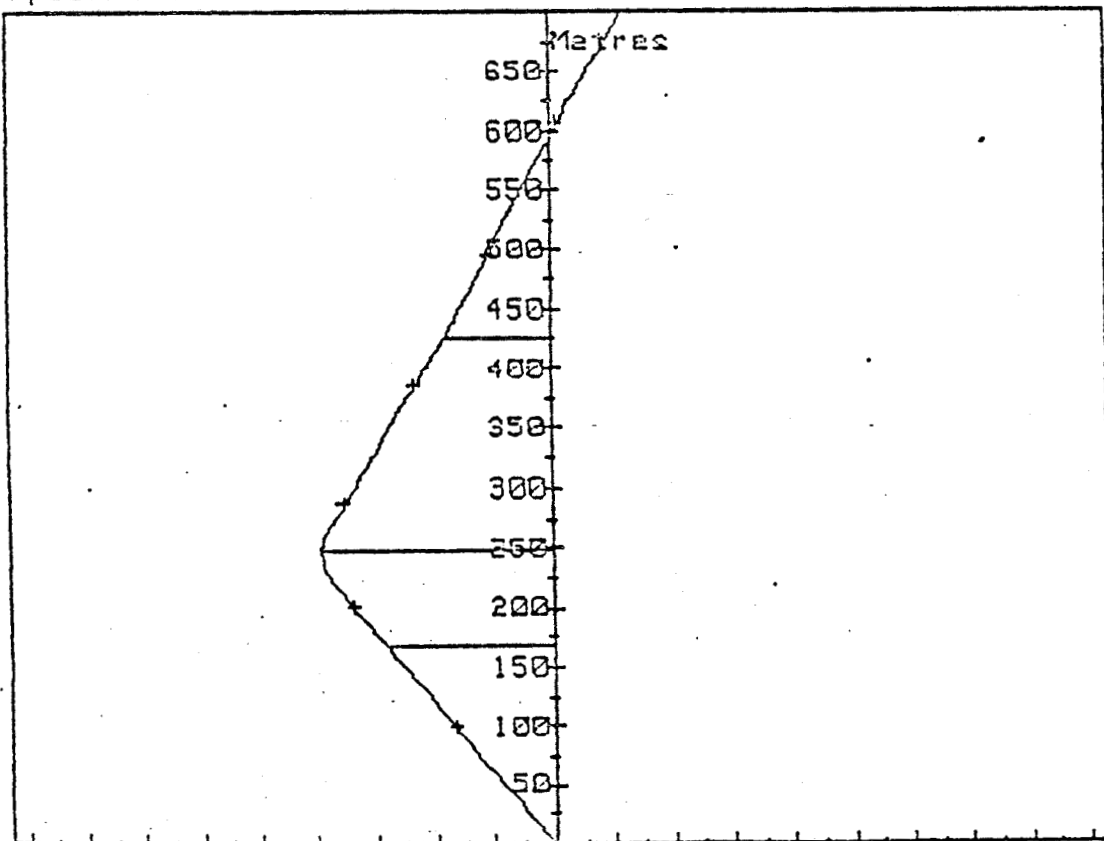




ANALYSE DE VIREMENT(suite)

Fichier:D21F96

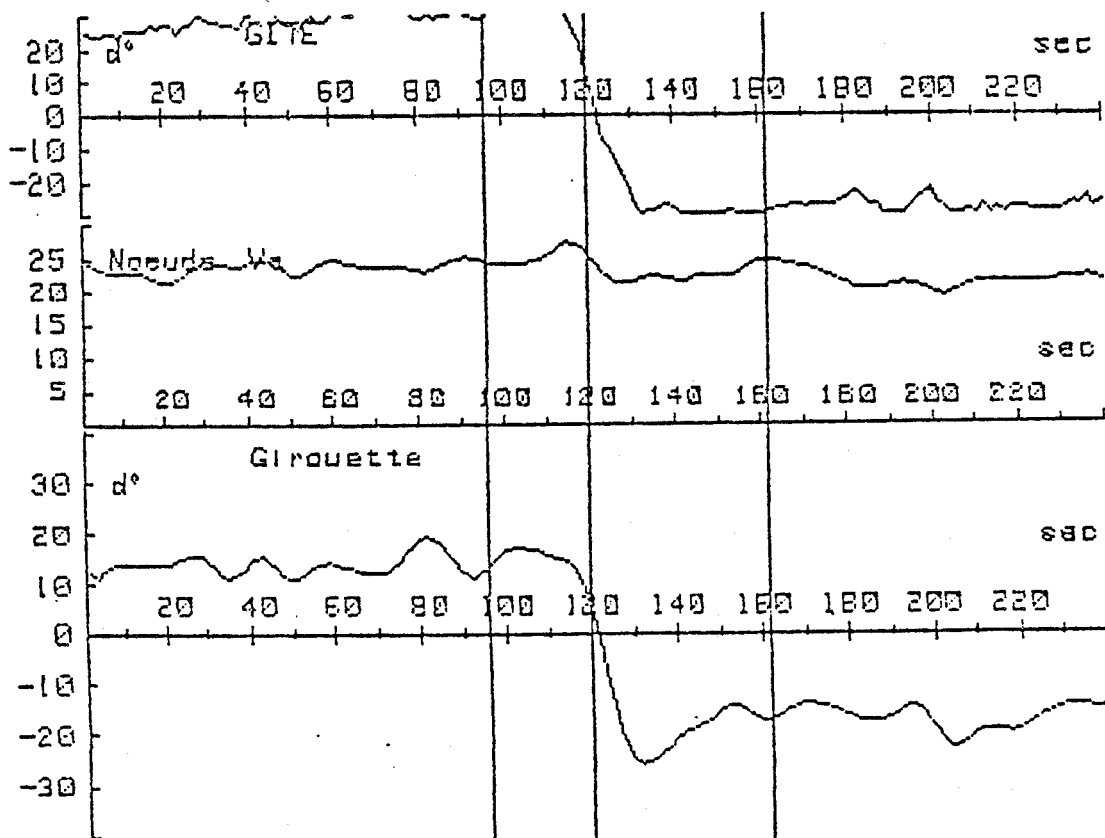
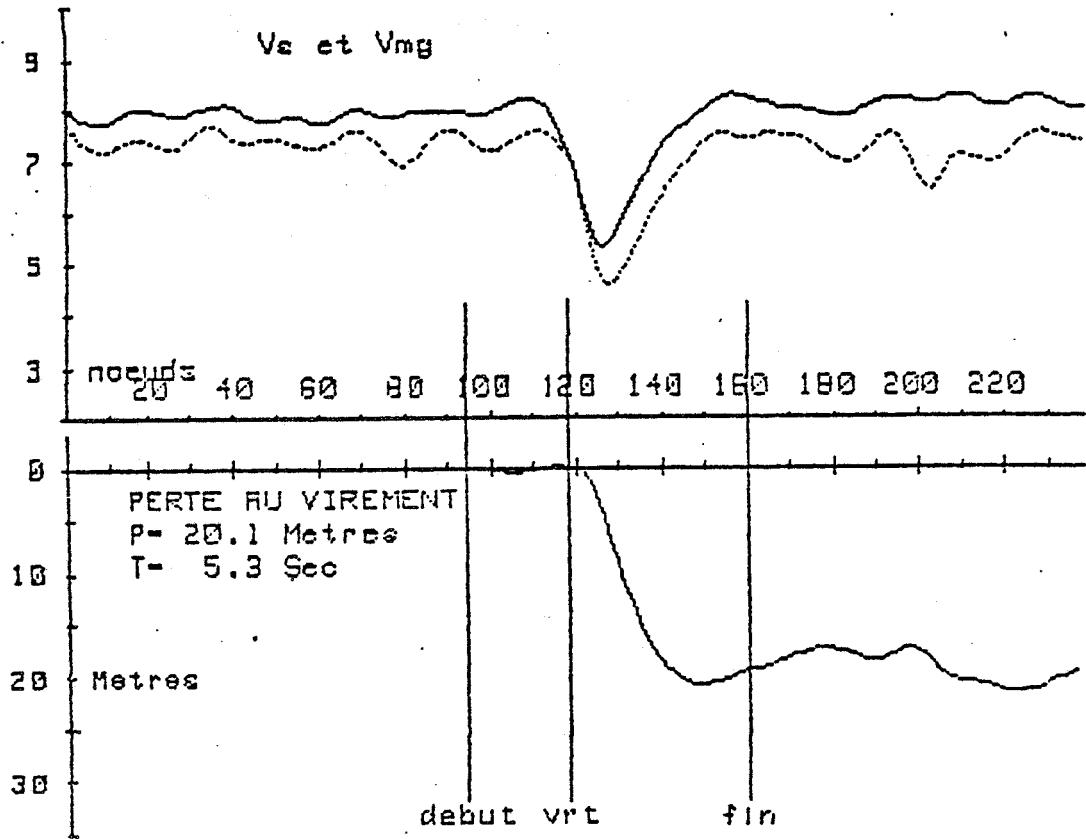
Espacement:30.0 sec

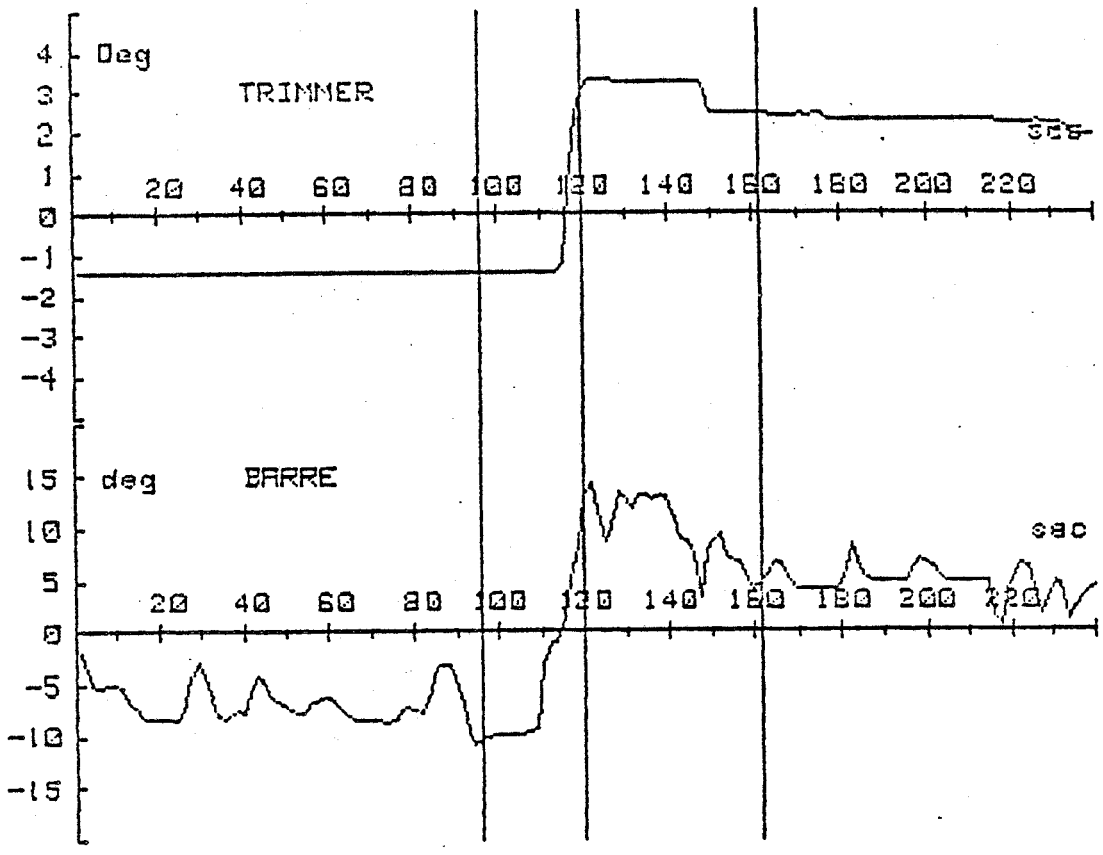


ANALYSE DE VIREMENT

Fichier : D27F44
 Date : 11/06/83
 Barreur : B. TROUBLE

Perte: 20.1 metres Vent: 15.5 n
 DEbut : 95 sec Vrt : 118 sec DurEe: 65 sec
 VMG Theorique : 6.94
 VMG avant virement : 7.38





ANALYSE DE VIREMENT(suite)

Fichier:D27F44
 Espacement:18.8 sec

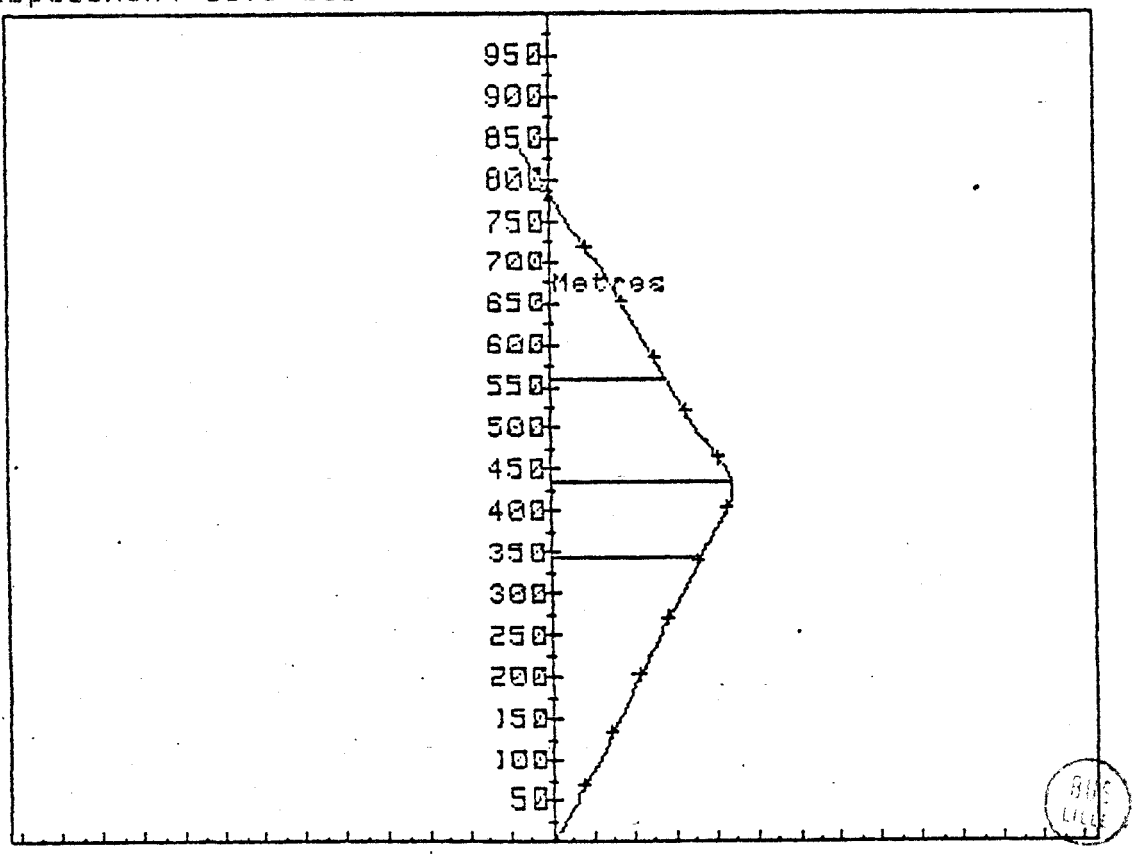


Figure 35 - Page 2

- Bon virement : fichier D27F44

Le barreur abat légèrement avant le virement et relance bien son bateau en sortie de virement, sans toutefois rester trop longtemps débridé.

Les coups de barre sont réguliers et pas trop importants et le trimmer est passé en une seule fois, de manière à accélérer le virement. La perte n'est que de 20 mètres dans ce virement.

Eléments donnant un bon virement sur un 12 m, d'après les enregistrements effectués.

- * Abattre de 3-4 degrés pendant 5 secondes avant le virement, de manière à acquérir de l'énergie cinétique.
- * Virer rapidement en passant le trimmer en une fois de manière à ce qu'il soit juste pris quand le bateau est dans le lit du vent.
- * Relancer le bateau pendant 10 secondes en prenant 10 degrés de girouette de plus qu'au régime permanent. Relofer régulièrement et assez rapidement (20 secondes).
- * L'angle du bateau par rapport au vent réel doit être égal à celui du régime permanent 25 secondes après le virement.

III-1-4 Suivi d'abaques au près

Un programme de suivi d'abaques au près a été réalisé de manière, d'une part à voir si le bateau était bien réglé et, d'autre part pour juger de la concentration des différents barreurs.

Ce programme nous a permis hélas de constater que le bateau ne faisait pas un bon cap au près,

malgré tous les réglages effectués.

Exemple du D12F68

On suit très bien sur ces graphiques les corrélations angles/au vent réel \longleftrightarrow vitesse. On note aussi le retard d'évolution de la vitesse par rapport à l'angle/au vent réel. Le résultat du compromis cap-vitesse est représenté par le tracé de la vitesse de remontée au vent (VMG Velocity Made Good).

Ce test est imparable pour juger de la différence entre 2 barreaux de près ! Sur 4 minutes de navigation, une erreur de 1° de girouette par rapport à l'abaque entraîne 15 mètres de perte au vent ! Ce programme s'est avéré également une aide très efficace pour régler le zéro de girouette.

D27F81

Le barreur cherche à trop lofer, ce qui fait que la vitesse n'atteint pas l'abaque. Le bateau perd ainsi 45 m sur sa trajectoire normale.

D34F70

Ici, l'effet inverse se produit : trop d'abattée. A noter la pointe de VMG, lorsque le bateau relofe (Energie accumulée et restituée).

Cette étude a confirmé le fait que l'angle entre l'axe du bateau et le vent réel était très important pour le réglage du bateau au près. Le barreur étant habitué à utiliser l'angle de girouette, c'est-à-dire l'angle entre l'axe du bateau et le vent apparent, nous avons fait précéder cette indication d'un signe sur les afficheurs à cristaux liquides : un signe + lorsque le bateau se situe en-dessous de l'a-

Fichier :	D12F68	CAF	Moy =	60.59	Ec_type =	.32
Date :	14/05/83	Az Vr	Moy =	96.02	Ec_type =	.30
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy =	12.35	Ec_type =	.05
Heure :	13.17	BS	Moy =	8.14	Ec_type =	.01
		Va	Moy =	19.55	Ec_type =	.03
		Gir	Moy =	-18.74	Ec_type =	.12

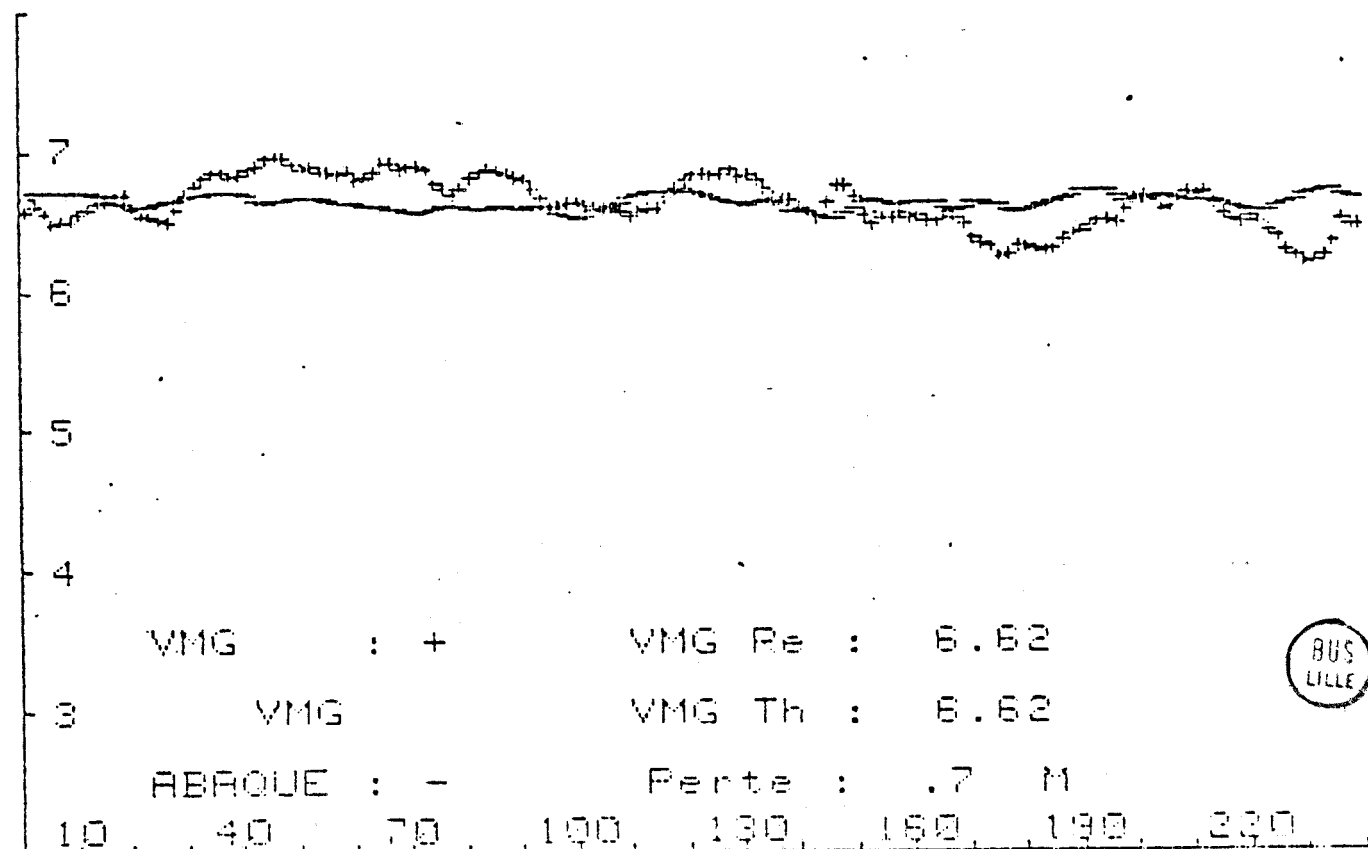
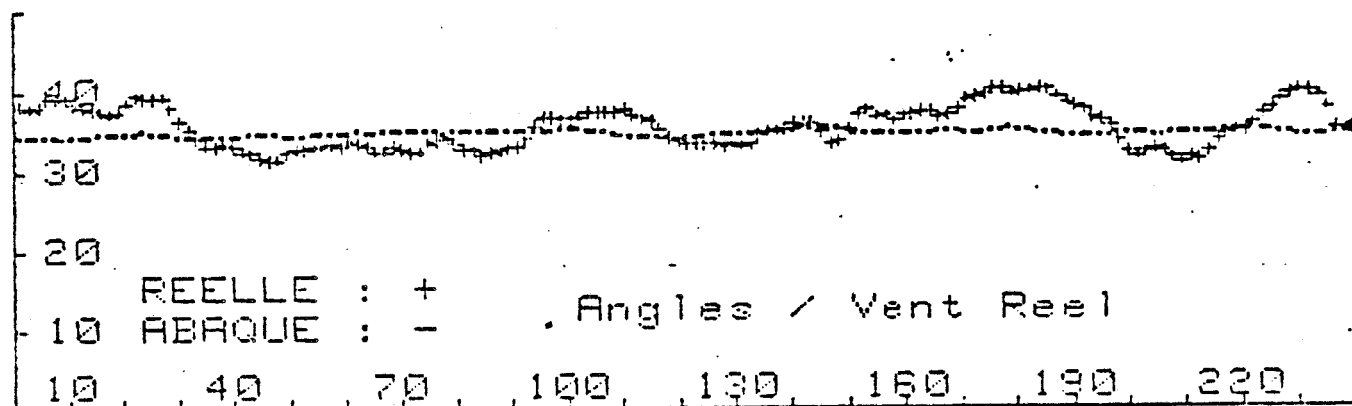
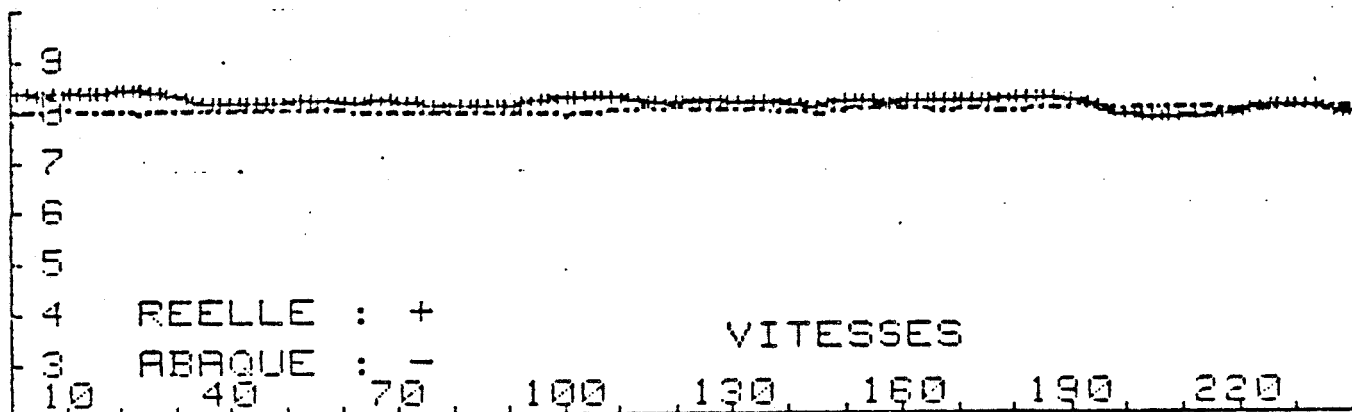


Figure 36

Fichier :	D34F70	CAP	Moy =	179.37	Ec_type =	.28
Date :	26/06/83	Az Vr	Moy =	225.31	Ec_type =	.17
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy =	7.23	Ec_type =	.03
Herre :	17.03	BS	Moy =	7.09	Ec_type =	.01
		Va	Moy =	13.17	Ec_type =	.03
		Gir	Moy =	-21.46	Ec_type =	.13

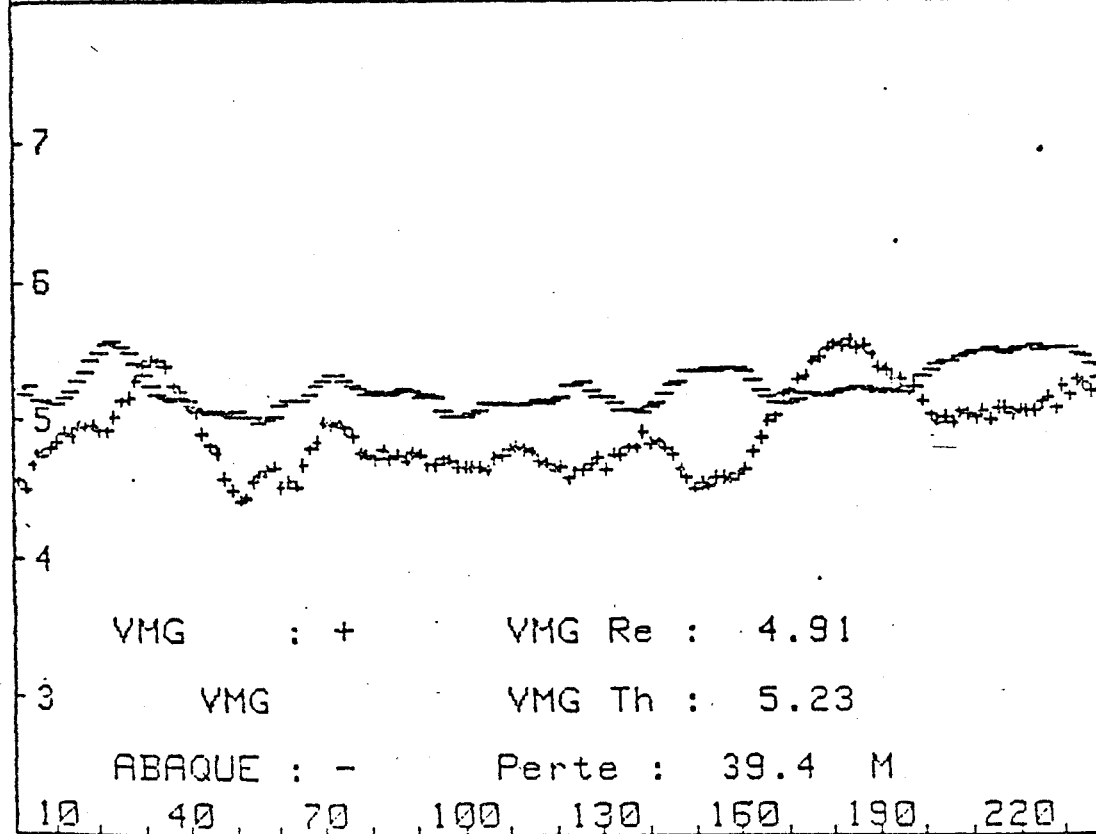
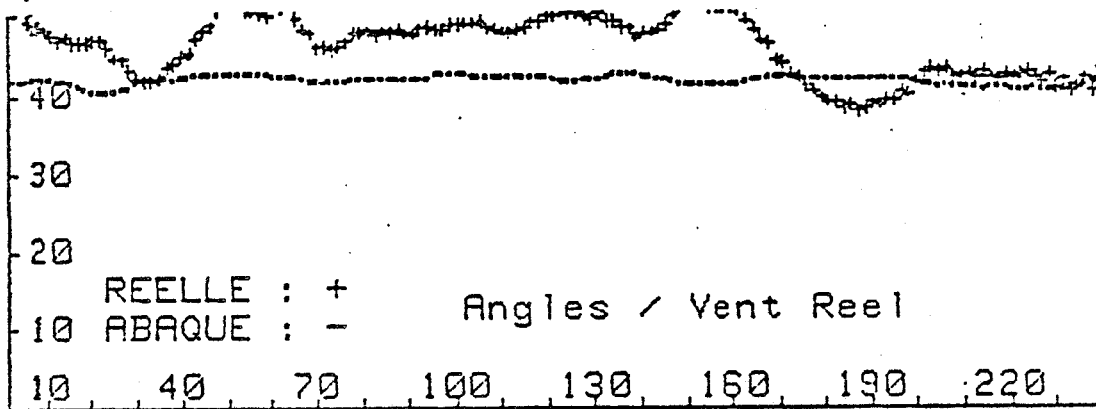
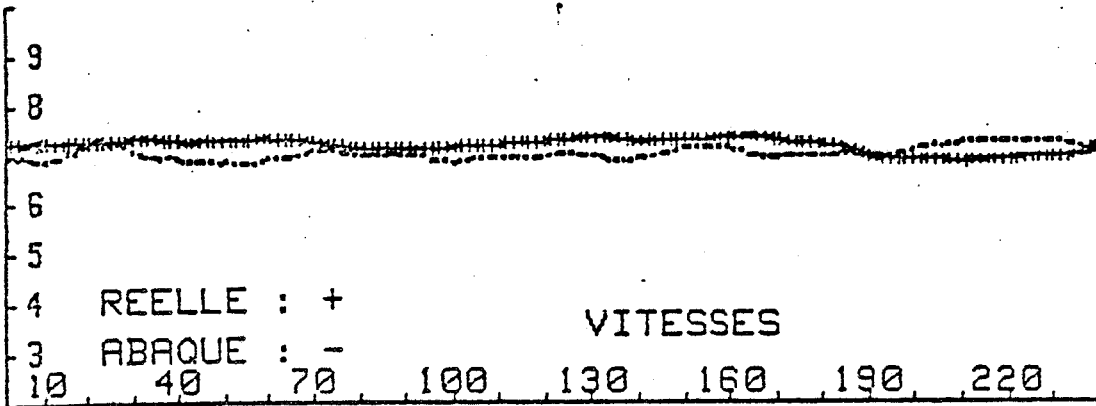


Figure 37

Fichier :	D27F81	CAP	Moy =	199.10	Ec_type =	.26
Date :	11/06/83	Az Vr	Moy =	228.51	Ec_type =	.19
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy =	17.91	Ec_type =	.07
Heure :	14.03	BS	Moy =	7.74	Ec_type =	.02
		Va	Moy =	24.94	Ec_type =	.06
		Gir	Moy =	-17.69	Ec_type =	.14

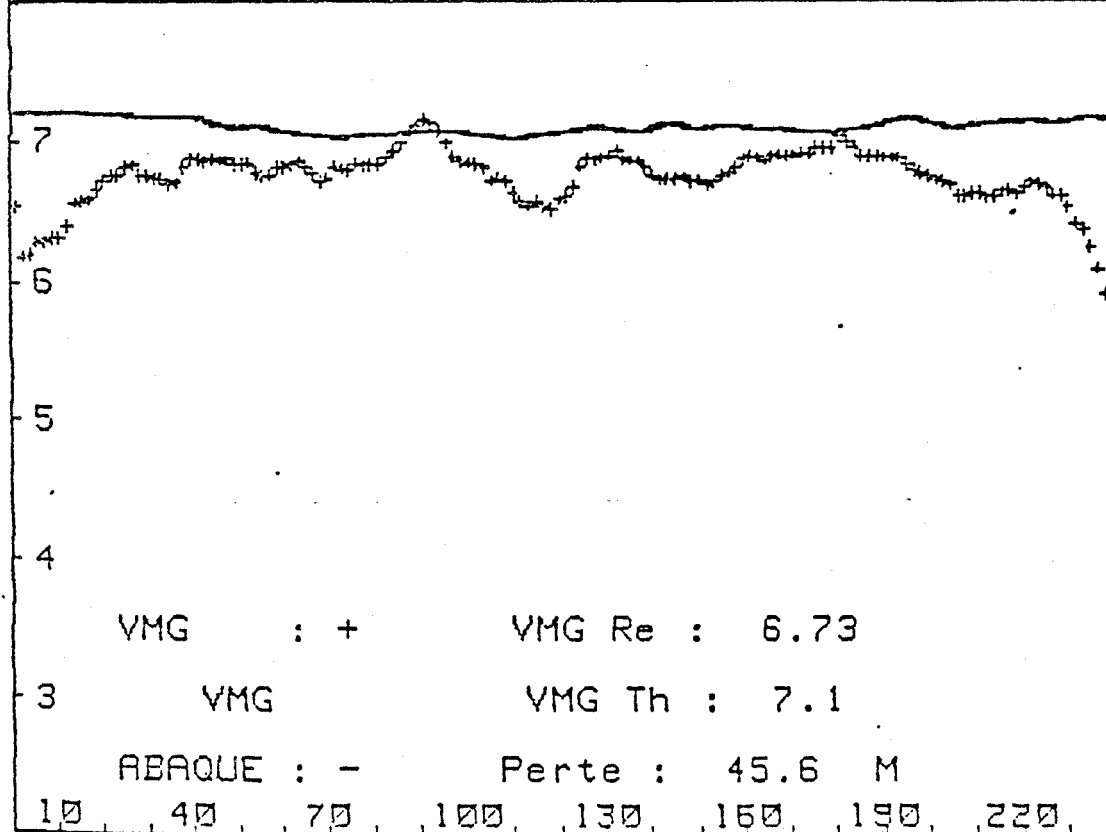
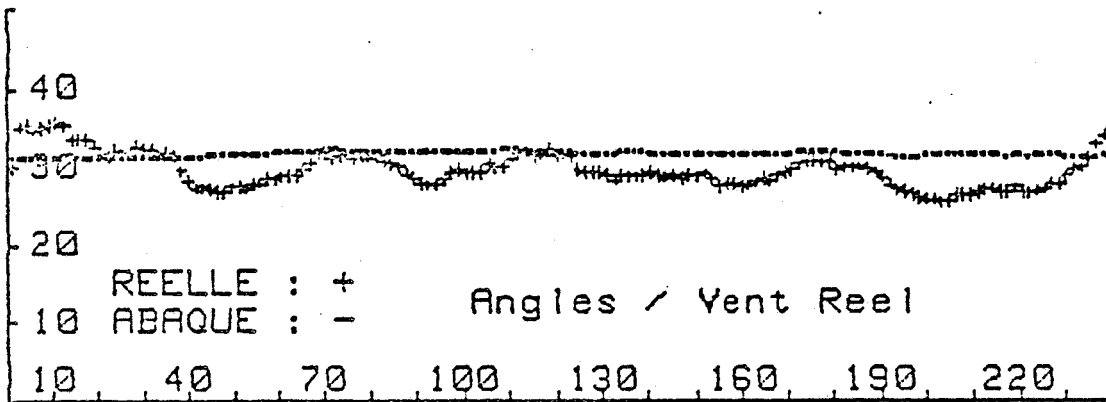
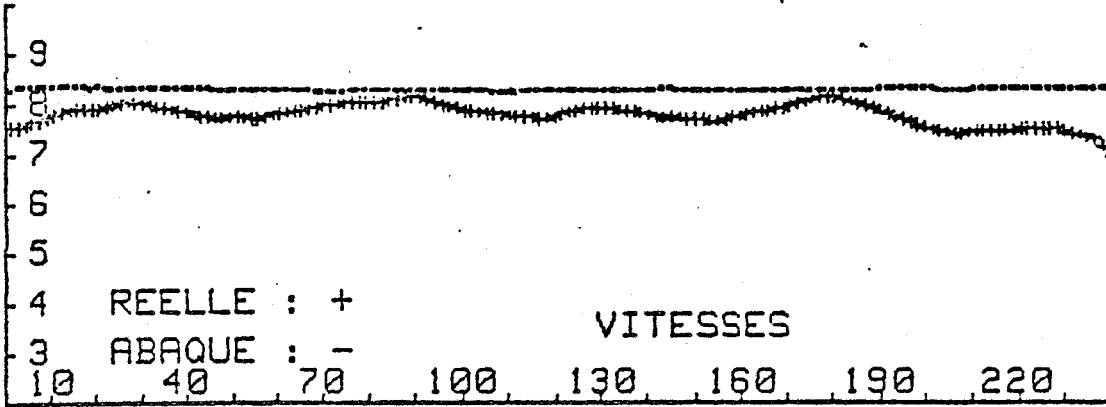


Figure 38

baque en angle (trop lof ) et qu'il faut augmenter l'angle/au vent réel, et un signe - dans l'autre cas (trop abattu). L'indication de girouette n'est pr ec ed e d'aucun signe dans le cas o u le bateau se situe dans une fourchette de 2  autour de l'abaque.

D'autre part, le barreur a, sous les yeux 2 autres afficheurs qui lui donnent la vitesse du bateau, et la vitesse que devrait faire le bateau (abaque).

III-2 Programme de traitement en temps réel

III-2-1 Introduction

Ce programme constitue la pi e majeure du logiciel utilisé sur France 3. Il est le fruit de 2 ans d'évolutions successives. Après avoir été écrit pour un calculateur du type HP 9835, en Basic, avec des routines assembleurs, il a été modifié pour être implanté en Basic sur un calculateur HP 9915 en Juillet 1982 à la Baule, puis à nouveau adapté sur le calculateur HP 9816 pour être utilisé sur France 3. Le programme final est entièrement rédigé en Basic nécessitant les ordres de programmation avancés des extensions Basic.

Un listing abondamment comment  figure dans un volume à part, ainsi que tous les autres programmes utilisés pour France 3 [12]. Ce programme utilise 70 K octets de place mémoire, dont 20 K octets réservés pour la mémorisation de variables.

III-2-2 Présentation du fonctionnement

a) Entrée des données

Une fois le programme lancé, plusieurs questions sont posées à l'utilisateur, de manière à initialiser les données :

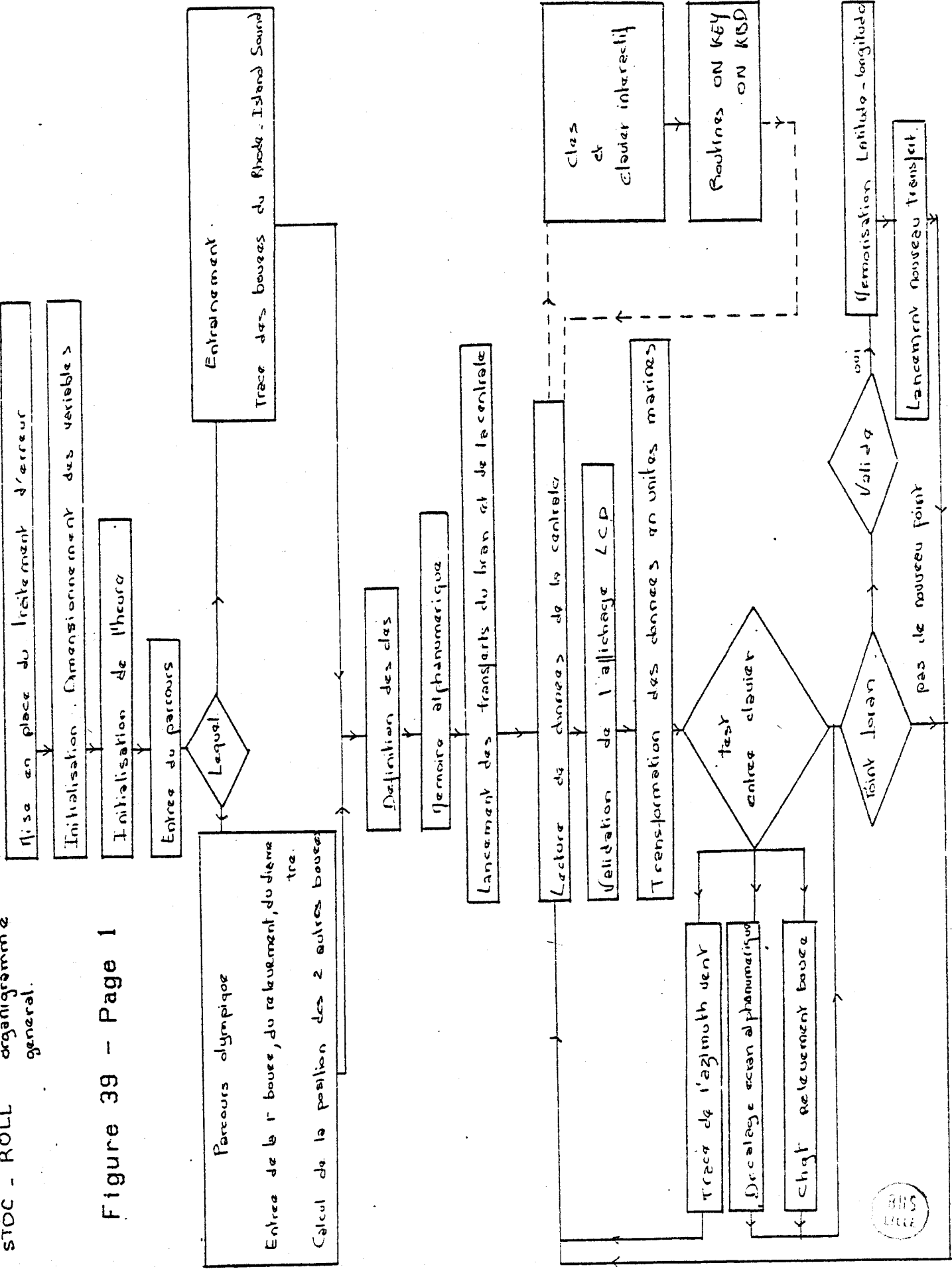
- l'heure, de manière à initialiser l'horloge interne du calculateur.
- le type de parcours, de manière à initialiser l'écran graphique : + un entraînement crée un fond de carte où se placent les bouées du Rhode Island Sound.
: + un triangle olympique où se placent les 3 bouées de régates.
- dans ce deuxième cas, le calculateur demande :
 - . la position géographique en latitude et longitude (en minutes d'angles) de la bouée de départ.
 - . le relèvement magnétique de la deuxième bouée en degrés.
 - . la distance séparant la première de la deuxième bouée en milles nautiques.
- le calculateur demande enfin le numéro du disque sur lequel on va stocker des fichiers, ainsi que le numéro du premier fichier à stocker.

Après l'entrée de ces données, le calculateur affiche sur son écran, si le parcours est du type olympique, la latitude et la longitude des 3 marques de parcours, puis effectue une pause, de manière à ce que le navigateur puisse les noter.

b) Fonctionnement en boucle

Après la phase d'entrée de données, le calculateur exécute un programme en boucle. Chaque boucle dure 1,6 seconde, ce qui correspond au cadencement de la centrale d'acquisition. A chaque boucle, le program-

Figure 39 - Page 1



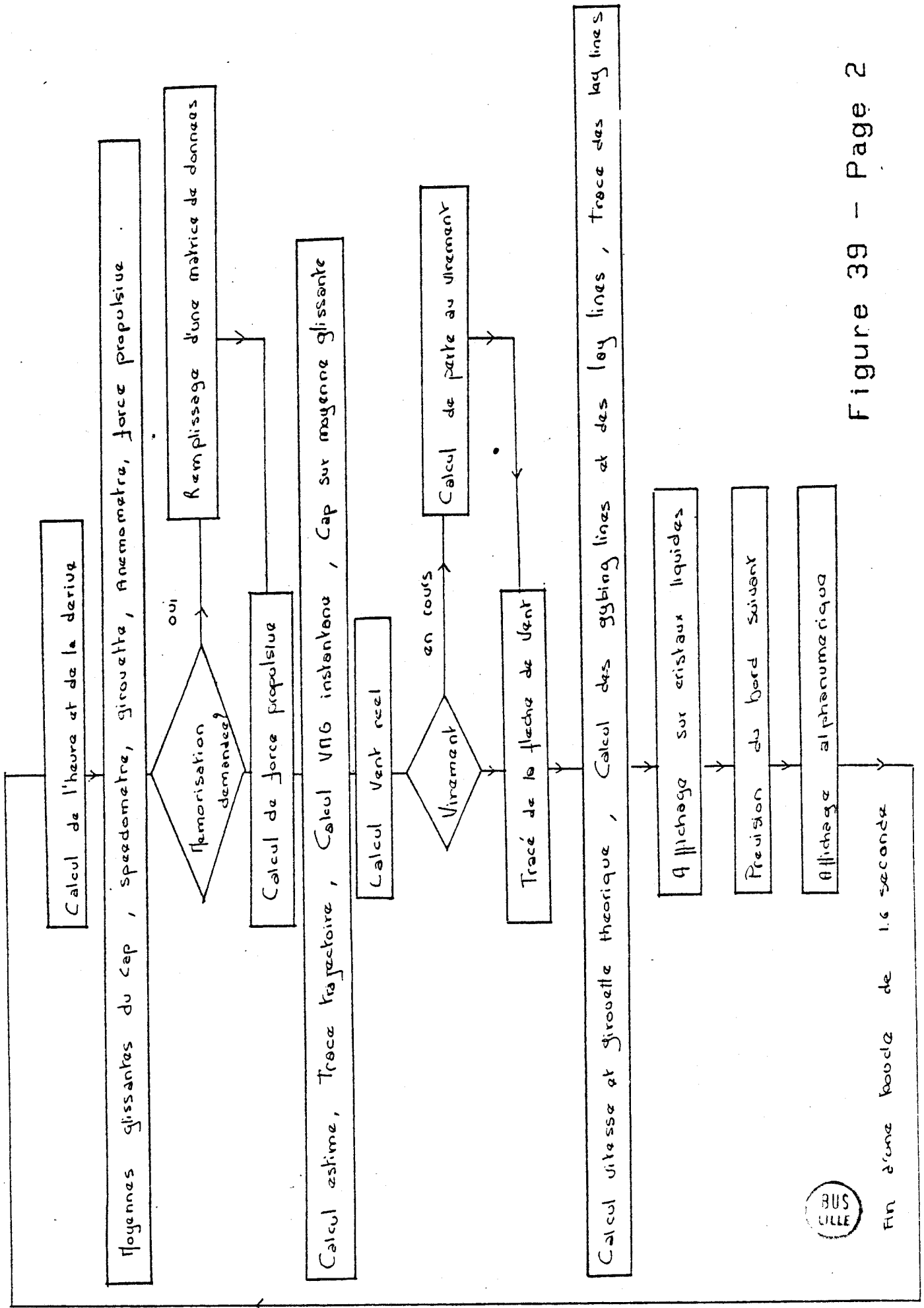


Figure 39 - Page 2



Fin d'une boucle de 1.6 seconde

5/07/83

KAG > F3

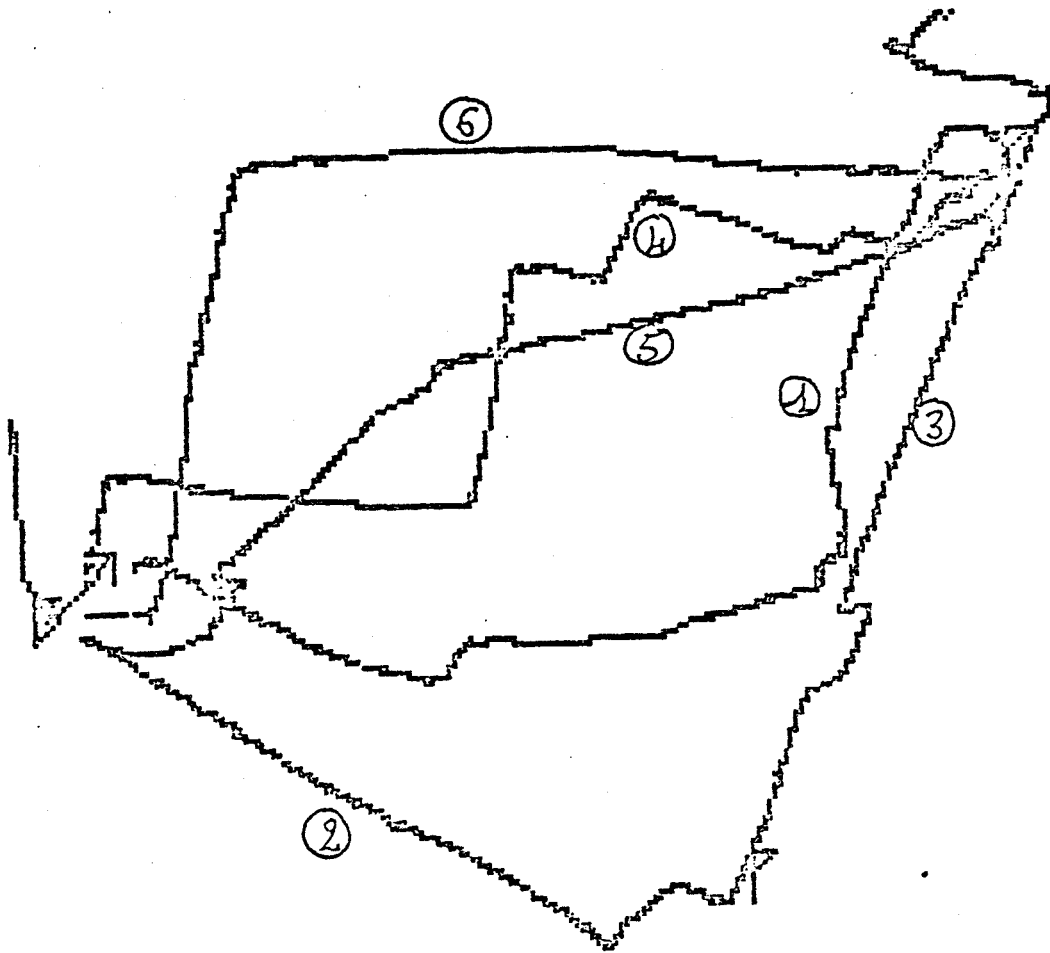


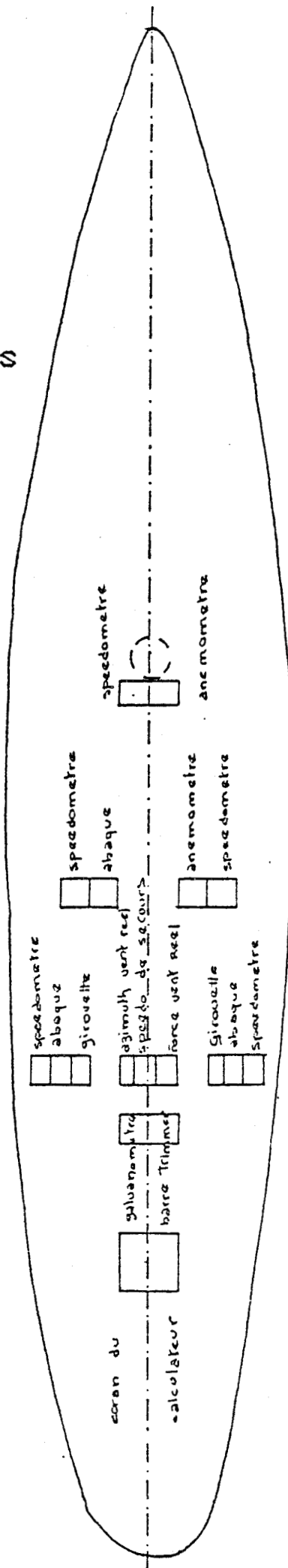
Figure 40

Tracé de la régates du 15/07/83



Figure 41

Répartition
des afficheurs



me effectue les calculs qui figurent sur l'organigramme (Figure 39), affiche les résultats de ces calculs sur une des trois pages de résultats alphanumériques, et sur des afficheurs à cristaux liquides répartis sur le bateau, et trace la trajectoire du bateau sur l'écran graphique. Puis, il scrute la centrale d'acquisition, lit un nouveau message comportant les indications sur les capteurs, et recommence la boucle.

Chaque page alphanumérique comporte 18 lignes de résultats dont les intitulés figurent aux pages suivantes.

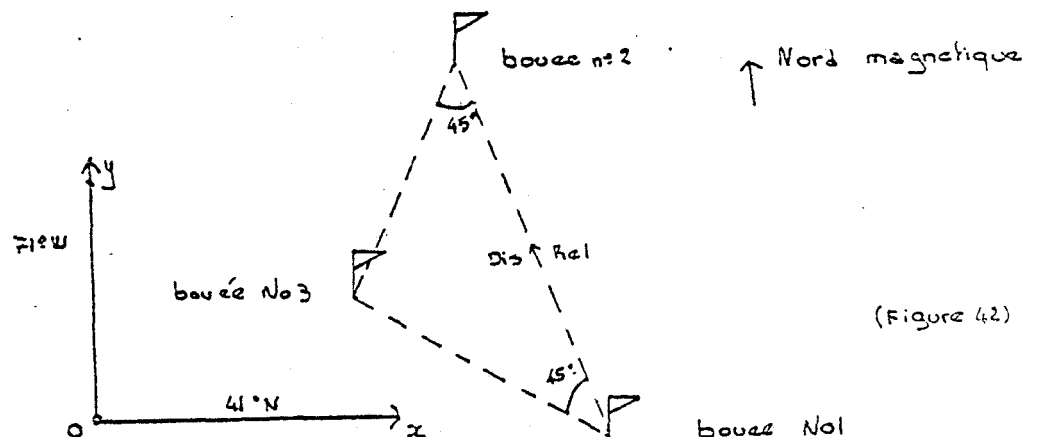
La Figure 40 montre ce qui apparaît sur l'écran graphique à la fin d'une régates. Cette figure représente la trajectoire de France 3 lors d'une régates (perdue...) contre Australia 2 le 15 Juillet 1983. On suit très bien les 6 bords composant le triangle olympique.

Le calculateur gère 14 afficheurs à cristaux liquides disséminés sur le bateau, et la Figure 41 montre l'affectation de chaque afficheur sur France 3.

III-2-3 Description des principaux calculs effectués

Tous les calculs décrits ici sont effectués en temps réel par le calculateur.

a) Calcul de la position des bouées



Les données de départ sont les coordonnées géographiques (lat 1, long 1) en latitude et en longitude de la première bouée. Ces coordonnées sont fournies par le LORAN. Le jury fournit également le relèvement magnétique (Rel) de la bouée au vent, ainsi que la distance (Dis) de celle-ci.

Sachant que le parcours de l'America's cup se situe dans le degré de latitude Nord 41, et le degré de longitude Ouest 71, on choisit comme origine du plan l'intersection de ce méridien et de ce parallèle.

On obtient la position (x, y1) de la bouée 1, en milles, par rapport à cette origine :

$$\begin{cases} x1 &= - \text{long}1 \times \text{Cos} (41 + \text{lat}1) \\ y1 &= \text{lat}1 \end{cases}$$

où long1 et lat1 sont exprimées en minutes d'angle

Sachant que Decl. est le déclinaison magnétique comptée positive lorsqu'elle est Est (à Newport, elle est de -15° W en 83), nous obtenons :

$$\begin{cases} x2 &= x1 + \text{Dis} \times \text{Sin} (\text{Rel} + \text{Decl}) \\ y2 &= y1 + \text{Dis} \times \text{Cos} (\text{Rel} + \text{Decl}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x3 &= x1 + \frac{\text{Dis}}{\sqrt{2}} \times \text{Sin} (\text{Rel} + \text{Decl} - 45) \\ y3 &= y1 + \frac{\text{Dis}}{\sqrt{2}} \times \text{Cos} (\text{Rel} + \text{Decl} - 45) \end{cases}$$

On en déduit finalement les latitudes et longitudes des bouées en minutes d'angles :

$$\begin{cases} \text{Lat} 2 &= y2 \\ \text{Long} 2 &= -x2 / \text{Cos} (41 + \text{Lat} 2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Lat } 3 = y_3 \\ \text{Long } 3 = -x_3 / \text{Cos } (41 + \text{Lat } 3) \end{cases}$$

On rappelle qu'une minute d'angle sur un méridien équivaut à 1 mille nautique (1 852 mètres).

Par contre, les parallèles sont de plus en plus courts au fur et à mesure qu'un se rapproche du pôle. Un terme correctif en cosinus de la latitude est donc nécessaire pour passer de minutes d'angles de longitude à une distance en mille.

b) Lecture du LORAN et affinement de l'estime

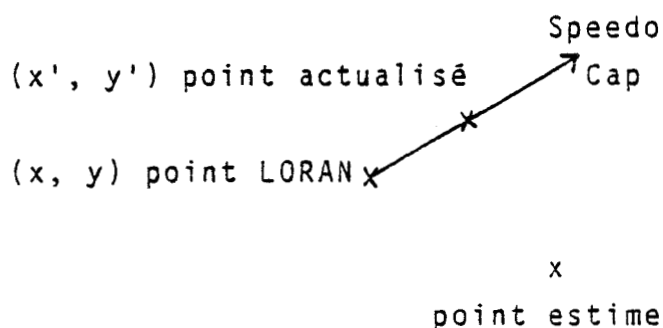


Figure 43

Lorsque le calculateur reçoit une nouvelle position géographique donnée par le LORAN, il compare celle-ci à l'estime entretenue avec le cap et le speedomètre. Si les 2 points sont trop différents, le calculateur conclue à une erreur due au LORAN, et conserve son estime comme position.

Par contre, si les 2 points ne sont pas trop différents, le calculateur prend comme position celle du LORAN en l'améliorant : la position émise par le LORAN correspond en effet à une position valable 20 secondes plus tôt, selon le constructeur.

Mais le calculateur connaît le cap et la vitesse du bateau depuis cet instant, et en déduit donc une nouvelle latitude et une nouvelle longitude, dont la précision est meilleure que celle fournie par le LORAN.

$$\begin{cases} x' = x - \text{Speedo} \times \frac{20}{3600} \times \sin(\text{Cap} + \text{Decl}) \\ y' = y + \text{Speedo} \times \frac{20}{3600} \times \cos(\text{Cap} + \text{Decl}) \end{cases}$$

c) Calcul du vent réel

a - Effet de l'assiette du voilier sur les mesures de vent apparent

L'ensemble girouette / anémomètre étant solidaire du mât, nous mesurons direction et module du vent dans le plan orthogonal à l'axe des capteurs. Ce plan diffère du plan horizontal si l'assiette du voilier n'est pas droite (gite ou tangage non nul) ou si la quète du mât est importante.

Pour s'affranchir de ce biais, il faut effectuer un changement de repère.

Soit V_m la mesure de l'anémomètre
 φ_m la mesure de l'angle de girouette

(u, v, w) le repère lié à la tête de mât
 (x, y, z) le repère lié à la terre, \vec{z} étant la verticale ascendante

Soit θ l'angle de gite et Z l'angle de tangage

Nous avons :

$$\begin{pmatrix} V_{ax} \\ V_{ay} \\ V_{az} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos Z & \sin Z & \sin \Theta & \sin Z \cos \Theta \\ 0 & \cos \Theta & -\sin \Theta & \\ -\sin Z & \cos Z & \sin \Theta & \cos Z \cos \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{au} \\ V_{av} \\ V_{aw} \end{pmatrix}$$

En négligeant la composante ascendante verticale V_{az} du vent apparent, nous avons :

$$V_a^2 = V_a^2 u \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \Theta \sin^2 Z)}{\cos^2 Z} + V_a^2 v \frac{-Z \operatorname{tg} Z \operatorname{tg} \Theta}{\cos^2 \Theta} V_{au} V_{av}$$

avec $V_{au} = V_{am} \cos \psi_m$
 $V_{av} = V_{am} \sin \psi_m$
 Z très faible

L'expression devient :

$$V_a \neq V_{am} \sqrt{1 + \sin^2 \psi_m \operatorname{tg}^2 \Theta}$$

$$\psi \neq \operatorname{Arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\sin \psi_m}{\cos \psi_m \cos \Theta} \right) = \operatorname{Arc} \operatorname{tg} \left(\frac{\operatorname{tg} \psi_m}{\cos \Theta} \right)$$

b - Effet de la torsion du mât (Twist) et de la déflexion des filets d'air (Upwash) sur les mesures de vent apparent

* Twist

Le génois de France 3 n'est pas gréé en tête ce qui fait que la tête de mât n'a aucun grément la tenant vers l'avant ; La tête de mât tourne légèrement avec la grand voile. L'angle de girouette mesuré est alors plus petit, en valeur absolue, que l'angle de girouette réel.

$$|\psi| = |\psi_m| + |a|$$

L'angle de torsion a dépend énormément de la structure du mât et de la disposition du gréement.

Sur le mât Valentijn, avec lequel France 3 s'est entraîné jusqu'au 15 Juin, il pouvait atteindre 10° d'un bord sur l'autre. Sur le mât Péchiney utilisé pour les régates, il ne dépassait pas $2-3^\circ$.

Il augmente également avec la force du vent, et est beaucoup plus important au près qu'aux allures portantes.

* Déflexion des filets d'air

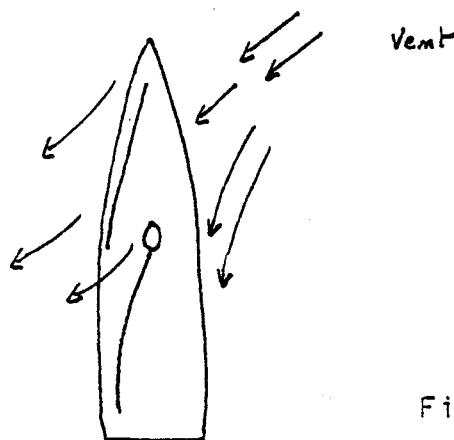


Figure 47

L'angle de girouette est augmenté artificiellement par la déflexion des filets d'air sur le plan de voile. Cette déflexion, ou Upwash, a exactement l'effet contraire de l'effet de torsion de mât.

Sur le mât Valentijn, les 2 effets s'opposaient exactement (à 1° près). Par contre, sur le mât Péchiney, l'effet de déflexion était prépondérant de loin.

On a pu montrer l'augmentation de la déflexion entre l'avant et l'arrière de la tête de mât, grâce à l'implantation de 2 groupes anémomètres girouette.

c - Influence de la variation de gîte sur le vent pendant un virement

1 Virement tribord-babord

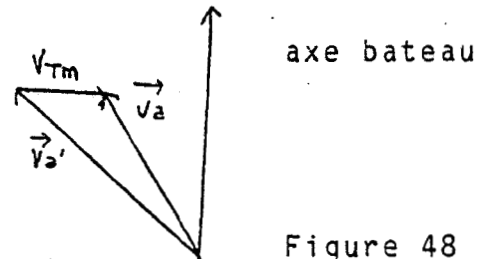


Figure 48

V_{TM} : Vitesse de la tête de mât $|\vec{V}_{TM}| > 0$

V_a : Vent apparent mesuré

V_{a'} : Vent apparent réel

$$C = |V_a| \cos(\widehat{V_a})$$

$$S = |V_a| \sin(\widehat{V_a}) + V_{TM}$$

2 Virement babord-tribord

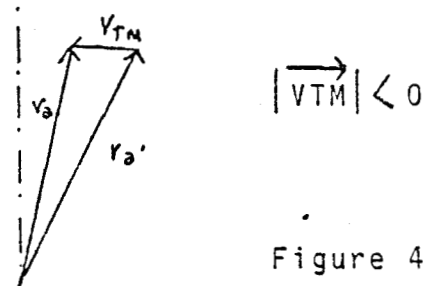


Figure 49

Dans les 2 cas, $|\vec{V}_{a'}| > |\vec{V}_a|$ Avant le virement et inférieur après

$|\vec{V}_{a'}| > |\vec{V}_a|$ Avant le virement et inférieur après

(Virement : instant où le bateau est dans le lit du vent)

Vitesse de la tête de mât

H : Hauteur du mât 25 m

$$V_{TM} = H (\Theta_{n+1} - \Theta_n)$$

Θ_n angle de gîte de la n^{ième} acquisition

Fichier :	D37F63	CAP	Moy = 236.81	Ec_type = 3.18
Date :	14/07/83	Az Vr	Moy = 243.06	Ec_type = .37
Barreur :	B. TROUBLE	Vr	Moy = 9.72	Ec_type = .04
Heure :	14.24	BS	Moy = 7.63	Ec_type = .04
		Va	Moy = 16.37	Ec_type = .05
		Gir	Moy = -3.56	Ec_type = 1.63
		Gir2	Moy = -177.50	Ec_type = 0.00
		An2	Moy = -.50	Ec_type = 0.00

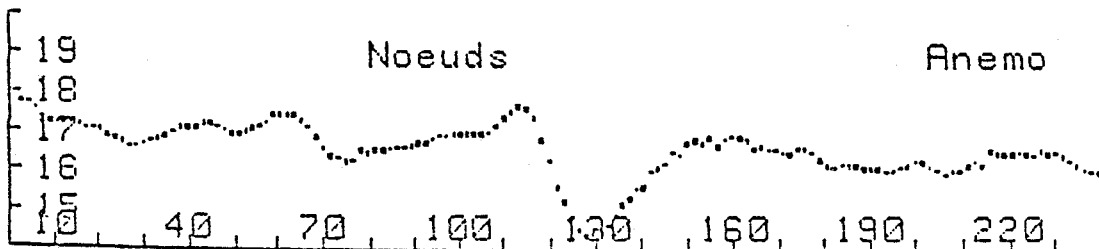
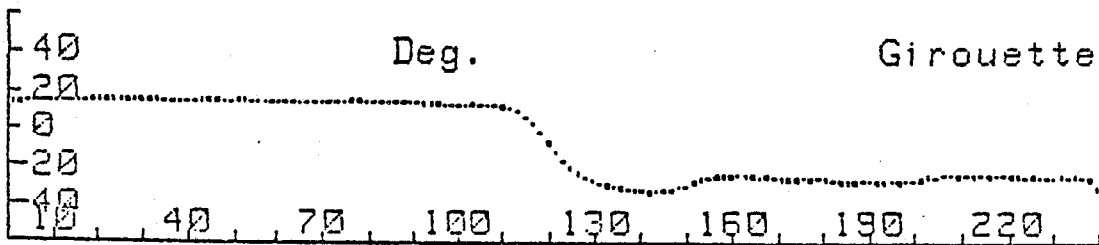
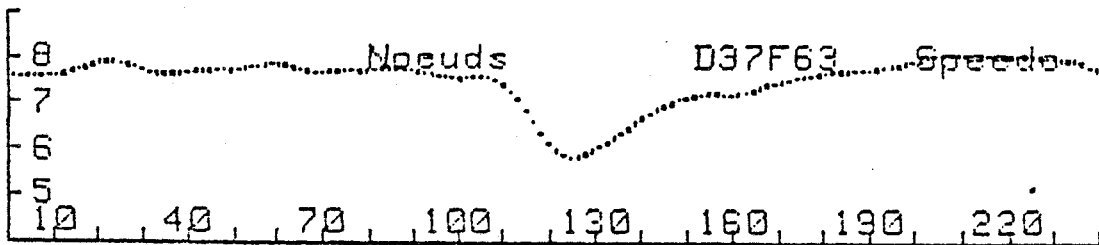
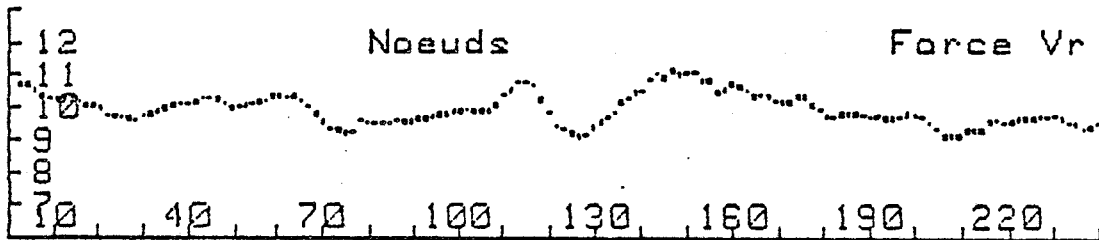
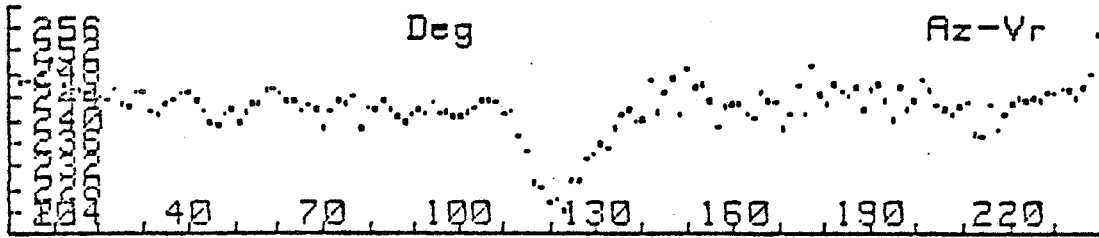
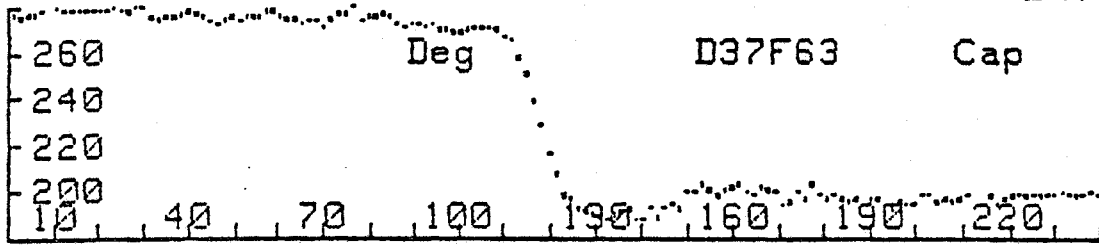


Figure 44

Traitement sans tenir compte de la dynamique
 Noter l'erreur sur l'azimuth du vent (Az-Vr)

Fichier :	D37F65	CAP	Moy ==	236.81	FC	type ==	3.18
Date :	14/07/83	Az Vr	Moy ==	243.87	FC	type ==	2.00
Navigateur :	B. TROUBLE	Vr	Moy ==	9.76	FC	type ==	.04
Heure :	14.24	RS	Moy ==	7.63	FC	type ==	.04
		Va	Moy ==	16.39	FC	type ==	.05
		Gir	Moy ==	-3.98	FC	type ==	1.61
		Gir2	Moy ==	-177.50	FC	type ==	0.00
		An2	Moy ==	-.50	FC	type ==	0.00

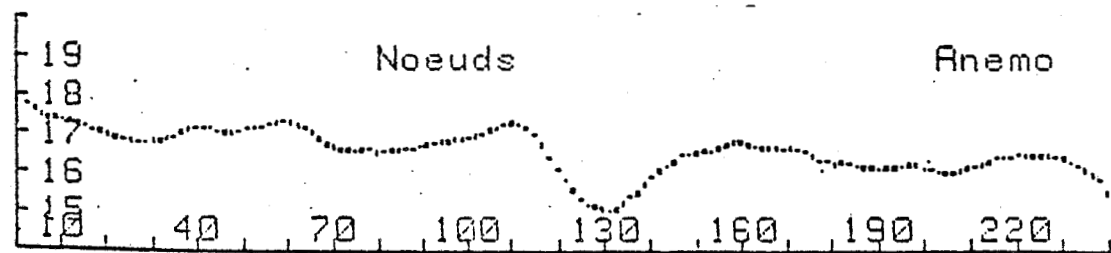
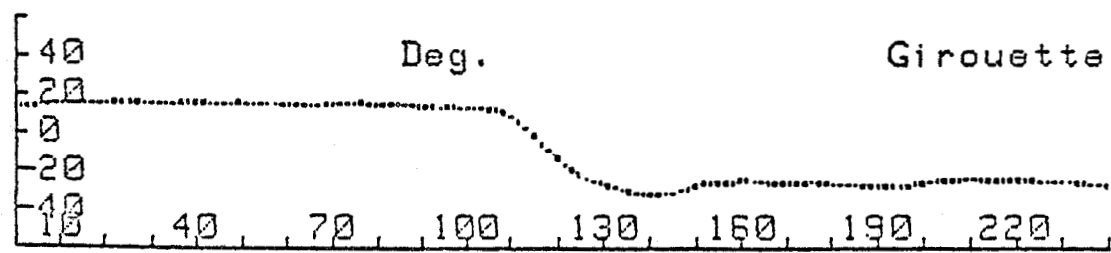
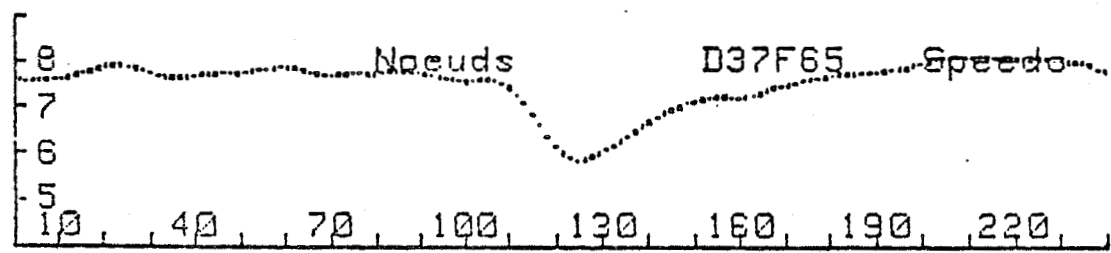
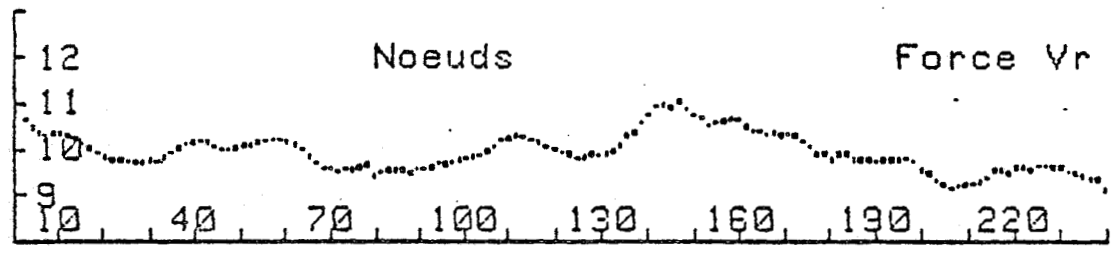
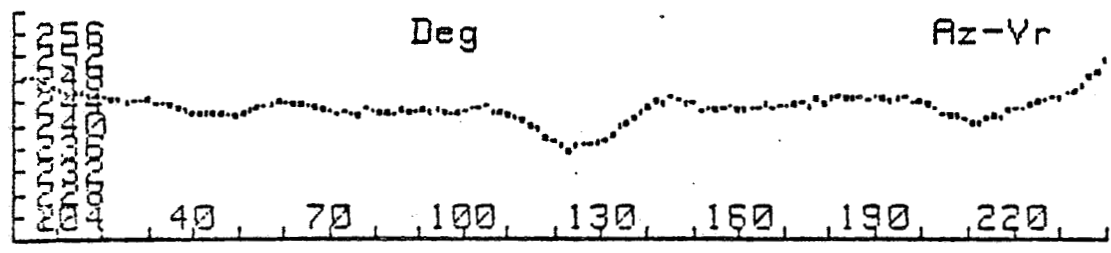
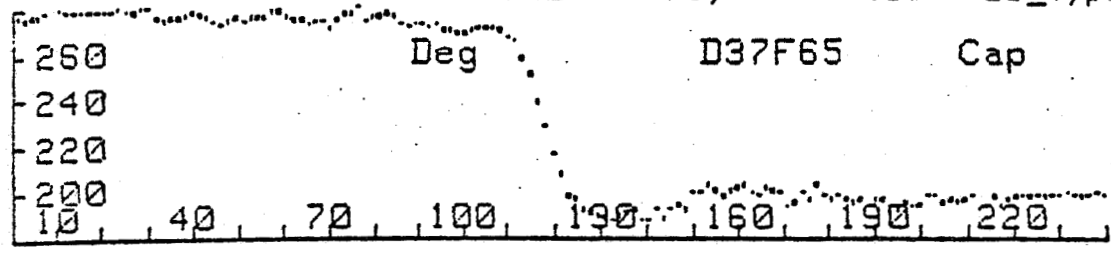


Figure 45

En tenant compte de la dynamique de gite , l'erreur sur Az-Vr devient négligeable .

Le calcul du vent apparent est donc un résultat très complexe nécessitant 4 transformations distinctes, dont voici la chaîne

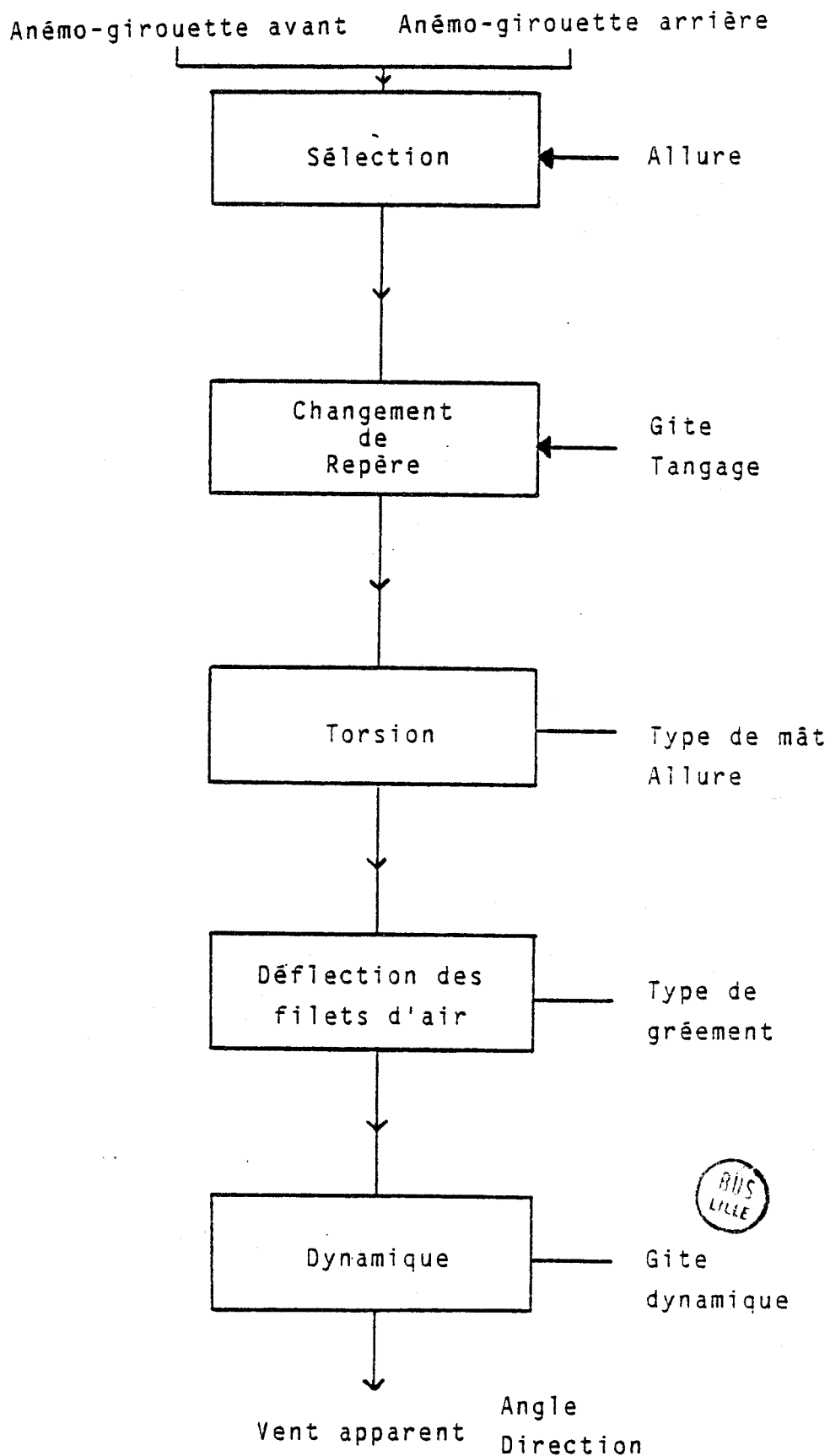
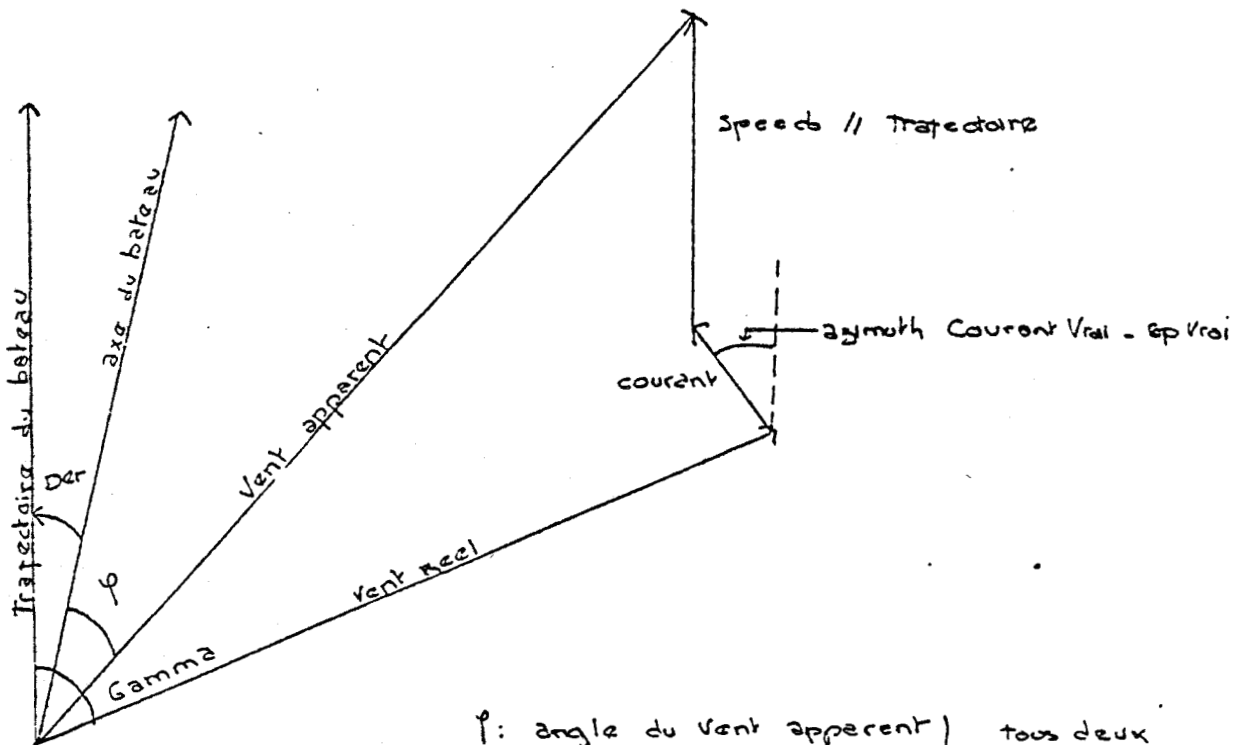


Figure 60

Calcul du vent réel
 Résolution du triangle des vitesses



ρ : angle du vent apperent } tous deux
 Der: angle de derive } négatifs tribord
 amont

Gamma: Demi Tacking angle.



Résolution du triangle des vitesses
Calcul du vent réel

Se reporter à la figure 60

ψ Angle du vent apparent } Tous deux
 Der Angle de dérive } négatifs tri-
 bord amure

Gamma : demi tacking angle

On obtient les composantes du vent réel en projetant sur un axe parallèle à la trajectoire du bateau et sur une autre perpendiculaire.

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \text{Vent app.} \times \cos(\widehat{\text{Vent app} + \text{Dériver}}) - \\ \quad \text{Speedo} - \text{Courant} \times \cos(\text{Az courant} - \text{Cap} \\ \quad \text{vrai}) \\ S = \text{Vent app.} \times \sin(\widehat{\text{Vent app} + \text{Dériver}}) + \\ \quad \text{Courant} \times \sin(\text{Az courant} - \text{Cap vrai}) \end{array} \right.$$

D'où le module du vent réel = $\sqrt{C^2 + S^2}$
 et sa direction magnétique = $-\text{ATN}(S/C) + \text{Cap}$
 que

où $\text{ATN}(S/C)$ est une fonction arctangente valable dans les 4 quadrants

d) Calcul des lay-lines

Les lay-lines sont les 2 lignes théoriques sur lesquelles le bateau arrive à la bouée

au vent, en un seul bord, sans laisser porter. Le bateau doit donc virer sur la lay-line au dernier virement avant la bouée. Le navigateur doit donc en permanence situer ces 2 lignes fictives pour ne pas faire trop de chemin, ou trop de virements, pour arriver à la bouée.

Le tacking-angle, angle entre les 2 lay-lines, est connu d'après les abaques, comme une fonction du vent réel, et détermine ainsi les 2 directions des lay-lines sans courant :

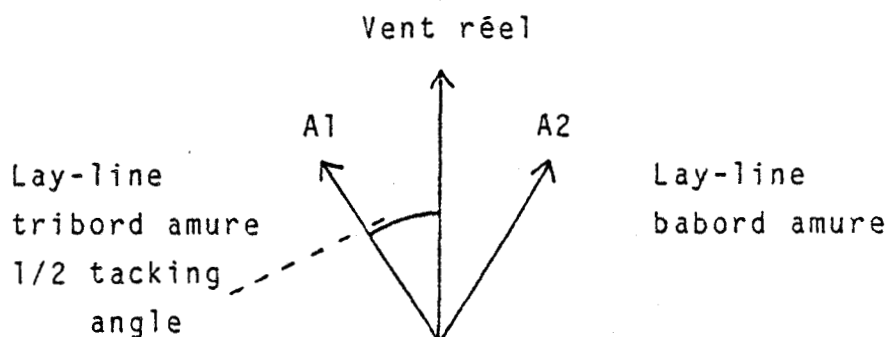
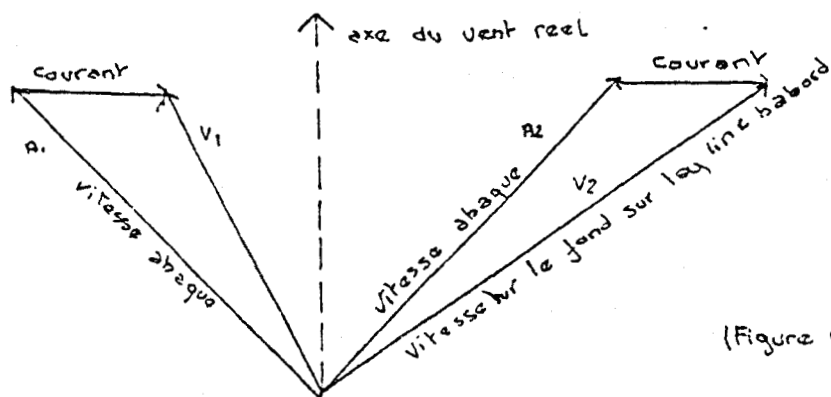


Figure 50

$A1 = \text{Azimuth vent réel} - 1/2 \text{ tacking angle}$

$A2 = \text{Azimuth vent réel} + 1/2 \text{ tacking angle}$

L'introduction du courant et des abaques de vitesse permettent de calculer les nouvelles directions des lay-lines, ainsi que les vitesses avec lesquelles le bateau se déplacera sur le fond sur ces 2 lignes



(Figure 51)

En projetant sur 2 axes perpendiculaires, dont 1 parallèle à l'axe du vent réel, on obtient :

Lay-line tribord

$$\begin{cases} C = \text{Vitesse} * \cos(A1) + \text{Courant} * \cos(Az \\ \text{courant}) \\ S = \text{Vitesse} * \sin(A1) + \text{Courant} * \sin(Az \\ \text{courant}) \end{cases}$$

d'où la vitesse $V1$ du bateau sur la lay-line tribord

$$V1 = \sqrt{C^2 + S^2}$$

$U1 = \text{ATN2}(S/C)$ où ATN2 est une fonction arctangente 4 quadrants

De même, sur la lay-line babord, on obtient une direction $U2$ et une vitesse $V2$

Calcul de la distance à la lay-line

Au près, le bateau navigue théoriquement toujours sur une direction parallèle à une lay-line, en se dirigeant vers l'autre lay-line. Il est important de connaître à chaque instant la distance séparant le bateau de cette lay-line de manière à virer à l'instant opportun.

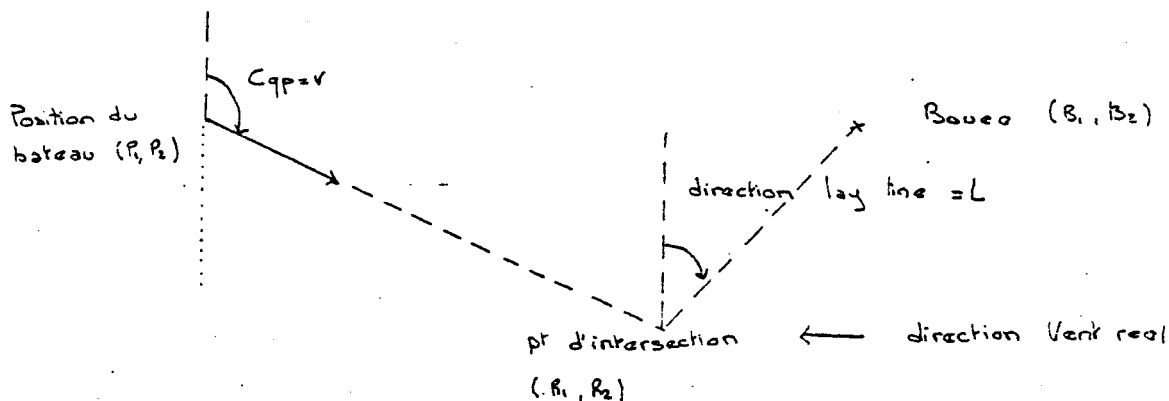


Figure 52

Le bateau se trouve en $(P1, P2)$ et suit un cap de direction U . On souhaite trouver le point d'intersection $(R1, R2)$, situé sur la lay-line de direction L .

Equation de la droite passant par (P1, P2), de direction U

$$\frac{x - P1}{y - P2} = \text{Tan}(U)$$

Equation de la droite passant par (B1, B2), de direction L

$$\frac{x - B1}{y - B2} = \text{Tan}(L)$$

Ces 2 équations sont vérifiées par le point (R1, R2).

On en déduit le point d'intersection (R1, R2)

$$\left\{ \begin{array}{l} R2 = \frac{[(B1 - \text{Tan}(L)) * B2 - P1 + \text{Tan}(U) * P2]}{\text{Tan}(U) - \text{Tan}(L)} \\ R1 = B1 + \text{Tan}(L) * (R2 - B2) \end{array} \right.$$

d'où la distance à la lay-line =

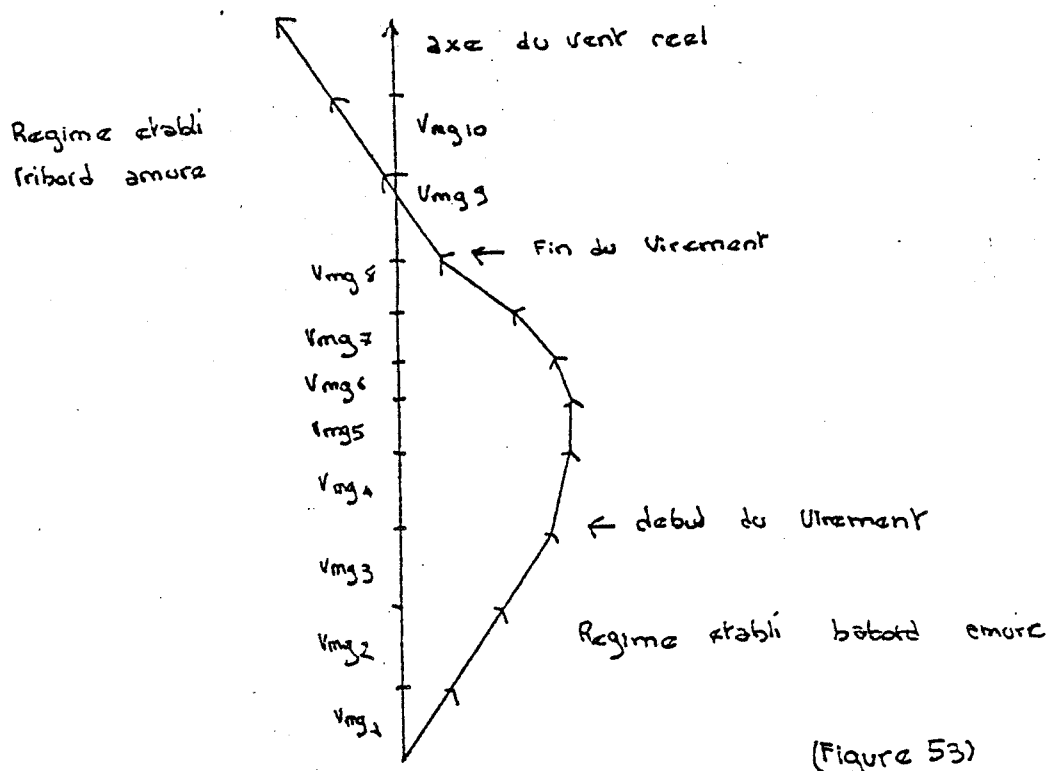
$$\sqrt{(P1 - R1)^2 + (P2 - R2)^2}$$

Sur les bords de vent arrière, un calcul identique est effectué pour déterminer les gybing-lines.*

e) Calcul de perte instantanée au virement

A chaque boucle du programme, la vitesse de remontée au vent, ou VMG, est calculée, de manière instantanée et sur moyenne glissante. Une intégration de la différence entre le VMG avant le virement et le VMG pendant le virement donne la perte au virement dans le vent.

Trajectoire d'un virage.



(Figure 53)



$$\text{On en déduit perte} = \sum_{i=1}^n (V_{mgi} - V_{mgl}) * \frac{1,6}{3600}$$

où V_{mgl} est considéré comme le V_{mg} moyen avant virement.

Le coefficient $\frac{1,6}{3600}$ vient du fait que les vitesses s'expriment en milles par heure, et que la fréquence de rafraîchissement de la centrale est 1,6 seconde.

ses s'expriment en milles par heure, et que la fréquence de rafraîchissement de la centrale est 1,6 seconde.

f) Calcul de la force propulsive

D'après le théorème de l'énergie cinétique, la variation de l'énergie cinétique est égale au travail des forces.

Si l'on considère l'axe longitudinal du bateau, nous avons essentiellement 2 forces en présence : la force propulsive F_p et la traînée T .

La traînée est connue de manière expérimentale. On peut donc déduire la force propulsive.

$$E_c = \text{Travail force propulsive} - \text{Travail Traînée}$$

$$\frac{1}{2} m (V_n^2 - V_{n-1}^2) = (F_p - T) * V_n * t$$

$$\text{d'où } F_p = T + \frac{1}{2} \frac{m}{t} \frac{(V_n^2 - V_{n-1}^2)}{V_n}$$

La traînée de France 3 est approximée par le polynôme suivant :

$$T = 2,459 * V^2 + 0,3657 * V^3$$

où V est la vitesse en noeuds et T la traînée en Kg.

en Kg

CARENE DE FRANCE 3

VPP

ordre 7

- Coef x 7 : .2015937626
- Coef x 6 : -.02758232
- Coef x 5 : .156398622021
- Coef x 4 : -.247205
- Coef x 3 : -.457929
- Coef x 2 : 4.047476
- Coef x 1 : 0
- Coef x 0 : 0

expérimental

ordre 3

- Coef x 3 : .3656615181
- Coef x 2 : 2.45872927504
- Coef x 1 : 0
- Coef x 0 : 0

VPP - - - - ->

Figure 54

trainée de 'FRANCE 3'

Expérience - - - - ->



V en Nd

1 2 3 4 5 6 7 8 9

00

00

00

00

00

00

g) CALCUL DE L'ANGLE DE DERIVE

Observons la figure 55

L'égalité des couples de renversement donne :

$$F * H = D * l(\theta)$$

La force hydrodynamique engendrée par un plan de dérive qui se déplace à la vitesse V (en noeuds) est :

$$F = 13.6 * A * C_s * V^2$$

avec $C_s = 0.03 * L$ ou L est l'angle de dérive en degrés

On a donc :

$$13.6 * A * V^2 * 0.03 * L = D * l(\theta)$$

$l(\theta)$, longueur du bras de renversement s'exprime sous la forme j

$$D'ou L = \frac{k D j \theta}{V^2}$$

L'application numérique à 'FRANCE3' donne :

$$L = \frac{6 * \theta}{V^2}$$

Le coefficient a été déterminé par Jacques FAUROUX, architecte naval.

Figure 59
Polaires de dérive

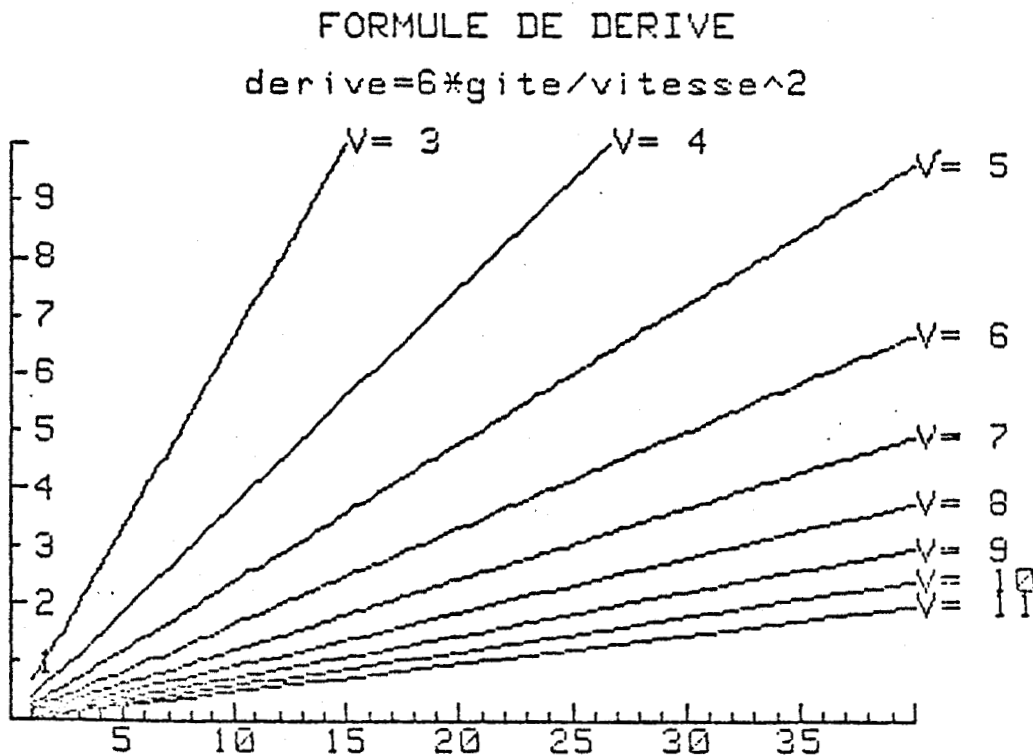
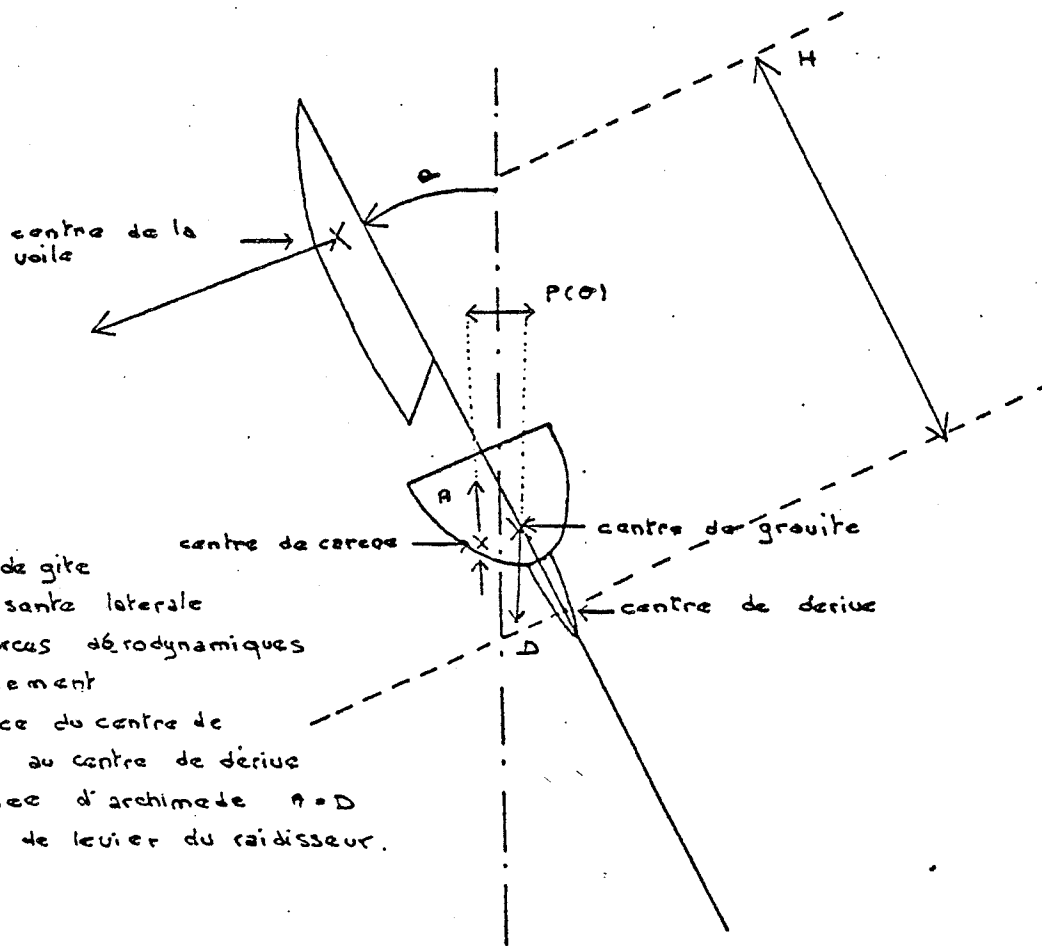


Figure 55



- α : angle de gite
- F_h : composante laterale des forces aerodynamiques
- D : déplacement
- H : distance du centre de la voile au centre de derive
- a : poussée d'archimede $a = D$
- $P(O)$: bras de levier du raidisseur.

CALCUL de l'angle de Derive.

III-2-4 Actions de l'utilisateur en temps réel

Pour faire varier le fonctionnement du programme, l'utilisateur dispose de 10 touches de fonctions spéciales, ou clés, et d'un clavier interactif. Ce clavier est protégé de l'humidité par 1 film plastique transparent.

a) Les clés

Chaque clé détourne le programme vers une sous-routine associée. Voici les actions des différentes clés.

- . Clé 0 : permet de faire tracer les lay-lines lorsque l'utilisateur en a besoin.
- . Clé 1 : permet de corriger manuellement la position géographique du bateau si le LORAN est défectueux.
- . Clé 2 : lance la mémorisation de fichiers ou interrompt la prise de mesures lorsque celle-ci est en cours ou permet de détruire des fichiers inintéressants après enregistrement.
- . Clé 3 : permet de stocker sur disquette les fichiers en mémoire centrale.
- . Clé 4 : efface l'écran graphique lorsque celui-ci est surchargé.
- . Clé 5 : tourne les pages de l'écran alphanumérique.
- . Clé 6 : lance le calcul de perte au virement ou interrompt ce calcul après le virement.
- . Clé 7 : change la bouée visée (passe à la suivante.)
- . Clé 8 : mémorise la position de la bouée de départ.
- . Clé 9 : mémorise la position d'une marque, en cas de dérive de celle-ci.

b) Le clavier interactif

Ce clavier permet de rentrer en mémoire 26 variables, appelées de A à Z. La procédure est la suivante : l'utilisateur tape d'abord la lettre donnant le nom de la variable, puis la variable elle-même, puis enfin un F signifiant la fin de la rentrée de la donnée.

Huit lettres avaient une action sur le programme :

A : azimuth du courant.

B : déplacement de la mémoire alphanumérique vers le haut (chiffre positif), ou vers le bas (chiffre négatif).

C : force courant.

E : position Est en milles par rapport à 71 degrés W.

N : position Nord en milles par rapport à 41 degrés N.

P : affichage de la force propulsive sur un afficheur embraqueur.

R : nouveau relèvement de la bouée au vent.

S : demande de tracé de la direction du vent réel au cours de la dernière heure.

Exemple : Si le nouveau relèvement de la bouée au vent est 215, l'utilisateur tape R 215 F.

III-2-5 Conclusions du programme de traitement en temps réel

Ce chapitre n'a montré qu'un aperçu des possibilités du programme. En effet, une explication détaillée imposait des développements

dépassant le cadre de ce mémoire.

Le listing commenté figure par ailleurs dans un autre volume [12].

Après avoir été développé et débogué à bord par son concepteur, l'ordinateur est passé successivement au main d'un ingénieur centralien n'ayant pas touché au programme, puis d'un vétérinaire n'ayant aucune connaissance en informatique.

Malgré cela, le programme a parfaitement fonctionné, ce qui prouve la mise au point du système global.

Toutefois, la puissance de l'outil développé a rarement été pleinement utilisée, peut-être par peur de la "machine", et par manque de préparation du bateau.

CONCLUSION

Le système d'acquisition de données lié à un ordinateur assurant le traitement en temps réel que nous avons conçu, mis au point et commencé à exploiter permet d'une part d'effectuer automatiquement tous les calculs réalisés autrefois manuellement, et d'autre part de mettre en mémoire et de présenter les informations sous une forme facilement exploitable.

Son implantation sur "FRANCE 3" a permis de vérifier sa souplesse d'exploitation, inégalée sur un système embarqué sur un voilier à ce jour. En effet, la part du matériel est peu importante, et facilement adaptable à n'importe quel bateau, tandis que le logiciel est modifiable rapidement en fonction des desideratas de l'équipage.

D'autre part, malgré sa complexité évidente, le système n'a présenté qu'une faille, concernant l'étanchéité des cartes afficheurs et de leurs contacts. On peut donc affirmer que l'ensemble du système a gagné le pari de fiabilité qui était posé, à savoir l'implantation d'une centrale d'acquisition prototype à 5 000 kilomètres du lieu de sa conception, et d'un ordinateur grand public dans des conditions ambiantes très défavorables à l'électronique.

Une fois l'America's Cup 83 terminée, on peut envisager 3 éventualités différentes pour l'emploi du système. Tout d'abord, l'exploitation de la coupe 83 fournit une banque de données pour les coupes suivantes. On pourra ainsi comparer les performances des futurs bateaux avec le "FRANCE 3" cuvée 83. Le système pourra être embarqué sur les challengers français, avec quelques modifications souhaitables d'après l'expérience. En particulier, les liaisons pourraient être simplifiées en n'utilisant qu'un seul câble coaxial pour les transmissions. Chaque capteur utiliserait un créneau de temps qui lui serait imparti. Il semblerait également judicieux de faire gérer les afficheurs à cristaux liquides par la centrale, et non plus par le ordinateur. Cela permettrait de dégager du temps pour celui-ci, et de permettre un niveau de sécurité plus élevé. Enfin, ce système pourrait être utilisé dès le début des entraînements, et non plus tard dans la préparation, comme ce fut le cas en 83.

Le système conçu pourrait également servir pour la mise au point de voiliers prototypes, tels que les catamarans de courses transocéaniques ou les admirals. La victoire de "DIVA" au classement individuel de l'Admiral's Cup 83 va peut-être amener les français à constituer une véritable équipe de France pour arracher cette coupe à priori plus accessible que l'America's Cup. Le système présenté ici permettrait de créer des bancs d'essai pour de tels bateaux. De même les chantiers français pourraient tester leurs prototypes avant de les produire en série.

Enfin, le système reste avant tout constitué d'une centrale d'acquisition associée à la puissance et à la souplesse d'un calculateur, et peut donc s'adapter à la réalisation d'un banc de mesure automatique dans des domaines très divers.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Velocity Prediction Program par J. P. Kervin M.I.T. 1979
- (2) Guide du navigateur, tome 2 Instrumentation, Epsom 1980
- (3) Trimble Navigation Loran-C 100 A operating manual, Décembre 81
- (4) Etude et réalisation d'une instrumentation d'observation des interactions Homme-Machine dans le domaine du sport de la voile
Christian Devaux, Thèse de docteur ingénieur, Juin 81
- (5) Etude et réalisation d'un système microprogrammé d'acquisition de données météorologiques, embarquable sur vedette. Application à l'étude des plans d'eau utilisés pour le sport de la voile
Antoine Verney, Thèse de docteur ingénieur, Juin 82
- (6) Etude et réalisation d'un système d'acquisitions de données embarquable sur un canoë-kayak. Traitement des données sur mini ordinateur
Arnaud Grare, Thèse de docteur ingénieur à paraître en 84
- (7) Basic interfacing techniques for series 200 computers, Hewlett-Packard 81
- (8) Projet écume 82. Traitement de données et affichage en temps réel sur ordinateur HP 9915
Jacques Tahier et Christophe Mery, Rapport interne USTL, Juin 82
- (9) Centrale d'acquisition de "FRANCE 3", rapport interne USTL, Avril 83
Baudet Jacques, Blaszczyk André, Degardin Daniel
- (10) America'Cup electronics, Roger Marshall, Motor boating & sailing
Août 83, Volume 152 N° 2
- (11) Tacking a twelve, Robby Robinson et Gary Jobson
Sail Volume 14 N° 8, Août 83

- (12) Programmes informatiques utilisés dans le cadre du projet "FRANCE 3" de Mai à Août 83. Christophe Mery, Rapport interne USTL, Septembre 83
- (13) Utilisation de la vedette Météo. Analyse de la structure fine du vent
Philippe Gouard, Thèse de l'université à paraître en 84

LEXIQUE

- Abattre** : Action de descendre dans le vent .
- Ardent** : Un voilier est ardent lorsqu' il a tendance à remonter de lui même au vent , sans action du barreur .
- Bouées** : Le parcours olympique comporte 3 marques de parcours . La marque située du côté d'où vient le vent est appelée bouée au vent ; elle forme également la ligne d'arrivée . La bouée opposée située du côté où se dirige le vent s'appelle la bouée sous le vent ; c'est aussi la marque de départ . La 3ème bouée est appelée bouée de l'argue ou bouée d'empannage .
- Cadre** : Lors d'un bord de près , il s'agit du triangle défini par la bouée au vent et les 2 lay lines . Il s'agit donc de la zone où peut évoluer le voilier pendant les allures contre le vent .
- CPU** : Central Processing Unit soit en français unité centrale . Il s'agit de la carte qui gère un système à microprocesseur .
- Lay-line** : Ce sont les 2 lignes fictives qui ont pour origine la bouée au vent et qui délimitent le cône où le bateau ne peut pas remonter au vent . Un voilier ne doit jamais dépasser la lay line sous peine de faire trop de chemin . A la fin du bord de près , il ne doit pas non plus virer avant la lay line ce qui l'obligerait à virer une fois de trop .
- LCD** : De l'anglais Liquid Cristal Display . En français afficheurs à cristaux liquides .
- Lièvre** : Voilier servant de partenaire d'entraînement au voilier participant à la compétition . ' FRANCE 3 ' était le seul 12 mètres de la coupe 33 qui ne disposait pas de lièvre .
- Lofer** : Action de remonter dans le vent .
- Mou** : Un voilier est mou lorsqu'il a tendance de lui même à descendre dans le vent . Mou est le contraire de ardent .
- Refusante** : On dit que le vent refuse lorsque celui ci change de direction en faisant faire au voilier une route plus défavorable . Le contraire de refusante est adonnante .
- Twist** : Phénomène de torsion du mat dû à la force exercée par la grand voile . Il dépend du type du gréement et de la structure du profil du mat . On doit en tenir compte dans le calcul du vent réel .
- UART** : Universal Asynchronous Receiver Transmitter . C'est la composant qui gère une liaison série asynchrone . En mode écriture elle est synchronisée par son oscillateur et en mode lecture , elle scrute la ligne 16 ou 64 fois plus vite que la vitesse de transfert après synchronisation sur un bit de start .
- Upwash** : Ce terme a été introduit par Art ELLIS , le fondateur de la société OCKAM INSTRUMENT . Il s'agit d'une correction de girouette introduite pour corriger la déflexion des filets d'air due au gréement .
- VMG** : Vient de l'anglais Velocity Made Good . Il s'agit du module de la projection de la vitesse du voilier sur l'axe du vent . Le VMG doit être maximum au près et minimum au vent arrière .

ANNEXE 1 ELECTRONIQUE DES CAPTEURS BARRE - TRIMMER

Carte N° 1

1) Objet

A partir d'une tension aux bornes d'un potentiomètre solidaire de l'axe de la barre (ou du trimmer), on obtient une tension variant linéairement en fonction de l'angle de barre.

On désire régler le gain et le zéro de cette tension. On veut sortir celle-ci vers un système d'acquisition et vers un galvanomètre.

2) Méthode

Un potentiomètre permet de créer une tension égale à celle due à l'angle de barre au zéro. On effectue la différence des 2 tensions, tout en rajoutant une tension de référence V_r pour rester entre 0 et 12 V.

Toutes les résistances sont à couches métalliques pour éviter les variations avec la température.

Le potentiomètre T9 a un coefficient de 50 ppm.

3) Etude du montage

Se reporter à la figure 61

$$V_+ = \frac{R_1}{R_0 + R_1} V_s + \frac{R_0}{R_0 + R_1} V_1$$

$$V_- = \frac{R_2}{R_2 + R_3} V_s + \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_2$$

$$\text{d'où } V_s = \frac{R_2 + R_3}{R_0 + R_1} \frac{R_1}{R_2} V_r + \frac{R_2 + R_3}{R_0 + R_1} \frac{R_0}{R_2} V_1 - \frac{R_3}{R_2} V_2$$

Figure 64
Barre-Trimmer CARTE 1 principe

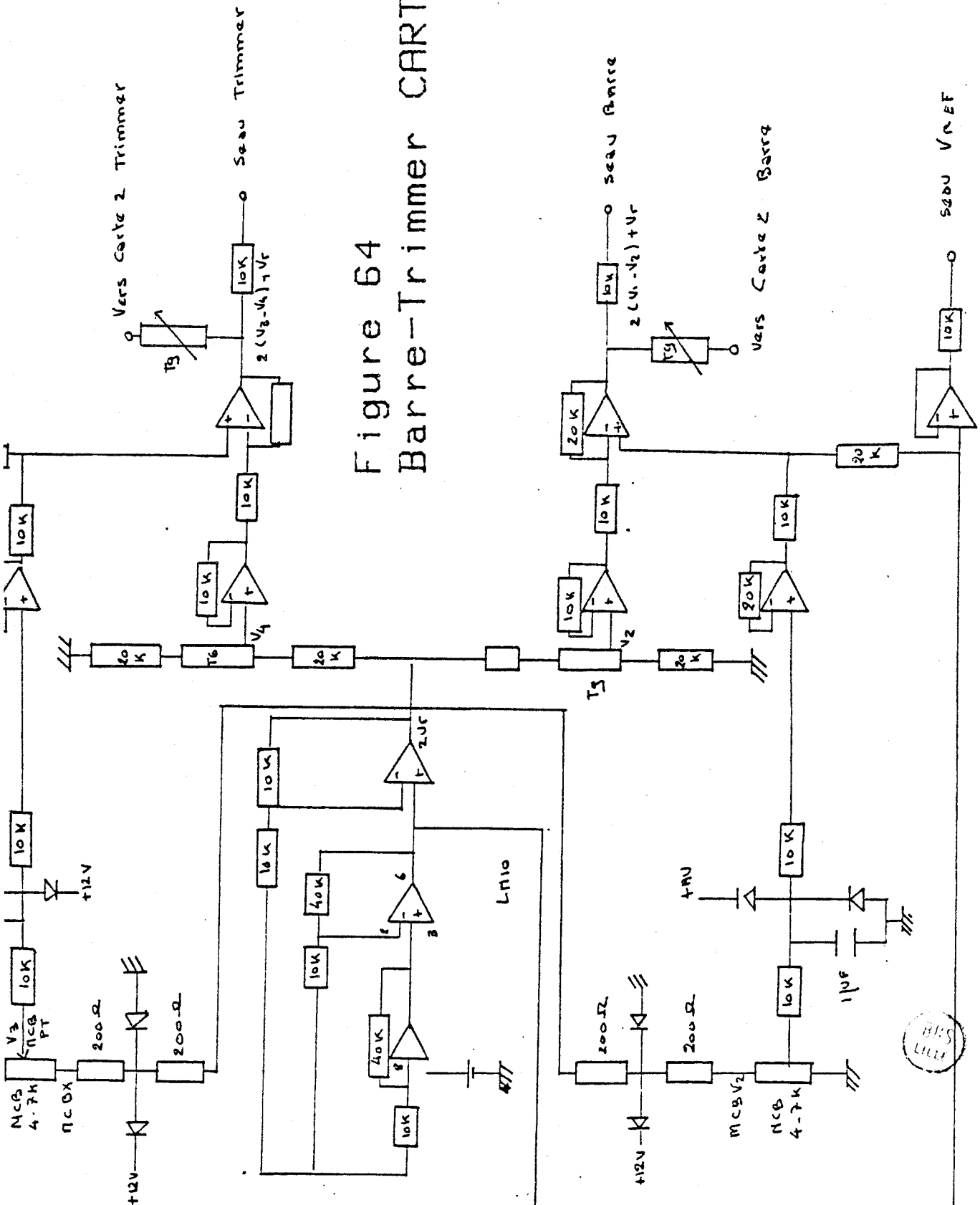


Figure 62

Barre-Trimmer carte 2 (Détail)

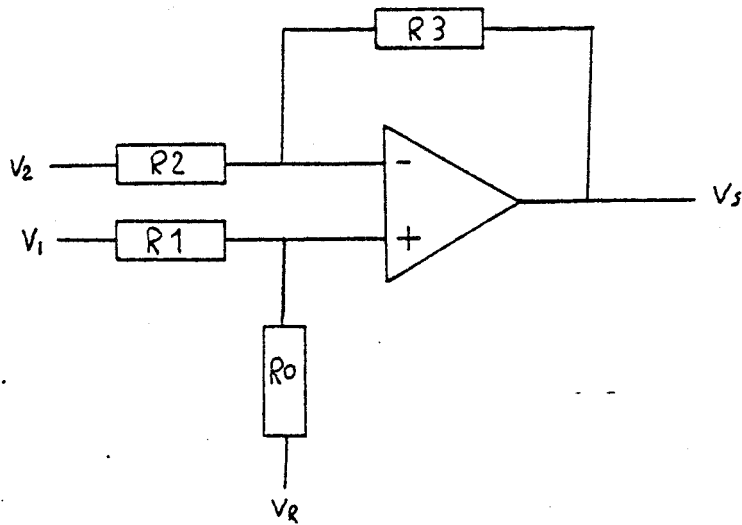
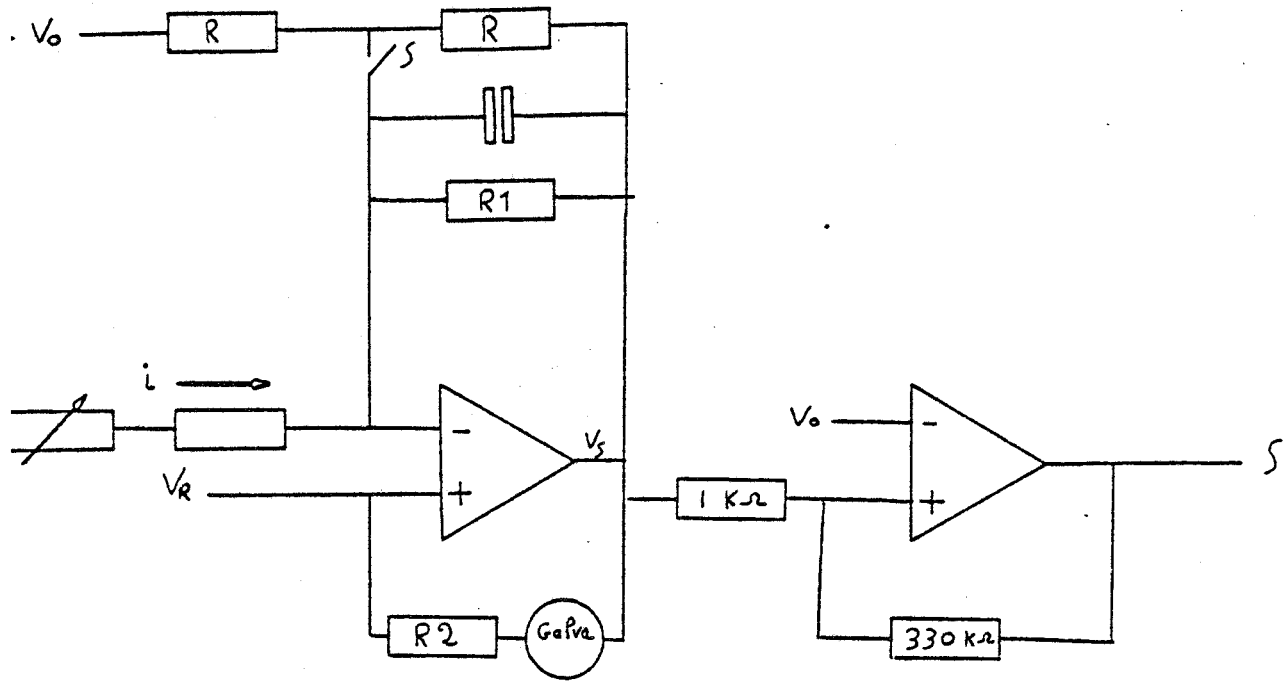


Figure 61

Barre-Trimmer carte 1 (Détail)



$$\text{On veut } V_s = V_r + n (V_1 - V_2)$$

$$\text{d'où : } \begin{cases} \frac{R_2 + R_3}{R_0 + R_1} \frac{R_1}{R_2} = 1 \\ \frac{R_0}{R_2} \frac{R_2 + R_3}{R_0 + R_1} = \frac{R_3}{R_2} = n \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_3 = nR_2 \\ R_0 = nR_1 \end{cases}$$

4) Variations de tension

- Potentiomètre MCB : 4,7 K sur 350°
 suit une variation de $\frac{4700}{350}$ pour 1°

- Si on admet qu'à $\Theta = 0$, le potentiomètre est centré

$$\text{On a : } V_1 = 2V_R \frac{(4700/2 - \Theta * \frac{4700}{350})}{4700 + 400}$$

$$\text{d'où } V_2 = 2V_R * \frac{2350}{5100}$$

$$\text{et } \frac{V_1 - V_2}{V_R} = - 2 \Theta \frac{94}{7 * 5100}$$

Pour $\Theta = 45^\circ$, on veut $n(V_1 - V_2) \approx 2V$
 avec $V_R = 5V$

$$\text{d'où } n \approx 1,69$$

$$n = 1 \Rightarrow \text{Variation de } \pm 1,185 \text{ V}$$

$$n = 2 \Rightarrow \text{Variation de } \pm 2,37 \text{ V}$$

on choisit $n = 2$

Carte N° 2

1) Objet

On désire faire 2 pentes sur le galvanomètre : 1 pente permettant de faire varier sur 60°, l'angle de barre de 5°, soit 1° barre = 12° cadran

Une deuxième pente huit fois moins importante de 5 à 45 degrés barre : $1^\circ \text{ barre} = \frac{4^\circ}{3} \text{ cadran}$ soit 60° de variation cadran entre 5° barre et 45° barre (voir schéma).

2) Méthode

On utilise des relais commandés par une tension V_0 définie par pont de résistances.

Le déclenchement est réglable au moyen de potentiomètres du type T9 se trouvant sur la première carte (réglage de l'intensité i_0).

3) Etude sur un capteur, et du côté $V > V_0$

Se reporter à la figure 62

* interrupteur ouvert :

pour $\Theta = 50$ - $R1 i_0 = V_0$ (V_0 pris par rapport à V_R)

* interrupteur fermé (il se ferme pour $V_S = V_R \pm V_0$)

pour $\Theta = 45^\circ$, $V_S = 2V_0$ (déviations double) but cherché

et $i = -9 i_0$ ($45 - 9 \times 45$)

$$-\frac{V_0}{R} + \frac{V_S}{R1} + \frac{V_S}{R} + 9 i_0 = 0 \quad (\text{loi des noeuds})$$

$$\Rightarrow \frac{R1}{R} + 2 = 9$$

$$R1 = 7R \quad \begin{cases} R = 10 \text{ K} \\ R1 = 70 \text{ K} \end{cases}$$

CHRIE 2 Prindipe.

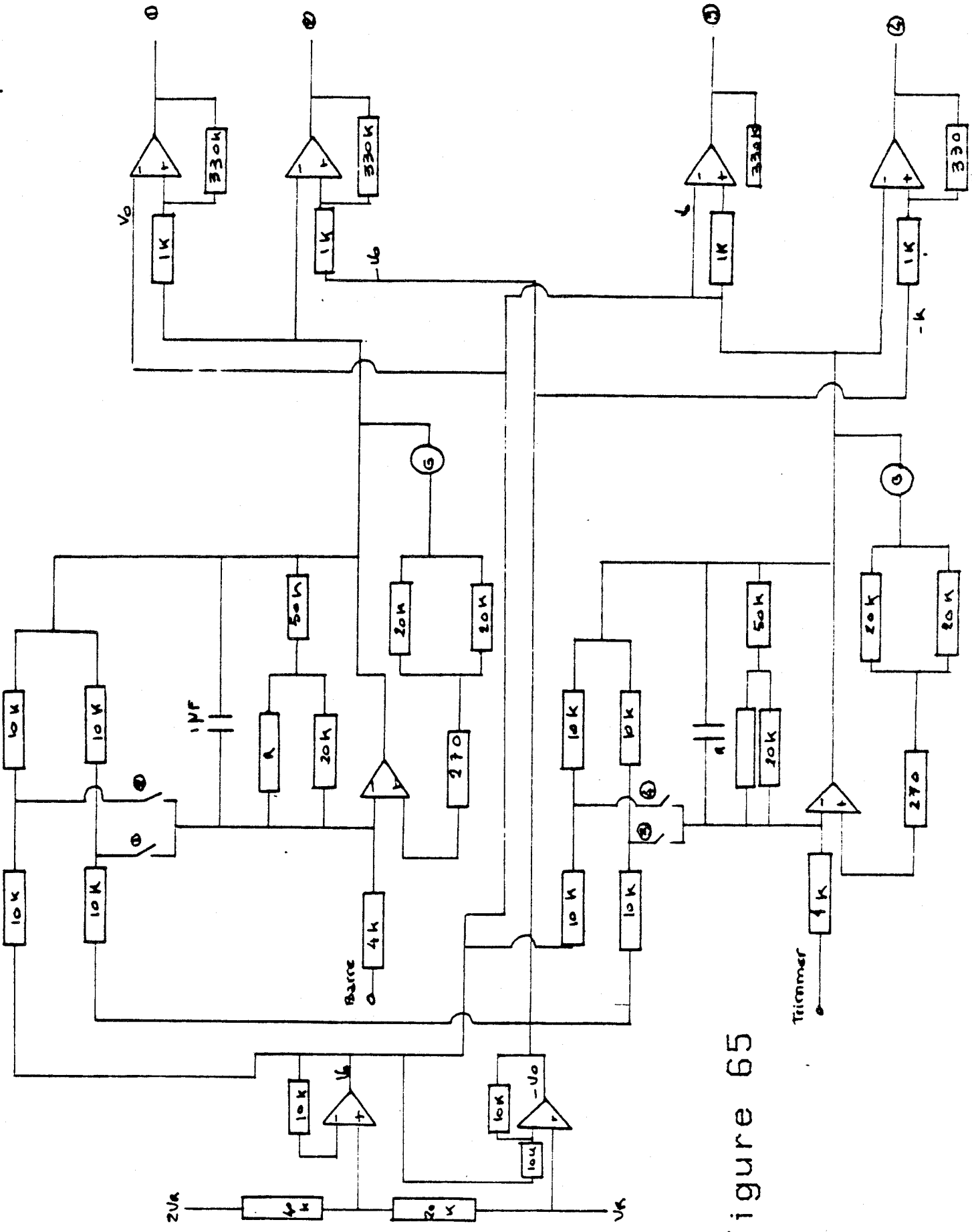


Figure 65

4) Résistance en série avec le galva

$$500 \mu A \Rightarrow 125^\circ \quad \text{d'où } 20 \mu A \Rightarrow 5^\circ$$
$$\text{d'où } 240 \mu A \Rightarrow 60^\circ$$

On choisit $V_0 = 1,66 \text{ V (+ VA)}$

$$\text{d'où } R_2 = 6,9 \text{ K}$$

On réglera cette résistance une fois pour toutes aux essais.

5) Résistance en série sur l'entrée

$$\text{Pour } \Theta = 5^\circ, \text{ on veut } i_0 = \frac{V_0}{R_1}$$

$$\text{ou } i_0 = \frac{V_{SC1}}{R}$$

ou V_{SC1} est la tension de sortie de la carte 1 et R la résistance en série sur l'entrée

D'après étude de la carte 1

$$V_{SC1} = 2 (V_1 - V_2) = 4VR \Theta \left(\frac{94}{7 * 5100} \right)$$

$$V_{SC1} = 0.2633$$

$$\text{d'où } \frac{V_{SC1}}{R} = \frac{V_0}{R_1}$$

$$R = R_1 * \frac{V_{SC1}}{V_0}$$
$$= 70 * \frac{0.2633}{1.66}$$

$$R = 11,10 \text{ K}$$

On place donc une résistance fixe de 4 K avec un potentiomètre de 10 K en série.

6) Mise en service du système-réglages

a- Agir sur ot puis ob pour obtenir :

$$VSCRT = VSCIB = VR$$

soit l'aiguille du galva à 0, lorsque la barre et le trimmer sont à 0

b- Agir sur gt et gb, de manière à ce que le déclenchement se produise lorsque les capteurs sont à 5°.

c- Régler finement les résistances en série avec les galvas de manière à obtenir les bonnes pentes.



ANNEXE 2 PROGRAMME INIT-F3 DE DIALOGUE ENTRE LE CALCULATEUR
HP 9816 (ou HP 9826 ou HP 9836) ET LA CENTRALE
D'ACQUISITION FRANCE 3

Ce programme a pour objet de lire un programme stocké sous forme d'octets sur une micro-disquette, de l'envoyer à la centrale depuis l'ordinateur par l'intermédiaire d'une liaison série, de relire le programme réémis par la centrale, de comparer les 2 programmes et enfin de signaler à la centrale le résultat de la comparaison et de recommencer la procédure en cas d'erreur.

Le mode d'emploi de ce programme est très simple : après avoir placé la disquette, comprenant le fichier "SEAU2" contenant les octets du programme destiné à la centrale, dans le lecteur de disquette, l'utilisateur n'a plus qu'à sélectionner par clé le cadencement en secondes du message qu'émettra la centrale. L'opérateur est informé par affichage sur écran alphanumérique du déroulement du programme.



PROGRAMME 'INIT_F3'

Chargement du programme de la centrale
depuis le calculateur HP9816

INIT_F3

```
*****  
10      ! Ce programme permet de dialoguer avec la centrale d'acquisitio  
n ,  
20      ! d'y introduire des programmes , de les relire , de les vérifier  
,  
30      ! et de réceptionner des données .  
40      ! Programme INIT_F3  
*****
```

Déclarations

```
*****  
60      OPTION BASE 1  
63      DIM B$(36) BUFFER  
70      COM Pgm_envoyé$(595) BUFFER, Pgm_relu$(595) BUFFER  
80      COM Ligne1, Ligne2, Vitesse, Normal, Inverse, Underline, Blinking, Signa  
1_reçu, Erreur, Réception, Seizaine, Heure, Colonne2, Série, Emetteur  
90      !*****  
*****
```

Les chaînes de caractères Pgm_envoyé\$ et Pgm_relu\$ longues de 595
caractères (octets) sont les programmes respectivement envoyés par le
calculateur à la centrale et réémis depuis la centrale vers le
calculateur .

B\$ est la chaîne de caractères émise par la centrale vers le
calculateur lorsque le programme a été changé . Elle contient 36
octets .



```
*****
110 CALL Hawai
*****
```

Appel du sous programme 'Hawai' qui va gérer le dialogue .
L'utilisation de sous-programmes permet de recopier des parties de programmes sur d'autres programmes .

```
*****
1100 F:SUB Hawai
1110 DIM Y$(2)
1120 Y#=CHR$(13)&CHR$(12)
*****
```

```
*****
1140 COM Pgm_envoyé$(595) BUFFER,Pgm_relu$(595) BUFFER
1150 COM Ligne1,Ligne2,Vitesse,Normal,Inverse,Underline,Blinking,Signal_reçu,Erreur,Réception,Seizaine,Heure,Colonne2,Série,Emetteur
*****
```

L'ordre COM permet d'associer une variable du programme principal à une variable du sous programme .

```
*****
1170 Série=9
1180 Vitesse=4800
1190 Réception=0
1200 Erreur=0
1210 Heure=0
1220 Ligne2=13
1230 Colonne2=9
1240 Emetteur=156
*****
```

Série est le numéro de l'interface utilisée . Vitesse est la vitesse de transmission en Bauds .

Commentaires sur l'écran

```
*****
1260 OUTPUT 1;CHR$(128);
1270 Ligne1=8
1280 CONTROL 1,1;Ligne1
1290 OUTPUT 1;" Ce programme permet de dialoguer avec la centrale"
1300 OUTPUT 1;"d'acquisition , d'y introduire des programmes , de"
1310 OUTPUT 1;"les relire et de les vérifier."
*****
```

Initialisation

```
*****
1320 CALL Initialisation
*****
```

Appel du sous programme d'initialisation de l'interface série .

Lecture du programme sur disque

```
*****
1690 !*****
1700 Envoi: DISABLE ! Désactive les clés envoi,réceptio
n,lecture
1710 Réception=0
1720 CONTROL 1,1;Ligne2
1730 OUTPUT 1;"
"
1740 OUTPUT 1;" "
1750 ASSIGN @Seau TO "SEAU2"
1760 ENTER @Seau;Pgm_envoyé$
1770 ASSIGN @Seau TO *
1780 GOSUB Cadence
*****
```

Le programme est stocké sur disquette sous la forme d'un fichier nommé 'SEAU2' . On sélectionne ensuite la cadence (s.p. cadence).



Les 3 sous programmes de dialogue

```
*****  
1800          CALL Emission  
*****
```

Emission du calculateur vers la centrale

```
*****  
1810          CALL Réenvoi  
*****
```

Réenvoi de la centrale vers le calculateur

```
*****  
1820          CALL Comparaison  
*****
```

Comparaison des 2 programmes

Traitement d'erreur

```
*****  
1830          IF Erreur=1 THEN GOTO 1170  
1840          ENABLE          ! réactive les clés envoi,réception,  
lecture  
1850          GOTO 1920  
*****
```

S'il y a une erreur on recommence la procédure sinon le programme est terminé .

```
*****  
1920 SUBEND  
*****
```

Fin du programme INIT_F3



Sélection du cadencement

```

*****
1350 Cadence: Fut=NUM(Pgm_envoyé#[48,48])/20
1360 IF Fut=0 THEN Fut=12.8
1370 DISP "La cadence d'acquisition est de";Fut;" seconde, v
oulez vous en changer?"
1380 GOTO Cadence6
1390 OFF KEY
1400 ON KEY 0 LABEL " .4 Seconde" GOTO Cadence1
1410 ON KEY 1 LABEL " .8 Seconde" GOTO Cadence2
1420 ON KEY 2 LABEL " 3.2 Secondes" GOTO Cadence3
1430 ON KEY 3 LABEL " 6.4 Secondes" GOTO Cadence4
1440 ON KEY 4 LABEL "12.8 Secondes" GOTO Cadence5
1450 ON KEY 5 LABEL "" GOTO Cadence
1460 ON KEY 6 LABEL "" GOTO Cadence
1470 ON KEY 7 LABEL "" GOTO Cadence
1480 ON KEY 8 LABEL "" GOTO Cadence
1490 ON KEY 9 LABEL " 1.6 Seconde" GOTO Cadence6
1500 ENABLE
1510 GOTO 1510
*****

```

La cadence peut varier de 400 ms à 12.8 s et la cadence standard est de 1.6 s . En ligne 1510 on attend le choix de l'utilisateur par clé .

```

*****
1530 Cadence1: Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(8)
1540 GOTO Opera
1550 Cadence2: Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(16)
1560 GOTO Opera
1570 Cadence3: Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(64)
1580 GOTO Opera
1590 Cadence4: Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(128)
1600 GOTO Opera
1610 Cadence5: Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(0)
1620 GOTO Opera
1630 Cadence6: Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(32)
1640 GOTO Opera
1650 Opera: DISABLE
1660 GOSUB Keys
*****

```

La cadence d'acquisition est indiquée au 48ème octet du programme transmis à la centrale .

```

*****
1870 Keys: FOR I=1 TO 10
1880 ON KEY I-1 LABEL "" GOTO 1350
1890 NEXT I
1900 RETURN
*****

```

Sous programme annulant l'action des clés .



Initialisation

```
*****
370 B: SUB Initialisation
380 COM Pgm_envoyé#[595] BUFFER,Pgm_relu#[595] BUFFER
390 COM Ligne1,Ligne2,Vitesse,Normal,Inverse,Underline,Blinking,Signal_reçu,Erreur,Réception,Seizaine,Heure,Colonne2,Série,Emetteur
400 Vitesse=4800
410 CONTROL Série,0;1 ! Reset de l'interface série
420 CONTROL Série,3;4800 ! 4800 bds/s
430 CONTROL Série,4;3 ! 1bit stop , pas de bit de parité
440 SUBEND
*****
```

Emission

```
*****
460 C: SUB Emission
470 COM Pgm_envoyé#[595] BUFFER,Pgm_relu#[595] BUFFER
480 COM Ligne1,Ligne2,Vitesse,Normal,Inverse,Underline,Blinking,Signal_reçu,Erreur,Réception,Seizaine,Heure,Colonne2,Série,Emetteur
490 DISP "Demande d'émission"
500 CONTROL Série,5;2 ! RTS à 1 , DTR à 0 - Phase(1)
510 CALL Front
520 IF Pgm_envoyé#[48,48]=CHR$(0) THEN CALL Front
530 Cts: STATUS Série,11;Signal_reçu ! CTS ?
540 IF Signal_reçu<>16 THEN GOTO Cts
550 DISP "Demande d'émission acceptée" ! Phase (2)
560 CONTROL 1,1;Ligne2
570 CONTROL 1,0;Colonne2
580 OUTPUT 1;" ORDINATEUR -----> CENTRALE "
590 OUTPUT Série USING "#,K";Pgm_envoyé$ ! Phase (3) : émission des datas
600 WAIT 1
610 CONTROL Série,5;0 ! RTS à 0 , DTR à 0 - Phase (4)
620 Ctsbis: STATUS Série,11;Signal_reçu ! CTS ?
630 IF Signal_reçu<>0 THEN GOTO Ctsbis
640 DISP "Fin d'émission" ! Phase (5)
650 SUBEND
*****
```

Les numéros de phases se reportent au timing de la figure 13

Réenvoi : Centrale --> Calculateur

```
*****
670 D:      SUB Réenvoi
680          COM Pgm_envoyé$(595) BUFFER,Pgm_relu$(595) BUFFER
690          COM Ligne1,Ligne2,Vitesse,Normal,Inverse,Underline,Bli
nking,Signal_reçu,Erreur,Réception,Seizaine,Heure,Colonne2,Série,Emett
eur
700          Pgm_relu$=""
710          DISP "Demande de réception"
720          ASSIGN @Série TO Série
730          ASSIGN @Buffer TO BUFFER Pgm_relu$
740          CONTROL Série,5;1                                ! RTS à 0 , DT
R à 1 -Phase (6)
750 Cts:    STATUS Série,11;Signal_reçu                      ! CTS ?
760          IF Signal_reçu(<>)176 THEN GOTO Cts
770          DISP "Demande de réception acceptée"           ! Phase (7)
780          CONTROL 1,1;Ligne2
790          CONTROL 1,0;Colonne2
800          OUTPUT 1;" CENTRALE -----> ORDINATEUR "
810 Transf: TRANSFER @Série TO @Buffer;COUNT 595           ! Réception du
programme - Phase (8)
820 Ctsbis: STATUS Série,11;Signal_reçu                      ! CTS ?
830          IF Signal_reçu(<>)0 THEN GOTO Ctsbis           ! Phase (9)
840          CONTROL Série,5;0                                ! RTS à 0 , DT
R à 0 - Phase (10)
850          DISP "Fin de réception"
860          ASSIGN @Buffer TO *
870          SUBEND
*****
```

Les numéros de phase se rapportent à la figure 13 .



Comparaison

```
*****
890 E:      SUB Comparaison
900          COM Pgm_envoyé#[595] BUFFER,Pgm_relu#[595] BUFFER
910          COM Ligne1,Ligne2,Vitesse,Normal,Inverse,Underline,Bli
nking,Signal_reçu,Erreur,Réception,Seizaine,Heure,Colonne2,Série,Emett
eur
920          DISP "Comparaison"
930          IF Pgm_relu#=Pgm_envoyé# THEN                ! PAS D'ERREUR
940          CONTROL Série,5;1                            ! RTS à 0 , DTR
à 1 - Phase (11)
950 Cts:    STATUS Série,11;Signal_reçu                  ! CTS ? - Phase
(12)
960          IF Signal_reçu(>)176 THEN GOTO Cts
970          CONTROL Série,5;0                            ! RTS à 0 , DTR
à 0 - Phase (13)
980 Ctsbis: STATUS Série,11;Signal_reçu                  ! CTS ? - Phase
(14)
990          IF Signal_reçu(>)0 THEN GOTO Ctsbis
1000         Erreur=0
1010         DISP "Pas d'erreur"
1020        ELSE
1030         DISP "Erreur: recommencer"
1040         BEEP 1000,5
1050         Erreur=1
1060        END IF
1070 Fin: !
1080        SUBEND
*****
```

Les numéros de phase se rapportent à la figure 13 .



IN

```
*****  
20      WAIT 1!Necessaire pour eviter le premier jet  
30      CALL Initialisation  
40      DISP "Attention je vais commencer"  
50      ASSIGN @Seau TO Série  
60      ASSIGN @Buf TO BUFFER B$  
*****
```

Effectuation des chemins d'entrée sortie préparant le transfert .

```
*****  
170 Acqu: CONTROL @Buf,3;1  
180      STATUS Série,i1;S1  
190      IF S1<>0 THEN 130  
200      TRANSFER @Seau TO @Buf;COUNT 36  
*****
```

On remet le pointeur du buffer à 1 et l'on teste la ligne RTS .
En effet si celle ci est en 1 un transfert est en cours et on attend
sa fin .

```
*****  
210      STATUS @Buf,4;S  
220      DISP "S=";S  
230      IF S<36 THEN GOTO 210  
240      N1=N1+1  
250      PRINT CHR$(12)&CHR$(13)  
260      DISP "Acquisition No ";N1;" effectuee"  
270      FOR I=1 TO 36  
280          PRINT NUM(B$[I,I])  
290      NEXT I  
300      CONTROL @Buf,3;1  
*****
```

On attend que les 36 octets soient parvenus au calculateur pour les
afficher sur l'écran .
La 1ère acquisition est alors terminée .

Chargement du programme principal

```
*****  
340      LOAD "STOC_ROLL",10  
350      END  
*****
```

ANNEXE 3 COMPOSITION DU MESSAGE EMIS PAR LA CENTRALE

Anémo 1	: octet 1 et 2	
Anémo 2	: octet 3, 4	L'octet de poids
Numérateur - Sp 1	: octet 5, 6	fort est toujours
Den - Sp 1	: octet 7, 8	envoyé avant l'oc-
Num Sp 2	: octet 9, 10	tet de poids faible
Den - Sp 2	: octet 11, 12	
Gite	: octet 13, 14	
Tangage	: octet 15, 16	
Barre	: octet 17, 18	
Trimmer	: octet 19, 20	
Sinus Cap	: octet 21, 22	
Cos Cap	: octet 23, 24	
Sinus Gir 1	: octet 25, 26	
Cos Gir 1	: octet 27, 28	
Sinus Gir 2	: octet 29, 30	
Cos Gir 2	: octet 31, 32	
Nb - Gir 1	: octet 33	
Nb - Gir 2	: octet 34	
V Référence	: octet 35, 36	

V Référence doit être égal à 27720 et sert à contrôler la tension d'alimentation des capteurs.

Nb - Gir 1 et Nb - Gir 2

Le message se compose de 36 octets et est émis par une liaison série, vers le calculateur. Le cadencement est fonction du programme envoyé à la centrale ; il peut être égal à 400 ms, 800 ms, 1,6 s, 3,2 s, 6,4 s, 12,8 s.

ANNEXE 4

Routine de test des afficheurs à cristaux liquides

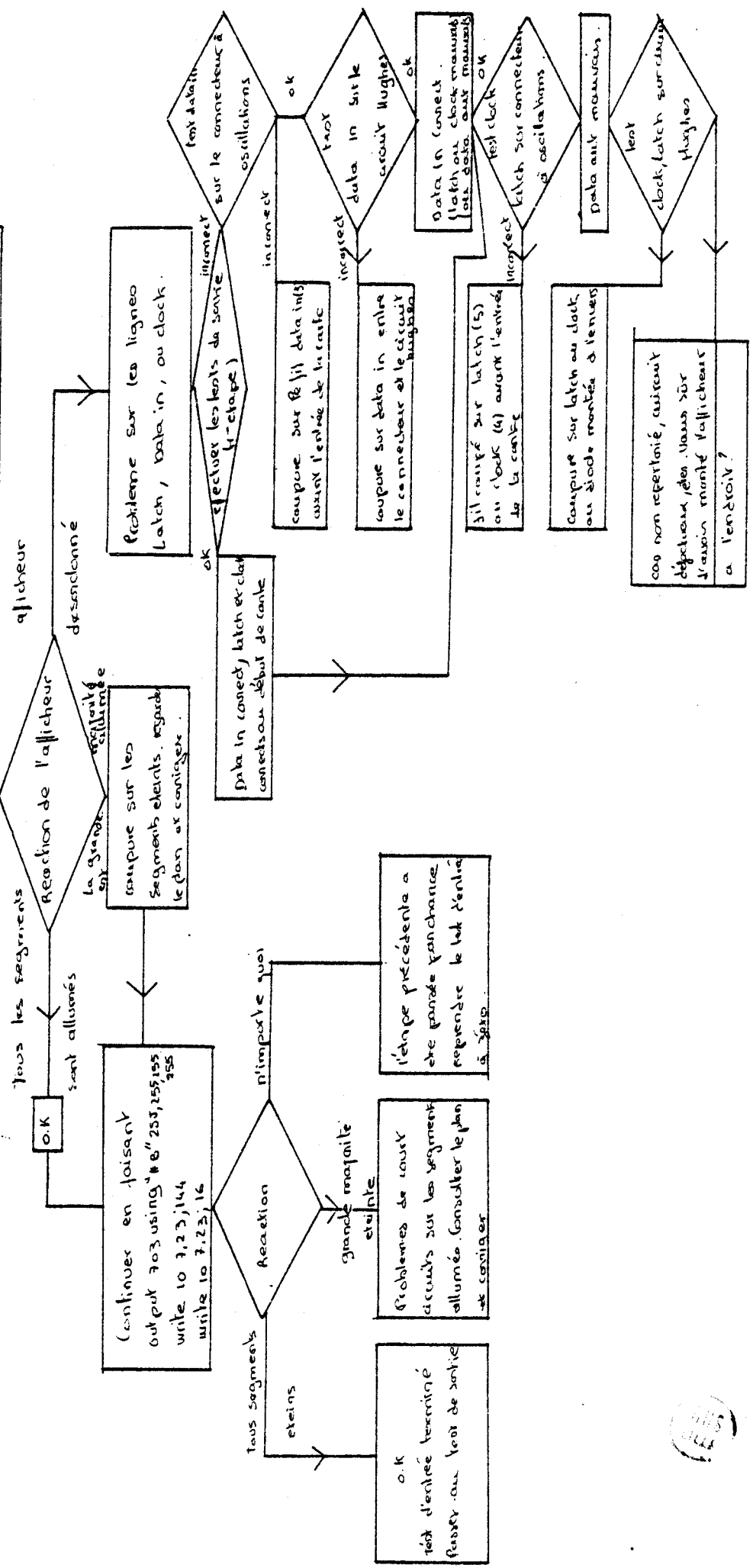
Un programme qui porte le nom de 'TEST_AFFIC' a été réalisé pour déterminer les pannes des afficheurs défectueux . Il est basé sur un inventaire complet des pannes possibles , placées sur fichiers .

Un organigramme complet de cette routine se trouve sur la figure 63 .
Le listing du programme se trouve sur un volume à part [12].

Avant de placer le LCD, alimenter la carte.
 Regarder la fréquence Backplane, elle doit être comprise entre 40 et 60 MHz.
 Cas de signal => Couper sur les lignes d'alimentation.
 Mauvaise fréquence => multiplier la capsa entre LCD et le +VDD.

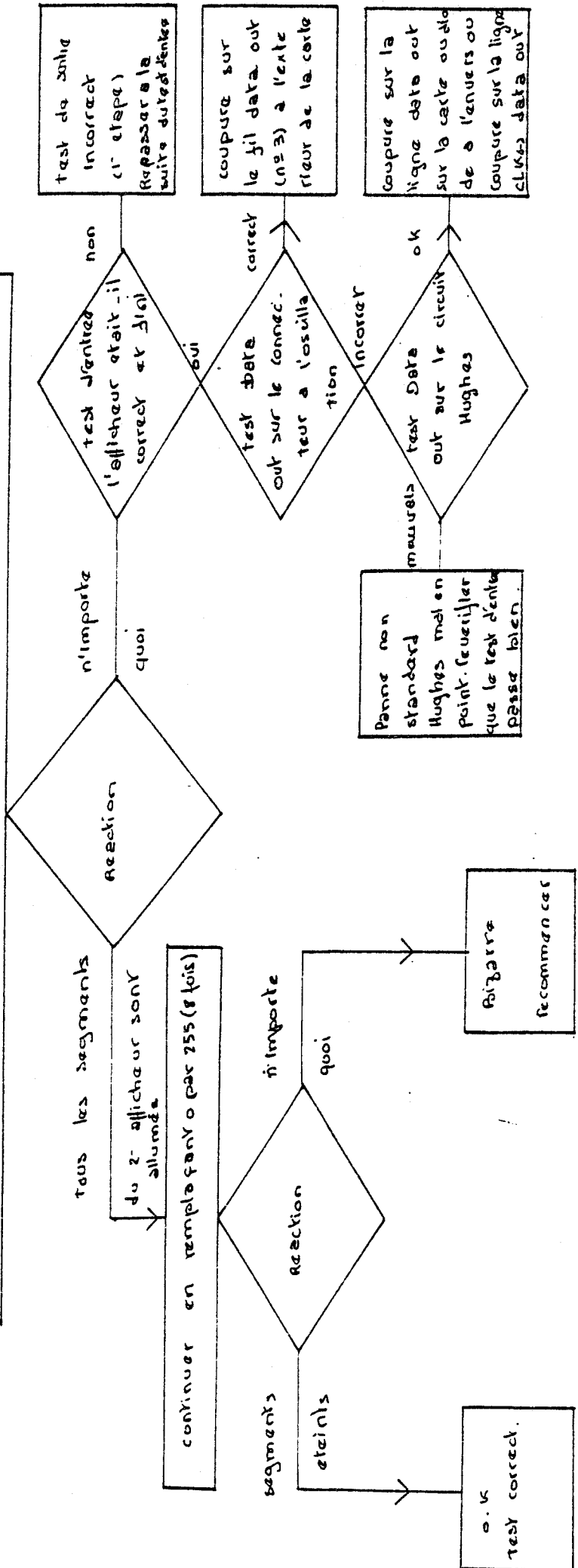
Placer le LCD à l'endroit

Brancher la carte et relier à l'ordinateur; test d'entrée; faire output 703 using "#B"; 0,0,0,0, + write 10 7,23,144 + write 10 7,23,16.



Placer en serie l'afficheur a controler
 suivi d'un autre afficheur fonctionnant (au moins en entree)

Brancher la carte et relier a l'ordinateur
 Fake : out put 703 usina "#16"; 0,0,0,0,0,0,0,0
 write 10 7,23 ; 144
 write 10 7,23 ; 16



TEST afficheurs carte C. MERY Franca. 3. UST. L 83

test n°2 dit de sortie



ANNEXE 5 CONSIDERATIONS SUR L'ENERGIE CINETIQUE

On va montrer dans ce qui suit qu'un bateau n'a jamais intérêt à osciller autour du point de fonctionnement optimal, comme le font les 12 mètres J1. Le meilleur rendement est obtenu en se plaçant toujours au point de fonctionnement optimal.

Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit :

$$E_c = \text{Force propulsive} - \text{Trainée}$$

où la force propulsive F_p est une fonction de Θ angle du bateau par rapport au vent réel.

et où la trainée T est une fonction de la vitesse.

T peut s'exprimer sous la forme du polynôme

$T = aV^3 + bV^2$ où a et b sont tous les 2 positifs (Voir Figure 54).

Traitons maintenant les 2 cas suivants :

- 1 - Régime permanent
 $\Theta_2 = \Theta_1 = \Theta_0$
d'où $E_c = 0 \Rightarrow V_2 = V_1 = V_0$
- 2 - Entre l'instant T_0 et T_1 , le bateau abat puis lofe entre l'instant T_1 et T_2 , pour revenir au même angle qu'au départ
 $\Theta_2 = \Theta_0, \Theta_1 > \Theta_0$

Entre l'instant T_0 et l'instant T_1 , le théorème s'écrit :

$$E_{c1} - E_{c0} = F_p(\Theta_1) - F_p(\Theta_0) + a(V_1^3 - V_0^3) + b(V_1^2 - V_0^2) \quad (1)$$

avec $V_1 = V_0 + DV$ et DV petit devant V , ce qui donne :

$$\begin{cases} V_1^3 \approx V_0^3 + 3 DV V_0^2 \\ V_1^2 \approx V_0^2 + 2 DV V_0 \end{cases} \quad \text{et } DV > 0$$



d'où :

$$E_{c1} = E_{c0} + F_p (\Theta_1) - F_p (\Theta_0) + 3 a DV V_0^2 + 2 b DV V_0 \quad (2)$$

Entre l'instant T1 et l'instant T2, on a :

$$E_{c2} - E_{c1} = F_p (\Theta_2) - F_p (\Theta_1) + a (V_2^3 - V_1^3) + b (V_2^2 - V_1^2) \quad (3)$$

en posant $V_2 = V_1 + D'V$, on obtient, sachant que $\Theta_2 = \Theta_0$

$$E_{c2} = E_{c0} + 3 a (DV V_0^2 + D'V V_1^2) + 2 b (DV V_0 + D'V V_1) \quad (4)$$

or $D'V < 0$; supposons $D'V = -DV$, nous obtenons

$$E_{c2} = E_{c0} + 3 a DV (V_0^2 - V_1^2) + 2 b DV (V_0 - V_1) \quad (5)$$

$$\text{or } \begin{cases} 3 a DV > 0 \\ 2 b DV > 0 \end{cases} \quad \text{et } V_0 < V_1$$

$$\text{d'où } \begin{cases} E_{c2} < E_{c0} \\ V_2 < V_0 \end{cases}$$

On montre donc $D'V < -DV$, soit $D'V = -DV - \epsilon$ ce qui renforce la conclusion lorsque l'on reporte cette donnée dans l'équation (5).

Le bateau n'a donc pas intérêt à osciller autour du point de fonctionnement.



ANNEXE 6

COMPARAISON DES INDICATIONS DONNEES PAR 2 GROUPES ANEMOMETRE GIROUETTE L'UN ETANT DIRIGE VERS L'AVANT ET L'AUTRE VERS L'ARRIERE

(1) Au près

Le groupe avant est donc situé au vent et reçoit directement les filets d'air tandis que le groupe arrière subit l'influence du mat .

On constate que l'angle de girouette indiqué par le groupe arrière est plus grand que l'angle indiqué par le groupe avant . Cela est dû à la déflexion des filets d'air (Upwash) , qui est de plus en plus importante lorsque l'on va vers l'arrière du bateau .

Dans le cas du fichier D35F36 (figure 56) , la girouette avant indique 18.73 degrés tandis que la girouette arrière indique 20.07 degrés .

Les indications fournies par les 2 anémomètres sont presque identiques . L'anémomètre avant est légèrement supérieur de 2 à 3% à l'anémomètre arrière . Dans le cas du fichier D35F36 (Figure 56) , l'anémomètre avant indique 20.03 noeuds tandis que l'anémomètre arrière indique 19.56 noeuds.

(2) Aux allures portantes

Dans ce cas , c'est le groupe dirigé vers l'arrière qui est situé au vent , et qui reçoit directement les filets d'air .

En ce qui concerne la girouette , les rôles sont inversés par rapport au près: C'est maintenant la girouette avant qui fournit une indication supérieure à la girouette arrière . La déflexion des filets d'air agit dans le sens inverse . Dans le fichier D35F33 (Figure 57) la girouette avant indique 140.52 degrés tandis que la girouette arrière indique 133.47 degrés .

La variation la plus importante concerne les anémomètres .

L'anémomètre avant donne une indication de vitesse de vent apparent beaucoup plus importante que celle fournie par l'anémomètre arrière . Le pourcentage de différence varie de 7% au large (Figure 57) à plus de 15% au vent arrière (Figure 58).

On comprend aisément les difficultés rencontrées lorsque l'on calcule le vent réel avec un seul groupe anémomètre - girouette !

Sur 'FRANCE 3' , 2 groupes ont donc été installés ; ainsi le calculateur sélectionne le groupe avant au près , et le groupe arrière aux allures portantes . De cette façon , le calcul du vent réel à toutes les allures devient possible .

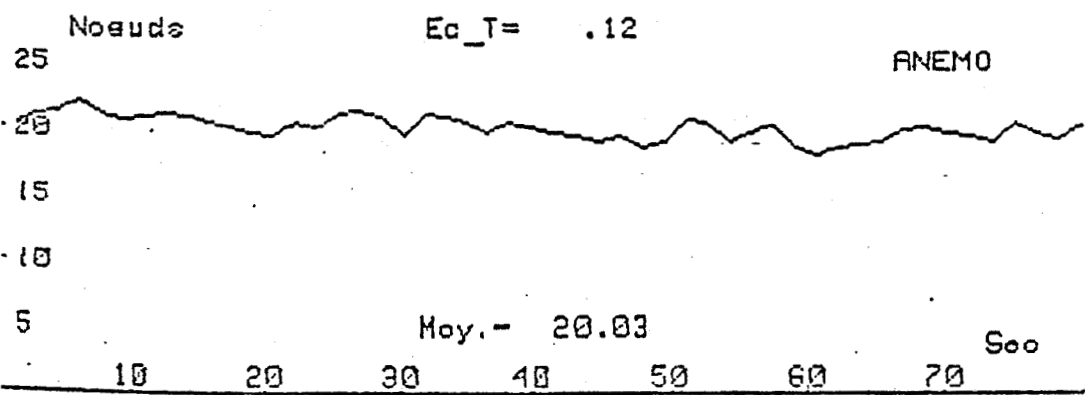
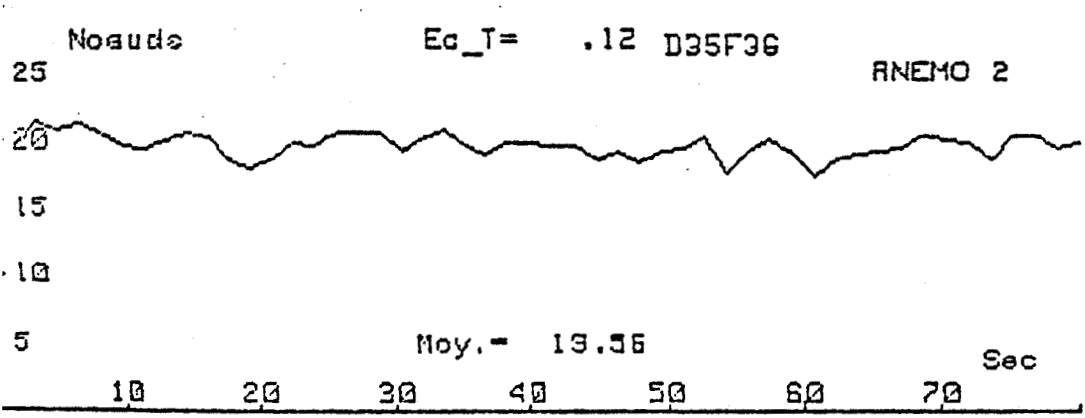
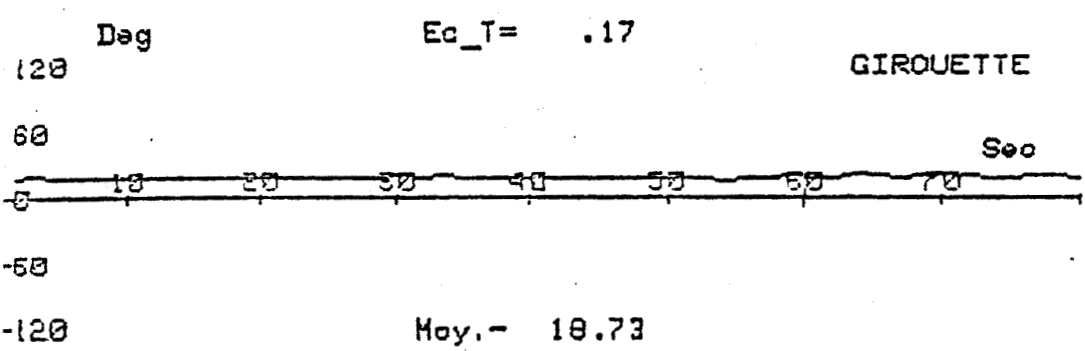
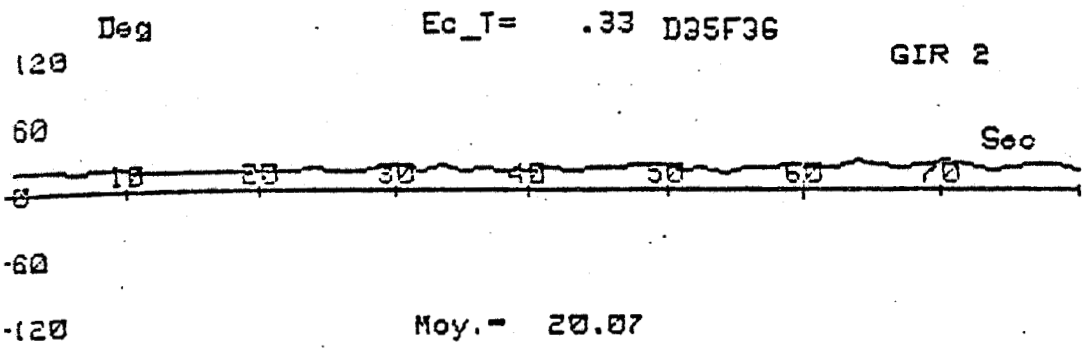


Figure 56



Comparaison girouette-anémo avant-arrière
Cas du près

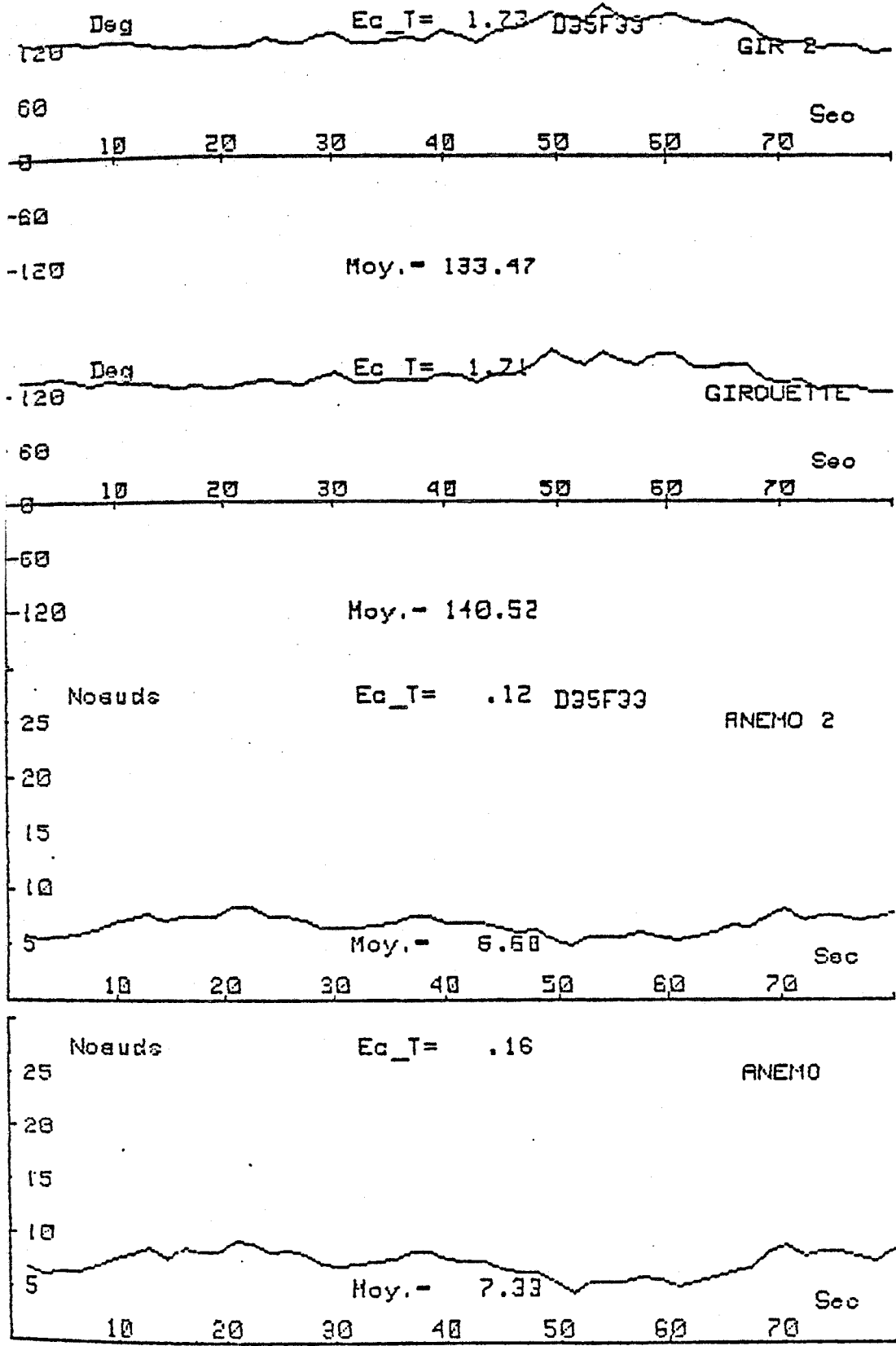


Figure 57



Comparaison girouette-anémo avant-arrière
Cas du grand large

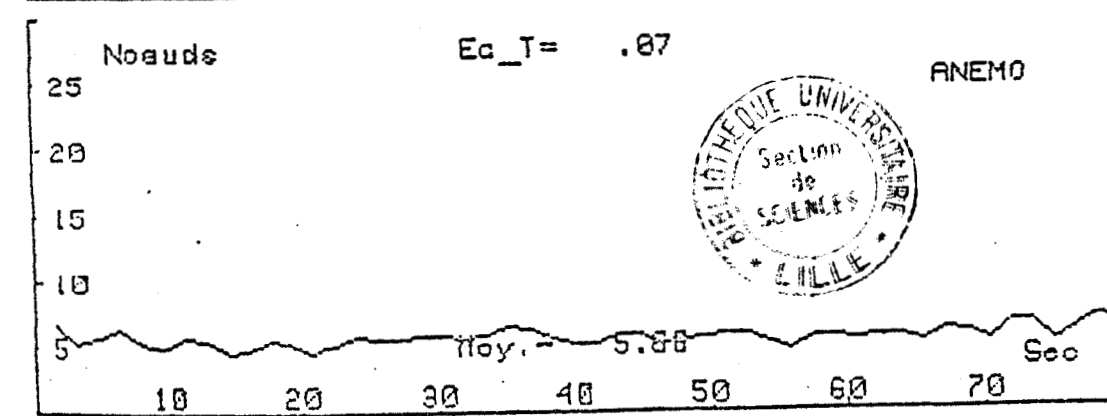
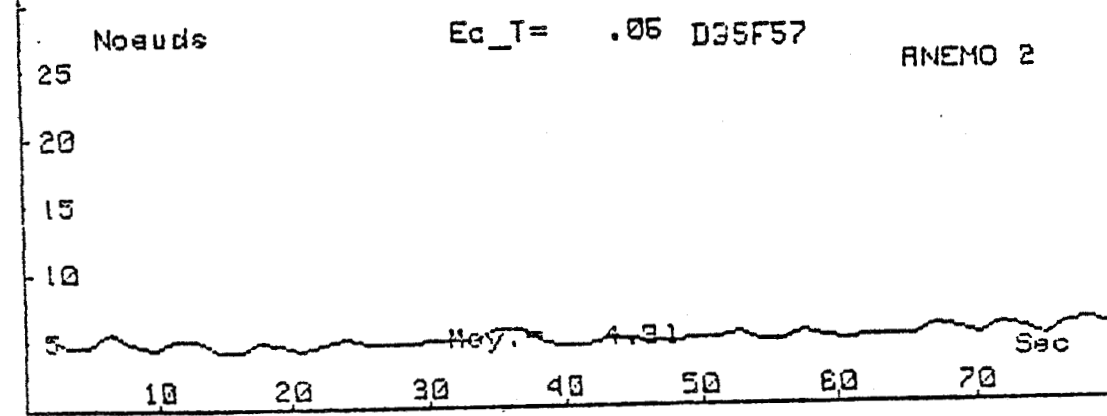
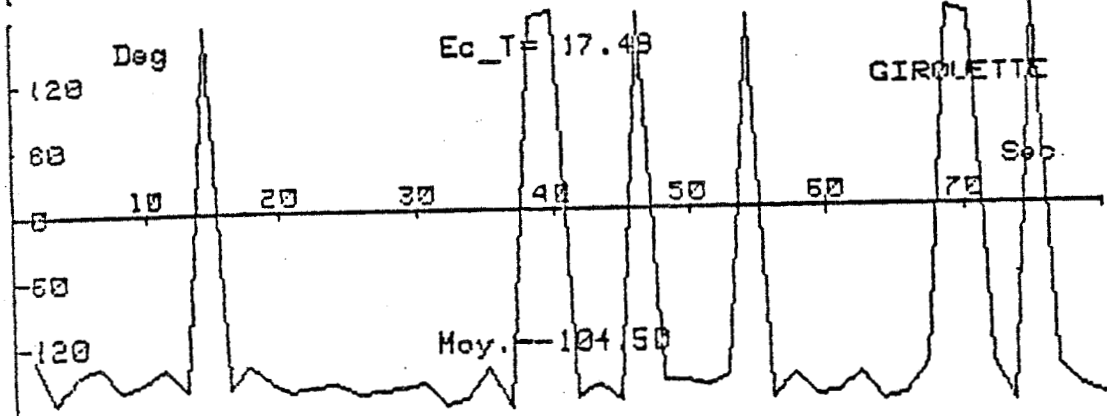
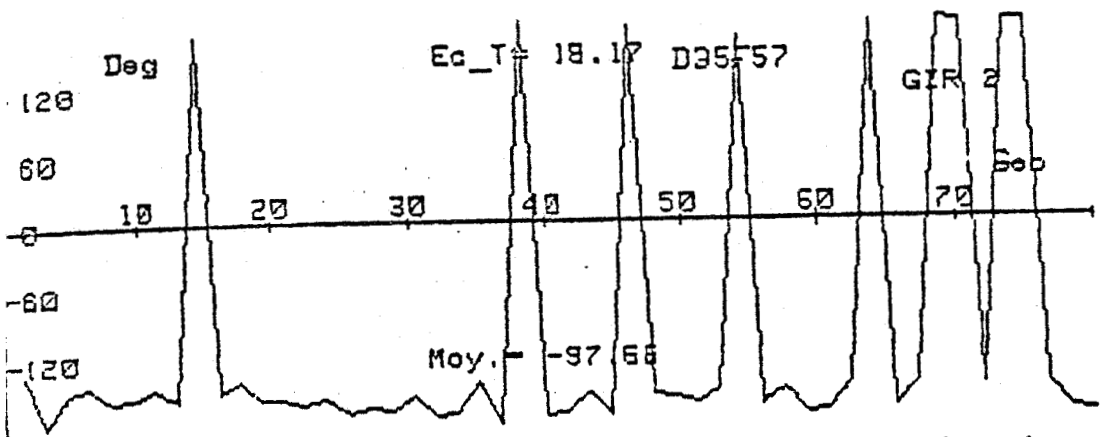


Figure 58

Comparaison girouette-anémo avant-arrière
 Cas du vent arrière
 Anémo arrière : 4.91 noeuds
 Anémo avant : 5.68 noeuds

R E S U M E

Les travaux présentés constituent une contribution à l'étude du Sport de la Voile. Ils concernent l'ensemble électronique développé pour optimiser la navigation et les performances de "France 3", Challenger dans le cadre du Défi Français pour la Coupe de l'Amérique.

Après la présentation des conditions de course est effectuée l'analyse des besoins du régatier en matière de navigation et d'optimisation de performances.

A partir de cette étude préalable est conçu un système électronique comportant des capteurs, reliés à une centrale d'acquisition qui envoie un message vers un ordinateur. Celui-ci travaille en temps réel, tout en gérant un lecteur de disquettes et des afficheurs à cristaux liquides.

Une étude du fonctionnement est ensuite faite, ainsi que l'analyse et l'interprétation en temps différé des résultats enregistrés, notamment l'étude des manoeuvres, et la création d'abaques de fonctionnement.

L'utilisation du système pour le réglage du voilier, l'entraînement de son équipage et l'optimisation de ses performances en régate est exposée.

MOTS CLES

NAVIGATION DE PLAISANCE ELECTRONIQUE

SYSTEME DE MESURE POUR VOILIER

TRAITEMENT DE DONNEES INFORMATIQUES

TEMPS REEL