

N° d'ordre : 363

50376
1985
233

50376
1985
233

THÈSE

Présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR INGENIEUR

par

Arnaud GRARE

Ingénieur I.D.N.



**ETUDE ET REALISATION D'UN SYSTEME DE
TRAITEMENT DE DONNEES RELATIVES A
UN KAYAK DE COURSE EN LIGNE**

Soutenue à Lille le 7 Février 1985 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury :	R. GABILLARD	Président
	F. LOUAGE	Rapporteur
	B. MACKE	Examineur
	D. CURTIL	Invité
	R. TROTTEIN	Invité

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué au Laboratoire d'Electronique et de Radiopropagation de l'Université des Sciences et Techniques de Lille. Je remercie particulièrement le Professeur Robert GABILLARD qui m'a proposé ce sujet de thèse et prodigué de précieux conseils à tout instant.

Pendant toute la durée de cette étude, j'ai travaillé en étroite collaboration avec le Professeur Francis LOUAGE. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien constant et les multiples encouragements qu'il m'a apportés durant cette étude.

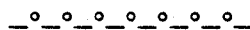
Monsieur le Professeur Bruno MACKE a bien voulu examiner mon travail ; qu'il en soit remercié.

Ce travail a pu être mené à bien grâce à un contrat passé avec la Fédération Française de Canoë-Kayak. Je remercie le Docteur De FOLIGNY directeur du bureau médical du Ministère de la Jeunesse et des Sports qui a été à l'origine de ce contrat. Je remercie également Monsieur Robert TROTTEIN représentant le Ministère de la Jeunesse et des Sports, ainsi que Monsieur Daniel CURTIL, Directeur Technique National de la Fédération Française de Canoë-Kayak, qui me font l'honneur de participer à mon jury.

J'exprime aussi ma reconnaissance à Monsieur Jacques BAUDET pour ses conseils judicieux et ses réalisations parfaites.

Je tiens aussi à remercier tous les membres de la F.F.C.K. pour leur collaboration au développement de ces travaux, Monsieur Bertrand LOURME pour les différentes campagnes de mesures qu'il a effectuées sur l'Equipe Olympique, ainsi que les kayakistes pour l'intérêt qu'ils ont manifesté envers le système réalisé. Je désire enfin remercier tous les membres des ateliers d'électronique et de mécanique de l'U.S.T.L. de l'aide sympathique qu'ils m'ont apportée ainsi que tous les membres du personnel administratif et de service qui ont participé à la fabrication de mon mémoire de thèse.

SOMMAIRE



INTRODUCTION

CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE ET DEFINITION DU SYSTEME D'EXPLOITATION

I.1 - LES VARIABLES D'ETUDES

I.1.1 - Relations fonctionnelles

I.1.2 - Vitesse du kayak

I.1.3 - Rythme cardiaque

I.1.4 - Effort développé

I.2 - ANALYSE MECANIQUE

I.2.1 - La pagaie

I.2.2 - Le kayak

I.2.3 - Le pagayeur

I.2.4 - Le mécanisme

I.3 - MATERIEL ELECTRONIQUE

I.3.1 - Les capteurs

I.3.2 - La centrale d'acquisition

I.3.3 - Le synchronisateur vidéo

I.4 - UTILISATION DU SYSTEME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT

I.4.1 - Rapidité

I.4.2 - Simplicité

I.4.3 - Interactivité

I.4.4 - Possibilités d'analyse

CHAPITRE II : CONCEPTION DU SYSTEME DE MESURE ET DE RECEPTION DES DONNEES

II.1 - PRINCIPE ET ARCHITECTURE

II.2 - ANALYSE DES CHAINES DE MESURE

II.2.1 - Détecteur de contraction cardiaque

II.2.2 - Capteur de vitesse

II.2.3 - Capteur d'effort

II.3 - TRANSFERT, TRAITEMENT, STOCKAGE DES DONNEES

II.3.1 - Matériel informatique

II.3.2 - Protocole de dialogue : centrale-calculateur

II.3.3 - Essais des capteurs

II.3.4 - Le logiciel "FFCK 2"

II.3.5 - Réception, traitement, stockage des données

II.4 - EXPLOITATION DU SYSTEME

CHAPITRE III : PROGRAMME DE TRACES ET DE TRAITEMENTS DES MESURES

III.1 - OBJECTIFS

III.2 - SOLUTIONS RETENUES

III.2.1 - Mémoire centrale - Loupe - valeurs numériques

III.2.2 - Ecriture - Stockage des données -
Menu de traitements

III.2.3 - Outils interactifs

III.3 - STRUCTURE DU PROGRAMME "COURBE 2"

III.4 - TRAITEMENTS DES DONNEES

III.4.1 - Données brutes

III.4.2 - Calculs généraux

III.4.3 - Détection du coup de pagaie

III.5 - LIAISON VIDEO

III.6 - EXPLOITATION DU SYSTEME COMPLET

CHAPITRE IV : ESSAI D'EVALUATION DU COMPORTEMENT
ENERGETIQUE DU SYSTEME

IV.1 - CORRELATIONS

IV.1.1 - Principe

IV.1.2 - Corrélation des efforts

IV.1.3 - Temps de restitution de l'énergie au kayak

IV.1.4 - Exemple d'interprétation

IV.2 - CALCUL DE LA TRAINEE

IV.2.1 - Définition

IV.2.2 - Logiciel de calcul de traînée

IV.3 - TRANSFERTS ENERGETIQUES

IV.3.1 - Energie contenue dans la pagaie

IV.3.2 - Puissance fournie à la pagaie

IV.3.3 - Calcul de l'énergie dépensée par l'équipage

IV.3.4 - Notion de rendement énergétique

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

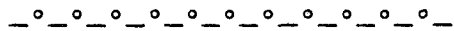
ANNEXE 1 : ETUDE MECANIQUE DE LA PAGAIE

ANNEXE 2 : ORGANISATION DES DONNEES DANS LA CENTRALE
ET TRANSFORMATIONS SUCCESSIVES

ANNEXE 3 : CALCUL DE L'ERREUR EFFECTIVE SUR LA DISTANCE PARCOURUE

ANNEXE 4 : MODELISATION PAR ANALOGIE MECANIQUE.

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



Le travail que nous avons entrepris se situe dans le cadre des activités de recherches développées au sein du laboratoire de radio-propagation et électronique depuis 1975. En effet, intéressée par les réalisations conçues au laboratoire pour le sport de la voile, et attirée par les applications de recherche scientifique qui en ont résulté, la Fédération Française de Canoë-Kayak demanda au laboratoire de concevoir un système d'acquisition de mesures appliqué à un kayak de course en ligne.

L'étude du kayak de course en ligne, en vue d'améliorer les performances des sportifs, est actuellement basée essentiellement sur l'intuition visuelle de la phase aérienne du coup de pagaie et sur les résultats acquis. Ainsi, malgré quelques études qualitatives réalisées à partir d'enregistrements vidéo, les méthodes d'enseignement du kayak sont déterminées par des critères intuitifs régis par un souci d'imitation. Nous nous sommes donc proposé de réaliser un système d'acquisition de mesures et de traitement de données qui soit un outil d'analyse rapide, simple, et efficace du comportement des pagayeurs et celui du kayak.

Le principe du système consiste à effectuer à bord d'un kayak des enregistrements de mesures qui, introduites dans un ordinateur après la course, permettront en synchronisation avec l'enregistrement vidéo, l'analyse et l'interprétation du geste sportif et l'étude du comportement du kayak.

Nous exposons dans un premier temps l'analyse des besoins des entraîneurs concernant l'outil d'aide à l'étude du kayak de course en ligne. La définition des variables d'étude, la description des moyens mis en place et les caractéristiques d'utilisation du système font ainsi l'objet du premier chapitre.

Nous décrivons ensuite dans le deuxième chapitre, l'architecture du système et plus particulièrement l'analyse des chaînes de mesures ainsi que la solution retenue pour le transfert et stockage des données.

Nous nous intéressons dans le troisième chapitre au programme de restitution et traitement des données en montrant, d'une part l'esprit dans lequel il a été conçu quant à son utilisation, et d'autre part les possibilités de traitement qu'il présente.

Le dernier chapitre est consacré, d'une part à la recherche de variables caractéristiques de l'effet relationnel entre l'effort développé par les pagayeurs et le comportement du kayak ainsi que l'interaction mutuelle au sein d'un équipage, et d'autre part au calcul des transferts d'énergie au kayak et à la pagaie.

CHAPITRE I

—°—°—°—°—°—°—°—°—°—

PRESENTATION GENERALE

ET

DEFINITION DU SYSTEME D'EXPLOITATION

I - PRESENTATION GENERALE ET DEFINITION DU SYSTEME D'EXPLOITATION

I. 1 - LES VARIABLES D'ETUDES

I. 1. 1 - Relations fonctionnelles :

L'observation d'un kayak en course peut se ramener à celle de 4 sous-ensembles :

- le milieu extérieur : l'eau, l'air et l'environnement visuel
- le kayak proprement dit
- les pagayeurs
- les pagaies

La figure 1 montre les interactions entre les divers éléments dans la configuration d'un kayak biplace (K2), et peut facilement se généraliser à d'autres configurations.

Le milieu extérieur agit sur :

- le kayak par des efforts hydrodynamiques et aérodynamiques
- les pagaies par les réactions hydrostatiques de l'eau sur les pales
- les pagayeurs par des efforts aérodynamiques et des stimulations diverses : position relative des adversaires, tactique de course.

Le pagayeur agit sur :

- le kayak par son action sur le gouvernail et par ses appuis
- la pagaie par le mouvement qu'il lui impose et les efforts auxquels il la soumet par l'intermédiaire de ses mains
- son équipier par les informations qu'il lui communique au travers de ses actions, soit par des conventions spécifiques à l'équipage, soit par des conséquences purement physiques liées aux diverses interactions.

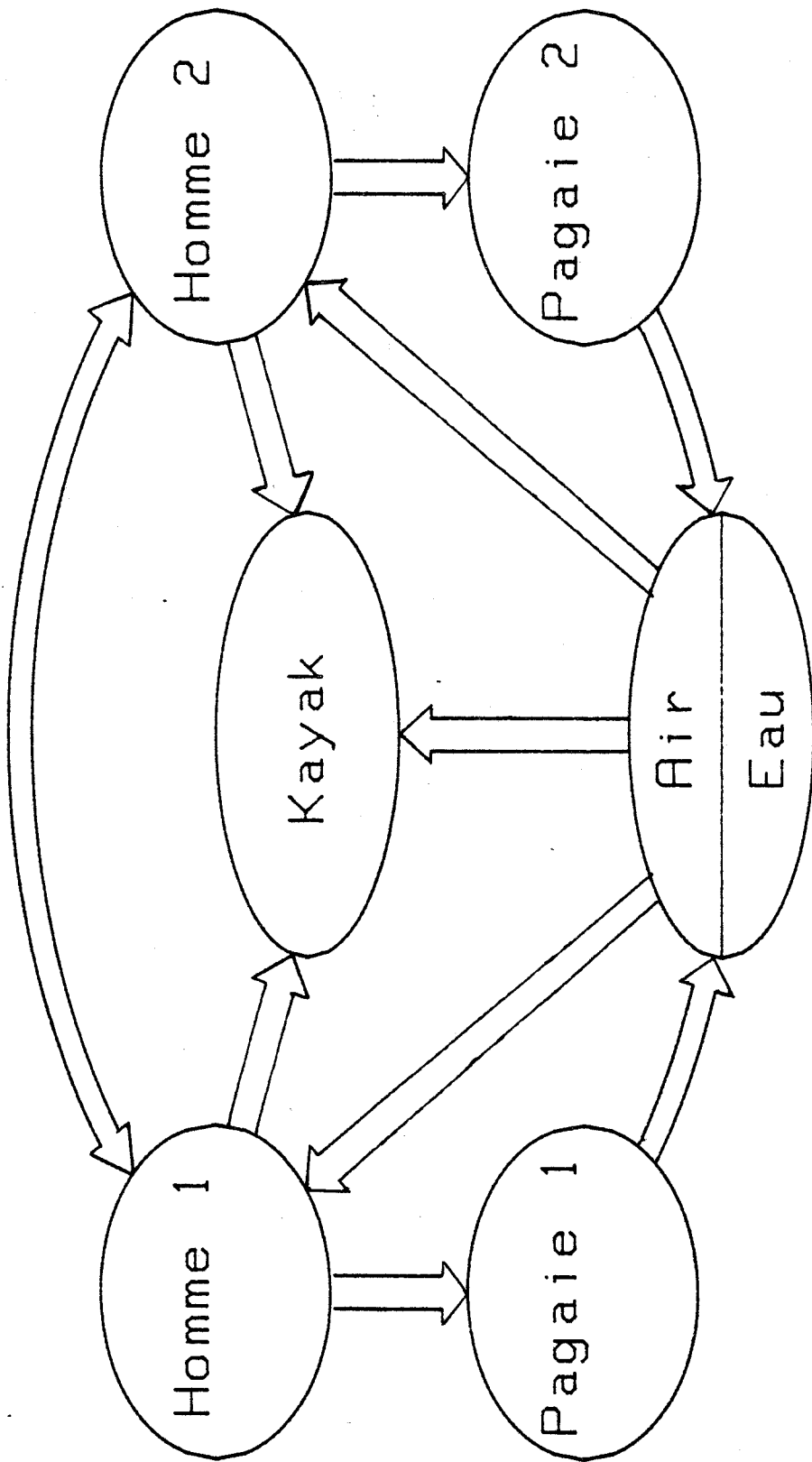


FIGURE 1

RELATIONS FONCTIONNELLES



Les entraîneurs possèdent déjà des connaissances empiriques et souvent réelles de la plupart de ces interactions. Pourtant, soucieux d'améliorer ces connaissances, ils ont émis le désir d'obtenir des mesures quantitatives de certains paramètres.

I. 1. 2 - Vitesse du kayak :

L'objectif du sport de kayak de course en ligne est de parcourir une distance donnée en un temps minimum. Pour l'entraîneur la notion de vitesse est liée aux résultats et l'évolution fine de cette variable est complètement ignorée : seuls les pagayeurs eux-mêmes en ont une sensation tout-à-fait subjective. L'acquisition de cette vitesse permettra non seulement d'observer les différentes phases de la course (accélération, relâche), mais aussi d'étudier précisément les réactions instantanées du kayak pendant un coup de pagaie.

I. 1. 3 - Rythme cardiaque :

Le contrôle de l'entraînement en kayak est fondé en grande partie sur les prédispositions fonctionnelles des sportifs. Parallèlement à l'aspect technique, l'évolution du développement musculaire et sa capacité anaérobie sont déterminants. Sachant que l'accélération en fin de course est un élément prédominant dans la victoire, il est important de connaître non seulement l'état de fatigue du sportif à quelques mètres de l'arrivée, mais aussi l'évolution de sa dépense énergétique qui a abouti à cet état.

L'entraîneur a actuellement deux sources d'information concernant les prédispositions de capacité anaérobie :

- sur le terrain, l'acquisition du rythme cardiaque avant et après la course ;

- en laboratoire, la mesure de la consommation d'oxygène, du taux de lactates sanguins et du rythme cardiaque.

Cette dernière source est médicalement la plus complète, mais ne recrée pas des conditions réelles de course ; l'appareillage et la mise en oeuvre qu'elle requiert gêneraient en effet les pagayeurs. Par contre l'enregistrement seul des contractions cardiaques permettra sans gêne la restitution du rythme cardiaque, la connaissance du seuil d'anaérobie lactique, ainsi que la détection de particularités cardiaques telles que l'arythmie.

I. 1. 4 - Effort développé :

L'analyse du coup de pagaie par l'entraîneur est actuellement limitée à l'observation de l'aspect esthétique de la phase aérienne : il est donc intéressant de compléter cette information par la mesure d'une variable attachée à la phase aquatique. Il sera peut-être ainsi possible de quantifier l'effort développé par le pagayeur pendant son coup de pagaie.

I. 2 - ANALYSE MECANIQUE

Suite à l'observation des interactions décrites ci-dessus, nous pouvons, en isolant les différents éléments d'un kayak, décrire les relations physiques qui s'y rapportent, et mieux comprendre ainsi comment évolue un kayak.

I. 2. 1 - La pagaie

La pagaie est soumise à 3 actions : la réaction de l'eau sur la pale et les efforts de traction et de poussée.

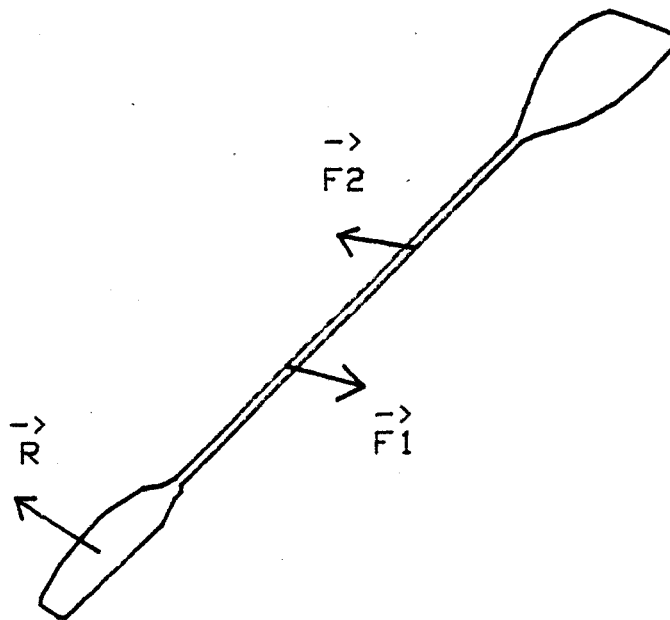


FIGURE 2

L'étude statique du phénomène physique lié à la pagaie est détaillée en annexe 1. L'analyse du comportement dynamique de la pagaie est une étude plus complexe qui exigerait, pour être d'un intérêt direct à cette application, la connaissance des évolutions temporelles de deux efforts au moins, ce qui n'a pu être réalisé dans le cadre de notre travail.

Pour la suite de ce travail, nous poserons deux hypothèses simplificatrices et proches de la réalité : nous supposerons d'une part que l'existence d'un moment de flexion éventuel exercé par l'eau sur la pale peut être assimilé à la réaction \vec{R} appliquée au centre de la pale perpendiculairement au plan moyen de celle-ci, et d'autre part que les efforts appliqués à la pagaie sont coplanaires et n'engendrent donc pas de moment de torsion (voir figure 2).

I. 2. 2 - Le kayak :

Le kayak est soumis, quant à lui, à des efforts exercés par l'eau et l'air, de résultante \vec{H} et à la résultante \vec{S} des efforts exercés par le pagayeur.

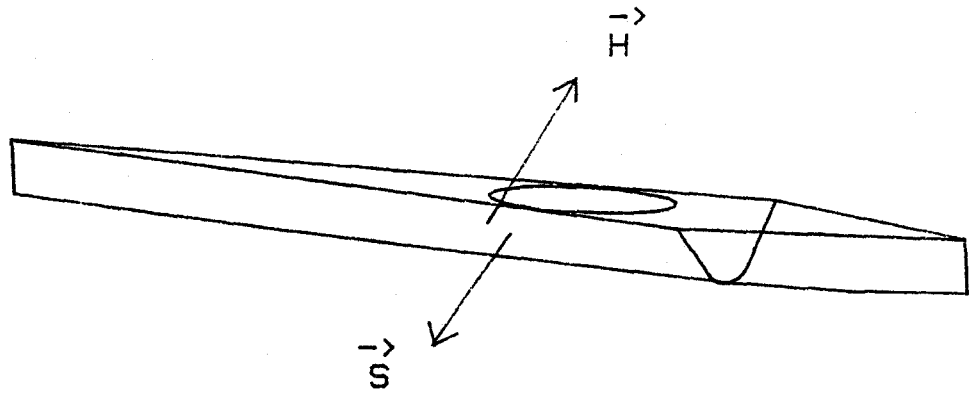


FIGURE 3



Comme les points d'application de \vec{H} et \vec{S} ne sont pas nécessairement confondus, nous observons des effets de gîte, tangage et louvoyage. Si nous supposons ces points d'application appliqués au centre de gravité G_0 du kayak, nous obtenons la relations suivante

$$\vec{H} + \vec{S} = m_0 \vec{\gamma}$$

avec $\vec{\gamma}$ accélération du centre de gravité du kayak.

Cette relation projetée sur l'axe du kayak donne

$$F = T + m_0 \frac{dV}{dt}$$

avec : F effort longitudinal exercé par le pagayeur

T traînée hydrodynamique du kayak

V vitesse du kayak

m_0 masse du kayak

Pour un kayak de type K2 la relation devient

$$F' + F'' = T + m_0 \frac{dV}{dt}$$

avec : F' et F'' efforts tangentiels des pagayeurs

I. 2. 3 - Le pagayeur :

Le pagayeur est l'élément moteur du kayak : il est soumis à son poids \vec{P} , à l'effort aérodynamique \vec{A} , aux réactions $-\vec{F}_1$ et $-\vec{F}_2$ de la pagaie et à un torseur réduit à une force $-\vec{S}$ s'appliquant en un point variable de son corps, point de moment résultant nul et appliqué par le kayak.

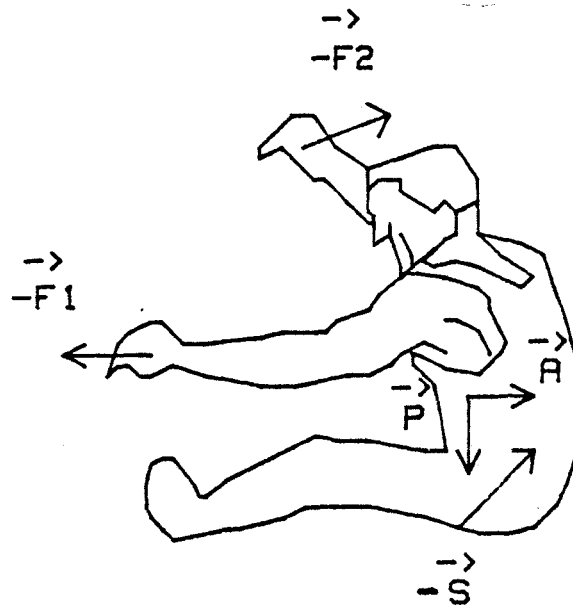


FIGURE 4

L'énergie utile dépensée par le pagayeur résulte ainsi de 3 types d'échange énergétique : le pagayeur contribue en effet à la modification de son énergie potentielle et cinétique, par le déplacement de son centre de gravité, et à l'échange d'énergie avec la pagaie et le bateau. Outre l'énergie utile, le pagayeur possède également une caractéristique humaine qui est de dépenser une énergie musculaire inutilisée lors d'un effort sans déplacement du point d'application ; cette dépense énergétique dépend alors de la préparation du sportif et de l'efficacité du geste effectué.

La puissance fournie par le pagayeur d'un K1 possède ainsi l'expression :

$$P = \vec{F}_1 \cdot \vec{V}_1 + \vec{F}_2 \cdot \vec{V}_2 - \vec{S} \cdot \vec{V} + \vec{P} \cdot \vec{V}_G + \vec{A} \cdot \vec{V}_G + m_1 \vec{V}_G \frac{d\vec{V}_G}{dt}$$

avec : \vec{V} , \vec{V}_G , \vec{V}_1 , \vec{V}_2 vitesses respectives des centres de gravité du kayak, du pagayeur et des deux mains

m_1 masse du pagayeur

Pour un kayak du type K2, l'expression globale de la puissance fournie par les pagayeurs est :

$$P = P_{a_1} + P_{a_2} + \vec{P}_1 \cdot \vec{V}_{G_1} + \vec{P}_2 \cdot \vec{V}_{G_2} - (\vec{S}_1 + \vec{S}_2) \cdot \vec{V} + \vec{A}_1 \cdot \vec{V}_{G_1} + \vec{A}_2 \cdot \vec{V}_{G_2} + m_1 \vec{V}_{G_1} \frac{d\vec{V}_{G_1}}{dt} + m_2 \vec{V}_{G_2} \frac{d\vec{V}_{G_2}}{dt}$$

avec : P_{a_i} puissance fournie à la pagaie i

P_i poids du pagayeur i

I. 2. 4 - Mécanisme :

Le mécanisme de la mise en mouvement du kayak peut se décrire schématiquement de la manière suivante :

En prenant appui sur l'eau par l'intermédiaire de la pagaie, le pagayeur emmagasine dans le manche de celle-ci une énergie de déformation ; cette énergie lui est restituée au fur et à mesure du coup de pagaie et communiquée finalement au kayak.

Parallèlement à ces échanges, le déplacement horizontal, volontaire du centre de gravité des pagayeurs entraîne un déplacement relatif en sens contraire du kayak par rapport au centre de gravité de l'ensemble.

Cette analyse mécanique succincte mais nécessaire pourrait faire l'objet d'une étude approfondie ultérieure. L'intérêt d'une telle étude théorique n'étant pas directement exploitable par l'entraîneur, nous avons préféré orienter notre travail vers la réalisation d'un système de mesure qui, par son exploitation, pourra étayer des travaux ultérieurs dans ce domaine.

I. 3 - MATERIEL ELECTRONIQUE

I. 3. 1 - Les capteurs :

Les capteurs sont de 3 types :

- mesure de vitesse : une petite roue à ailettes, placée sous le kayak, se comportant comme une génératrice tachymétrique, délivre un signal électrique qui permet la mesure de la vitesse relative de l'eau par rapport à la coque du kayak ;

- détection cardiaque : un détecteur électronique délivre à chaque contraction cardiaque une impulsion logique ;

- mesure d'effort : des jauges d'extensométrie montées en pont permettent la mesure de la déformation des pagaies en des points de flexion importante.

I. 3. 2 - La centrale d'acquisition :

Pour acquérir les différents paramètres décrits ci-dessus à partir d'un matériel embarquable, léger et autonome, le laboratoire a conçu et réalisé une centrale d'acquisition qui a fait l'objet d'articles et rapport interne (réf. 10). Cette centrale dérive de l'expérience du laboratoire dans ce domaine : fruit de réalisations successives, elle en diffère par sa souplesse d'utilisation et sa capacité de stockage importante. En effet pour répondre à des protocoles d'enregistrement différents, seul un programme moniteur d'1/2 k octets est implanté en mémoire ROM.

ARCHITECTURE DE LA CENTRALE

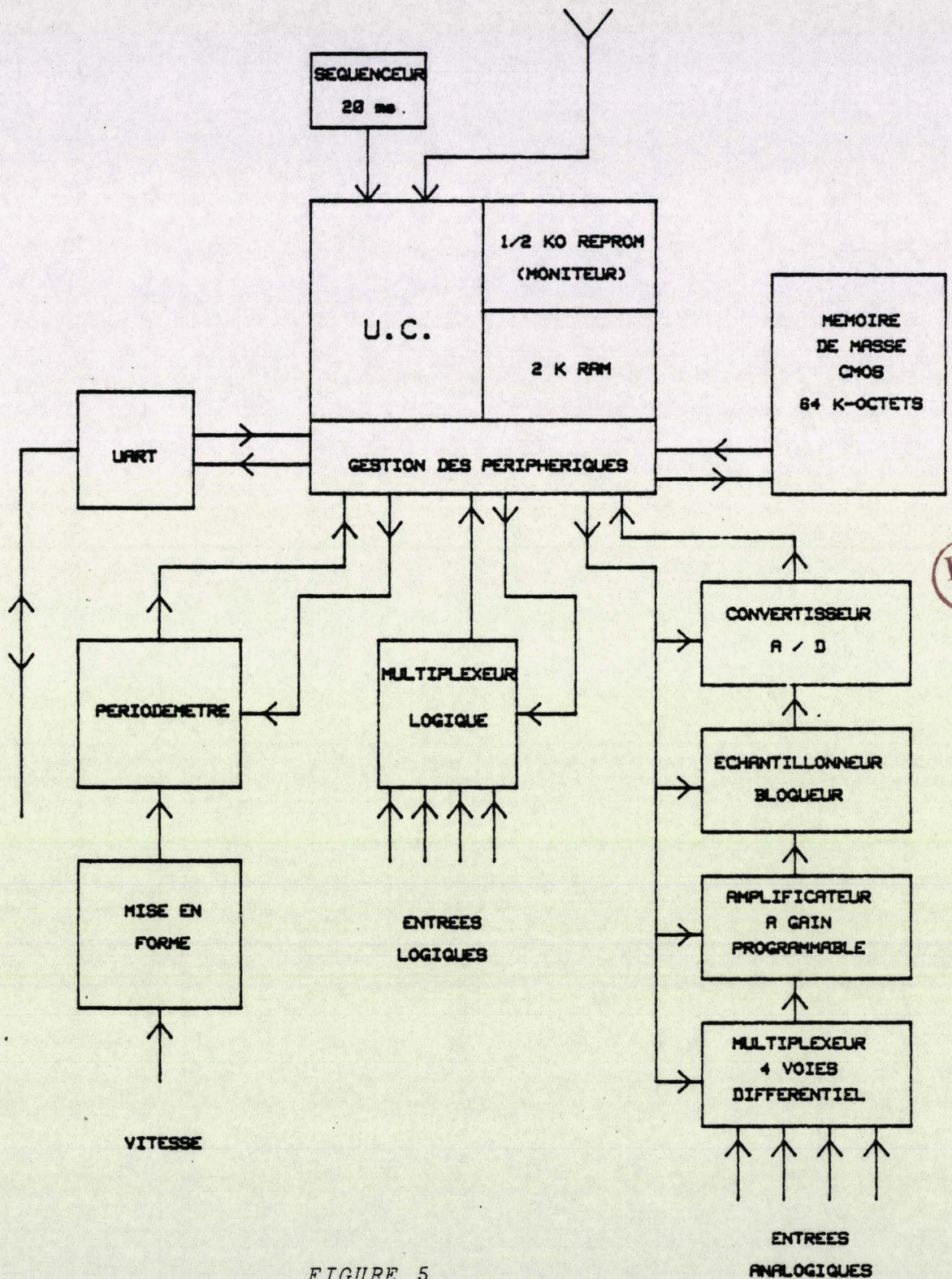


FIGURE 5

Ce moniteur permet, grâce à une liaison série, le chargement en mémoire RAM d'un programme d'acquisition de mesures spécifique au type de course envisagé : K2, K4, etc. Outre cette particularité, cette centrale offre surtout la possibilité de stocker en son sein 64 k octets en mémoires statiques RAM CMOS de très faible consommation.

La cadence maximale d'acquisition est de 50 cycles de mesures par seconde. Un cycle de mesure permet l'acquisition maximale de 4 grandeurs analogiques, 4 informations logiques et une valeur de fréquence. Il sera ainsi possible pour un K4 d'acquérir toutes les 20 ms, les valeurs des 4 "forces", des 4 états cardiaques et la vitesse du kayak pendant une durée de 163 s.

L'objet de notre étude étant un kayak type K2, le cycle d'acquisition est limité à 2 "forces", 2 états cardiaques et la vitesse du kayak. La durée d'enregistrement est dans ce cas de 291,2 secondes et permet l'enregistrement total d'une course de 1000 mètres.

I. 3. 3 - Le synchronisateur vidéo :

L'enregistrement de ces différents paramètres est une source d'informations tout-à-fait nouvelle pour un entraîneur. Afin de corrélérer ces mesures à l'analyse visuelle, un synchronisateur vidéo dont la fonction principale est d'inscrire en temps réel sur la bande d'enregistrement vidéo le numéro correspondant au nombre de cycles d'acquisition écoulés, a été réalisé au laboratoire. A la lecture de la bande, ce système déchiffre ces numéros afin de pouvoir associer à l'image visualisée les mesures qui lui correspondent. (On se reportera à la référence 8).

I. 4 - UTILISATION DU SYSTEME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT

A l'aide d'un ordinateur, nous avons réalisé un outil d'aide à l'entraînement et à la compréhension du sport de kayak. Plaque tournante entre la centrale d'acquisition, le synchronisateur vidéo et l'utilisateur, cet outil est rapide, simple, interactif et puissant.

I. 4. 1 - Rapidité :

Suite à la phase d'acquisition en temps réel d'une durée approximative de 5 minutes, il est nécessaire de stocker en mémoire non volatile l'enregistrement effectué, et ceci sous une forme aisément exploitable.

Nous avons tenu à diminuer au maximum le temps correspondant à cette opération pour deux raisons :

- dans un premier temps, pour augmenter les possibilités d'exploitation du système et procéder à plusieurs enregistrements successifs dans un délai assez court ;

- dans un deuxième temps, par souci d'adaptation psychologique des sportifs à ce système d'acquisition de données en leur donnant la possibilité de visualiser l'enregistrement des mesures quelques minutes après leur effort.

I. 4. 2 - Simplicité :

L'ensemble du système devant être exploité ultérieurement par des entraîneurs de la Fédération, il est nécessaire que son utilisation par des néophytes de l'électronique et informatique soit possible et facile.

I. 4. 3 - Interactivité :

La simplicité d'utilisation du système ne doit pas impliquer pour autant une rigidité dans le déroulement des opérations, qu'il s'agisse de la phase d'acquisition ou la phase d'étude des mesures.

Pendant la phase d'acquisition, l'utilisateur doit être mis au courant des différents états du système : étape du processus, états des capteurs ainsi que des erreurs qu'il commet. Il doit pouvoir aussi agir en fonction des événements : tests variés, protocole de départ.

Pendant la phase d'étude, le système devra offrir des possibilités d'analyse étendues tout en exigeant de l'utilisateur un minimum d'interventions.

I. 4. 4 - Possibilités d'analyse :

Outre la restitution des données brutes, il est intéressant d'accéder à des variables calculées qui fourniront une vision synthétique de particularités caractéristiques d'un équipage. Il sera ainsi possible de distinguer facilement certains comportements ou capacités propres à un individu ou à un équipage.

CHAPITRE I I



CONCEPTION DU SYSTEME DE MESURE

ET DE RECEPTION DES DONNEES

II - CONCEPTION DU SYSTEME DE MESURE ET DE RECEPTION DES DONNEES

II. 1 - PRINCIPE ET ARCHITECTURE

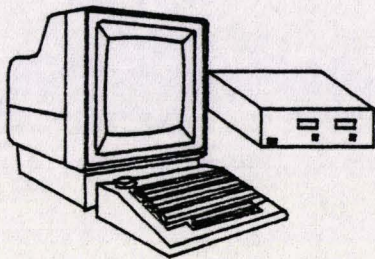
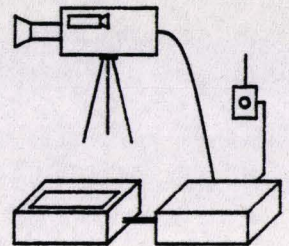
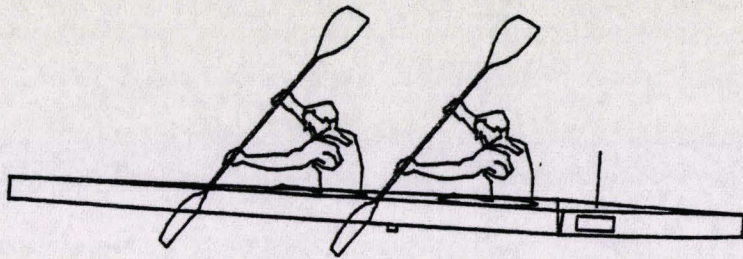
La phase d'acquisition et stockage des données s'effectue en 3 étapes :

- La centrale d'acquisition est d'abord embarquée dans le kayak et connectée aux différents capteurs. Un ordinateur, relié au kayak, permet l'injection dans la centrale du programme d'acquisition. L'envoi successif de différents mots-codes permet dans un deuxième temps de déclencher l'acquisition, soit par télécommande, soit par retard programmé.

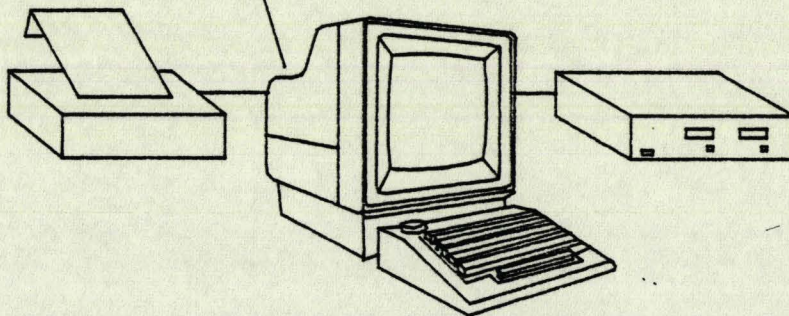
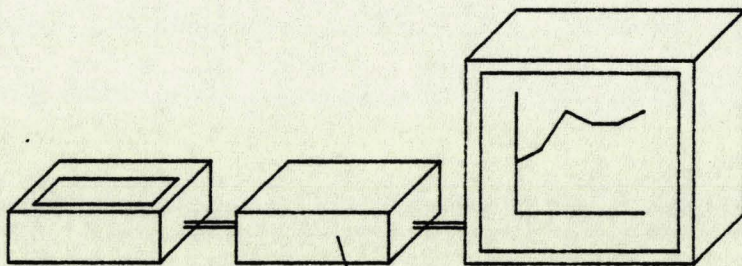
- Le ordinateur est ensuite déconnecté du kayak ; la centrale démarre ses acquisitions suivant le mode de déclenchement prévu et effectue un enregistrement jusqu'au remplissage complet de la mémoire, soit 5 minutes environ. Si l'on désire pratiquer un enregistrement vidéo simultané, le synchronisateur vidéo est déclenché en même temps que les acquisitions par le même système de télécommande.

- Au retour du kayak, le ordinateur est reconnecté à celui-ci. Quatre programmes permettant de vider la mémoire sont alors injectés successivement dans la centrale, chacun d'eux réalisant le transfert d'un quart des données. A la réception, ces données sont transformées par le ordinateur et stockées sur disquette.

L'architecture de l'ensemble est représentée à la figure 6 :



1 ère PHASE



2 ème PHASE

FIGURE 6

II. 2 - ANALYSE DES CHAINES DE MESURE

II. 2. 1 - Détecteur de contraction cardiaque

a) Activité électrique du coeur

Lorsque le muscle cardiaque est au repos, la membrane cellulaire possède des ions positifs sur sa face externe et des ions négatifs sur sa face interne : le coeur est polarisé. Lorsque la distribution des ions s'inverse, la membrane se dépolarise. La dépolarisation se diffuse des oreillettes vers les ventricules provoquant ainsi leur contraction.

Quand une partie du myocarde devient négative, alors que le reste est positif, le coeur se comporte comme un dipôle créant ainsi un champ électrique.

Deux électrodes placées en deux points distincts du champ électrique fournissent ainsi une différence de potentiel qui présente au cours du cycle cardiaque des déflexions autour de la ligne isoélectrique, représentatives des différents lieux de dépolarisation.

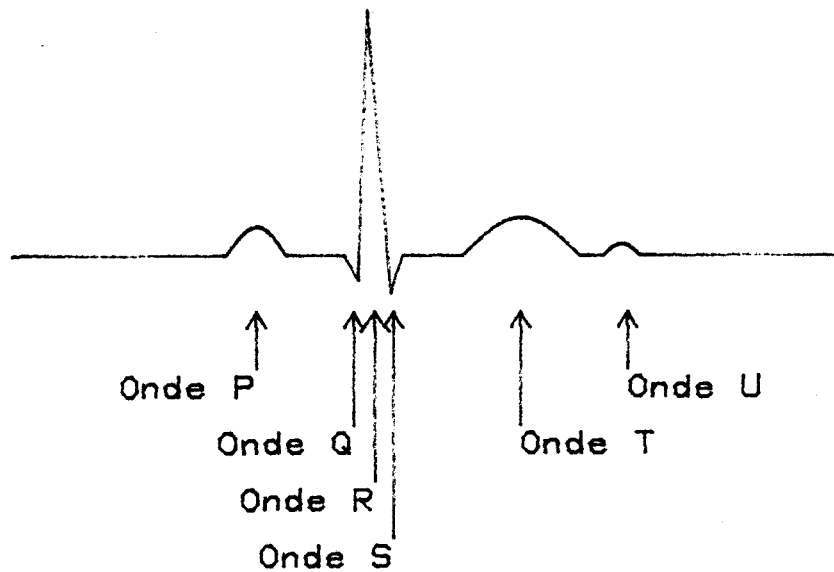


FIGURE 7

b) Principe

La fonction de ce capteur est de fournir à chaque contraction cardiaque une impulsion logique. Trois électrodes sont donc disposées en dérivation précordiale, l'une d'elles constituant un potentiel de référence pour l'électronique.

Le principe consiste à détecter le complexe QRS tout en s'assurant de ne pas déclencher intempestivement. Après l'amplification préalable du signal, un trigger permet la détection d'une contraction cardiaque en déclenchant sur le front montant de l'onde R au passage d'une tension de seuil. La sortie logique change alors d'état ; au front descendant de l'onde, le seuil est détecté et l'état logique est maintenu pendant environ 100 ms. Si aucun passage de seuil n'est détecté pendant ce temps, la sortie logique revient alors à son état initial.

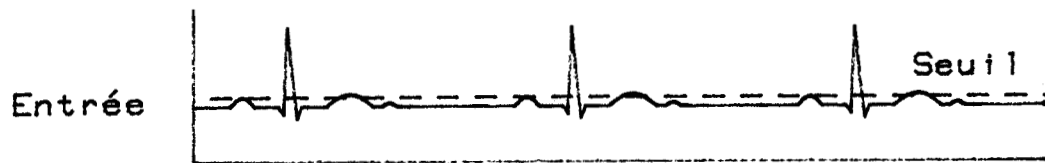
La position des électrodes et la qualité de leur contact avec la peau engendrant des niveaux variables, il était nécessaire de prévoir un réglage modifiant la tension de seuil. Cette tension de seuil est modifiée jusqu'à ne plus obtenir de détection. En position de fonctionnement, ce seuil est décalé automatiquement assurant ainsi une détection correcte des contractions.

c) Fiabilité - Précision

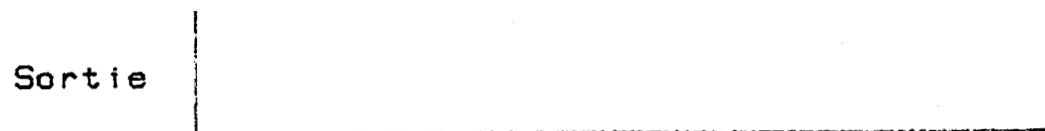
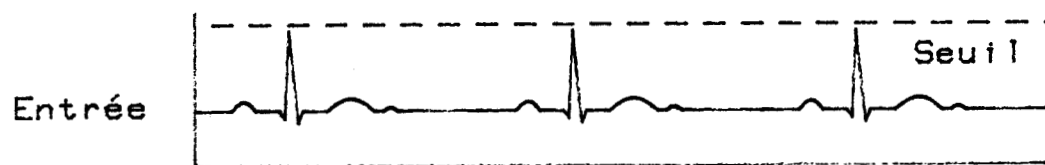
Le principe de ce capteur permet donc la détection des contractions cardiaques avec l'assurance que l'on ne détecte pas des parasites qui produiraient un rythme beaucoup plus rapide qu'un rythme normal.

Par ailleurs, la fiabilité du capteur dépend essentiellement de la qualité des contacts entre les électrodes et la peau, pouvant entraîner des absences de détection ou d'anomalies cardiaques spécifiques à un sportif, créant ainsi des détections supplémentaires.

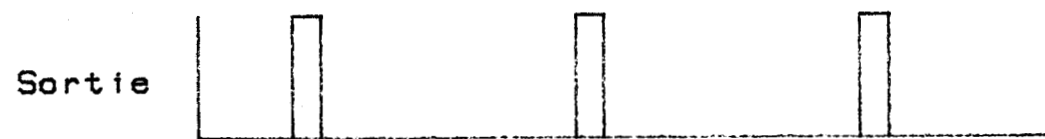
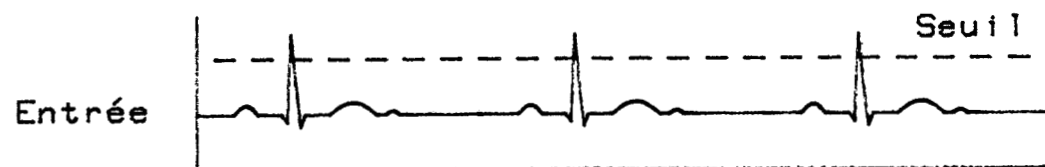
FIGURE 8



Avant réglage



Réglage



Fonctionnement



II. 2. 2 - Capteur de vitesse

a) Description - Principe

Le capteur de vitesse est un speedomètre de type Pen Lann. Il comporte une roue à aubes. Un aimant incorporé à cette roue produit un champ magnétique alternatif synchrone de la rotation. Un bobinage dans le corps fixe du capteur permet de générer une tension induite de fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation. Ce capteur permet de mesurer des vitesses allant jusque 10 m/s.

Le signal émis est transformé dans la centrale d'acquisition en signal carré de même fréquence. Une bascule JK divise la fréquence par 2. Deux autres bascules effectuent finalement le comptage de la période par quantum de 20 ms.

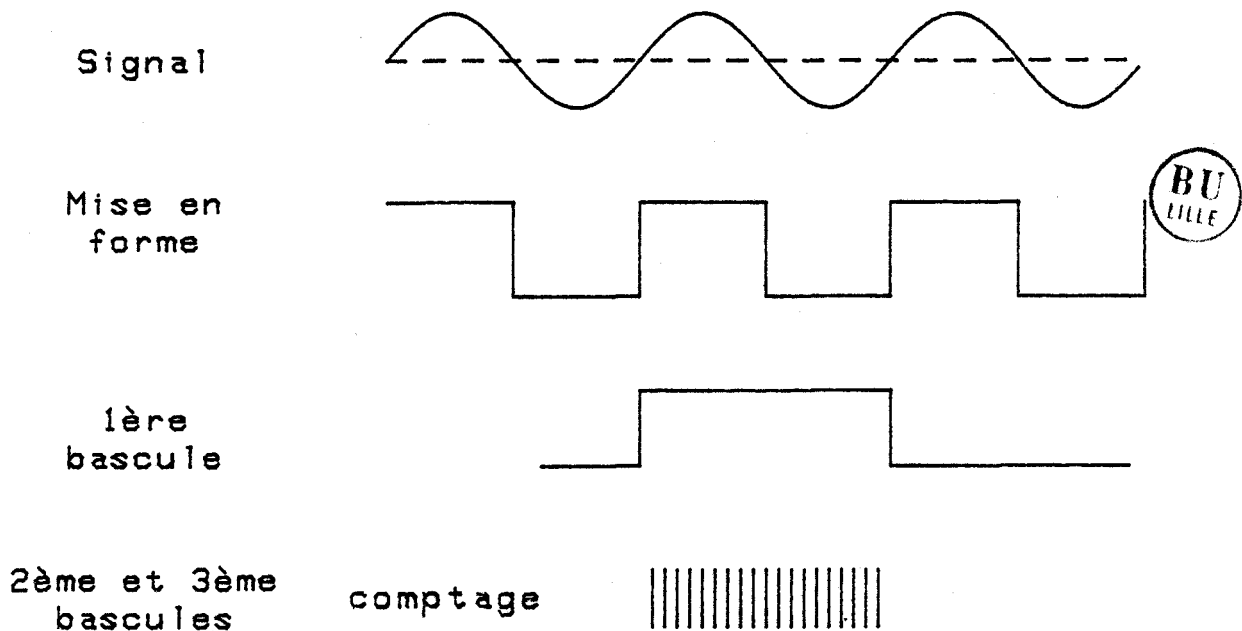


FIGURE 9

b) Précision :

Ce capteur fournit une fréquence de 50 Hz pour une vitesse de 9,8 noeuds, ce qui correspond à une réponse de 9,92 Hz/m/s. Suivant le

principe de mesure et la gamme de vitesse explorée (0 - 7 m/s), il n'est pas possible d'obtenir un temps de rafraîchissement inférieur à 40 ms dans le meilleur des cas. La durée entre deux demandes d'acquisition de la vitesse a donc été fixée à 40 ms de sorte que le temps compris entre la mesure et l'acquisition réelle varie entre 0 et 40 ms. D'autre part pour des vitesses peu élevées, la durée de la mesure occupe plusieurs cycles d'acquisition qui conserveront ainsi la valeur précédemment acquise. Plus tard lors des traitements, il sera donc nécessaire d'effectuer des corrections à la fois en décalant temporellement une acquisition de la moitié de sa période correspondante et en interpolant linéairement les valeurs comprises entre deux acquisitions différentes.

L'erreur relative sur la mesure dépend du rapport A et de l'erreur de digitalisation sur la période T dans la relation

$$V = \frac{A}{T} \quad \text{avec} \quad T = n \times 20 \mu\text{s}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta T}{T} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{n} < \frac{1}{700} \\ \frac{\Delta A}{A} < 1\% \end{array} \right.$$

L'erreur $\frac{\Delta A}{A}$ est assurée par l'étalonnage du capteur lors d'un enregistrement vidéo synchronisé sur une distance de 500 mètres, et a la particularité de rester commune à tout enregistrement.

Remarque : Le comptage de la période étant limité à 9999 quantums de 20 μs , toute vitesse inférieure ou égale à 0,514 m/s est interprétée comme nulle.

II. 2. 3 - Capteur d'effort

a) Description - Principe

Nous cherchons à mesurer l'effort fourni par le pagayeur. Cet effort est transmis à la pagaie sous forme de contraintes qui ne sont pas directement mesurables : il s'agit des efforts musculaires engendrés par le pagayeur. Par contre il est possible grâce aux lois de l'élasticité d'effectuer des mesures de déformation de la pagaie.

Nous avons donc utilisé des jauges d'extensométrie de haute qualité, collées sur la pagaie, qui donnent une information proportionnelle à la déformation. L'intérêt de ce procédé est de ne pas modifier les propriétés mécaniques et élastiques de la pagaie. Cependant, afin d'obtenir des mesures les plus représentatives possibles, nous avons fait réaliser des pagaies en fibre de carbone et de kevlar à l'aide de tissus à directions de fibres privilégiées. Cela nous assure d'une part, une homogénéité des caractéristiques élastiques le long du manche et une linéarité de la déformation par rapport à l'effort. La déformation mesurée par une jauge est l'allongement de la pagaie dans la direction α au point considéré.

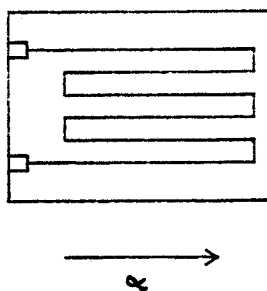


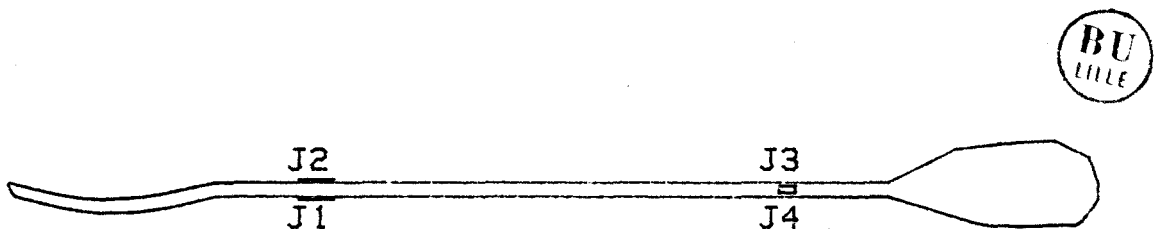
FIGURE 10

La variation relative de résistance de la jauge est liée à l'allongement unitaire dans la direction α par la formule :

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l} + \beta_j \Delta T + k (\alpha_p - \alpha_j) \Delta T$$

- avec : $\frac{\Delta l}{l}$: allongement unitaire dû aux contraintes suivant α
k : facteur de jauge correspondant au matériau
(variation unitaire de résistance par unité de déformation)
 β_J : coefficient de variation thermique de résistivité
(variation unitaire de résistance par unité de température)
 α_p, α_J : coefficients de dilatation thermique de la pièce et de la jauge.

Quatre jauges sont utilisées par pagaie. Chaque couple de jauges est installé à une distance D constante de l'extrémité immédiate de la pagaie sur les lignes de plus grande déformation, c'est-à-dire parallèlement au plan moyen de la pale et dans l'axe du manche. La distance D est telle que les jauges sont placées à l'extérieur de la position maximale de la prise de main.



POSITIONNEMENT DES JAUGES

FIGURE 11

Les quatre jauges sont montées en pont de la manière suivante :

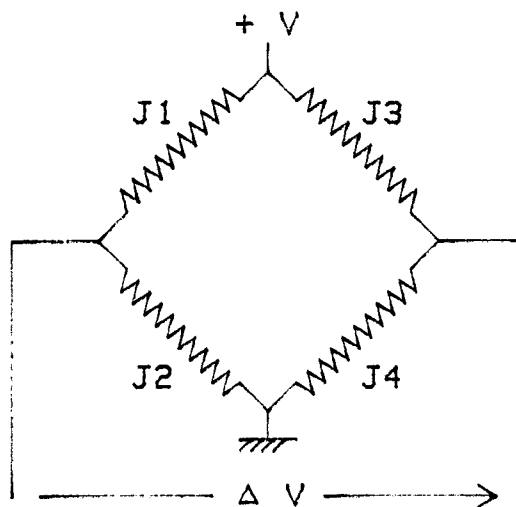


FIGURE 12



Si le pont est initialement équilibré, on a alors :

$$\Delta V = V \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

L'intérêt de cette disposition est multiple :

- Si les jauges sont à la même température, celle-ci n'a pas d'effet sur la mesure.
- Lorsque le sportif pagaie, seul le couple de jauges proche de la pale immergée est soumis à des contraintes mécaniques et pour un même effort, c'est le signe de ΔV qui indique le coup gauche et le coup droit.

- Pour un couple de jauges, quand l'une est en extension, l'autre est en compression, ce qui a pour effet de doubler la différence de potentiel.

$$\text{En effet, } \left(\frac{\Delta l}{l}\right)_1 = -\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_2 = \frac{r}{p}$$

avec p : rayon de courbure de la déformation

r : rayon de manche de la pagaie

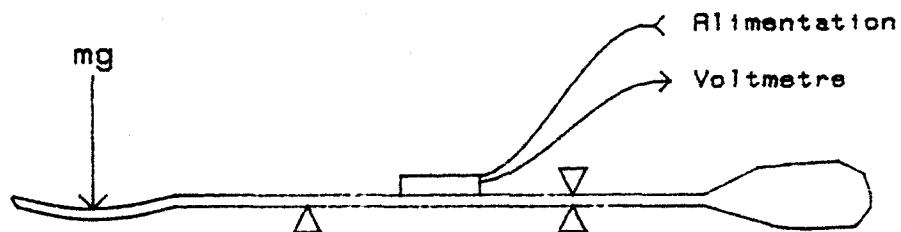
$$\text{On a donc finalement : } \frac{\Delta R_1}{R_1} = -\frac{\Delta R_2}{R_2} \text{ et } \frac{\Delta R_3}{R_3} = -\frac{\Delta R_4}{R_4}$$

$$\text{et : } \Delta V = 2 \times V \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \times \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_4}{R_4}\right)$$

Le signal de déséquilibre de ce pont de jauges est ensuite traité par un amplificateur monté sur le manche de la pagaie.

b) Etalonnage

Pour relier le signal obtenu suite à une déformation de la pagaie à un phénomène physique simple, reproductible et surtout proche du coup de pagaie, nous avons réalisé un banc de mesure. Le manche est maintenu par des appuis simulant la prise de main et des masses sont appliquées à une distance constante de l'extrémité de pagaie au centre de la pale. Nous simulons ainsi la réaction de l'eau sur la pale.



BANC DE MESURE

Nous obtenons par ce banc de mesure une relation $V = f(mg)$. Pour chaque étalonnage, cette fonction est linéaire avec un écart de linéarité inférieur à 2 %. La pente moyenne pour toutes les demi pagaies étalonnées est de 13 mV/newton avec un écart atteignant parfois 6 % de cette valeur. Cet écart résulte de l'aspect artisanal de la fabrication de ces pagaies.

La proportionnalité entre la mesure effectuée et le poids appliqué est vérifiée également par l'étude théorique développée en annexe 1.

c) Energie emmagasinée :

L'étude statique de ce banc de mesure permet de calculer les valeurs des réactions d'appui auxquelles est soumise la pagaie : annexe 1. Ce calcul montre que le rapport entre ces forces d'appui n'est fonction que de la position de leur point d'application et ne dépend pas de la masse appliquée sur la pale.

Ce résultat n'est pas rigoureux en régime dynamique et ne permet donc pas le calcul des efforts réels exercés par les mains. L'étude de l'énergie contenue dans la pagaie apporte une solution à notre problème, puisque celle-ci dépend de l'effort fourni par le payeur. Nous supposons qu'à déformation égale, la pagaie possède une énergie égale à celle qu'elle posséderait statiquement avec une même position d'appuis. On se reportera à l'annexe 1.

Nous trouvons ainsi comme expression de l'énergie

$$\varepsilon = \frac{1}{6 K^2 EI} (\text{mesure})^2 \frac{a^2}{d^2} (a + b)$$

avec : a distance de la main tractrice au centre de la pale

b distance entre les deux mains

d distance du couple de jauge au centre de la pale

E module d'élasticité

I moment d'inertie

mesure = K d m g

II. 3 - TRANSFERT, TRAITEMENT, STOCKAGE DES DONNEES

II. 3. 1 - Matériel informatique

Pour réceptionner, traiter, visualiser et analyser les données enregistrées par la centrale d'acquisition, il est nécessaire de posséder un calculateur rapide, puissant, fiable, d'encombrement réduit et muni d'une mémoire centrale importante.

Après une étude de faisabilité à l'aide d'un calculateur type HP 9815, nous avons décidé l'utilisation d'un modèle plus rapide, de mémoire centrale plus importante et présentant des possibilités intéressantes d'interactivité avec l'utilisateur.

Il s'agit du modèle 9816 de Hewlett-Packard en version S équipé d'un interface de communication série et d'une carte mémoire supplémentaire. Les 768 k-octets de mémoire RAM initiale procurent après chargement du langage de programmation une place mémoire disponible de 319 k-octets qui permettra un traitement et stockage aisés et rapides. Le calculateur possède deux périphériques : une double unité de stockage pour disquettes 3 pouces ainsi qu'une imprimante pouvant réaliser des copies sur papier de courbes visualisées sur l'écran, le dialogue s'effectuant par un port HP-IB.

Parallèlement l'ordinateur pourra dans la phase finale, recevoir des informations de la part du synchronisateur vidéo et dans la phase d'acquisition, échanger des informations avec la centrale : ces deux types de dialogue sont réalisés grâce à l'interface de communication série du calculateur suivant la norme RS 232 C.

Ce type de liaison a été choisi pour sa simplicité de mise en oeuvre à la réalisation de la centrale et le nombre restreint de fils nécessaires permettant une connexion souple et aisée sur le kayak.

II. 3. 2 - Protocole de dialogue : centrale - ordinateur

Pour utiliser la centrale d'acquisition dans des configurations différentes : K1, K2, K4, C1, etc, il est nécessaire de pouvoir modifier aisément le programme contenu dans la centrale. Au lieu de réaliser des mémoires PROM diverses implantables à tour de rôle dans la centrale, nous avons préféré donner à celle-ci un caractère polyvalent en permettant l'introduction, par une liaison série, de programmes d'exécution diversifiés. Ces programmes écrits en code-objet, langage de la centrale, sont stockés sur disquettes et peuvent ainsi être envoyés à la centrale pour être exécutés. Ils sont actuellement de deux types : l'un assure l'acquisition de données et leur stockage dans la mémoire RAM-CMOS, l'autre effectue le transfert de ces données vers le ordinateur.

Nous avons donc mis au point un protocole de dialogue dont le programme réduit est implanté en ROM dans la centrale. Ce protocole, spécifique à cette application, n'est pas normalisé mais respecte cependant certaines conventions nécessaires au bon fonctionnement de l'interface série du ordinateur. Il utilise deux lignes d'échanges de données entrée- sortie, deux lignes d'ordre provenant du ordinateur, une ligne de réponse provenant de la centrale. Ces lignes sont respectivement RD, TD, RTS, DTR, CTS, suivant la norme RS 232 C.

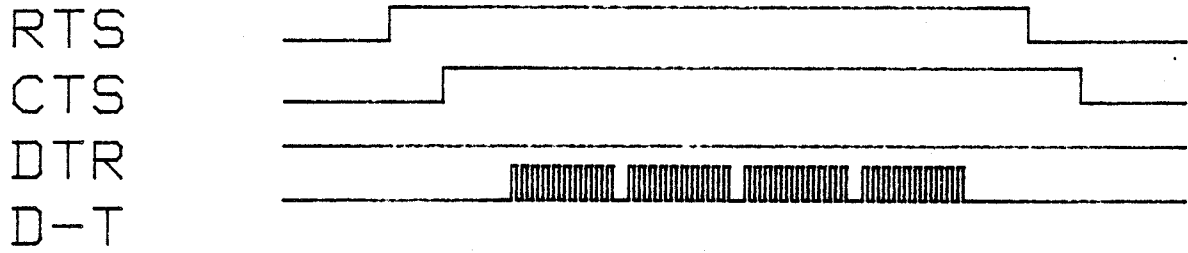
La vitesse de transmission adoptée est de 2400 bauds.

L'ordinateur possède le rôle du maître, de manière à donner à l'utilisateur le maximum de possibilités d'action. Le chargement d'un programme comporte 3 étapes :

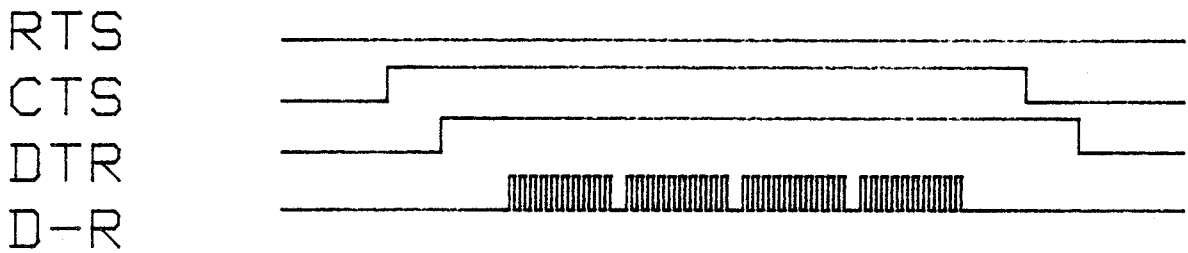
- Emission du programme par le ordinateur
- Réception du programme réémis par la centrale
- Comparaison du programme reçu avec le programme émis et décision.

Dans un premier temps, le ordinateur, désirant envoyer un programme, place sa ligne de sortie RTS à l'état haut et attend que la centrale, prête à recevoir des données, réponde en mettant la ligne CTS à l'état haut.

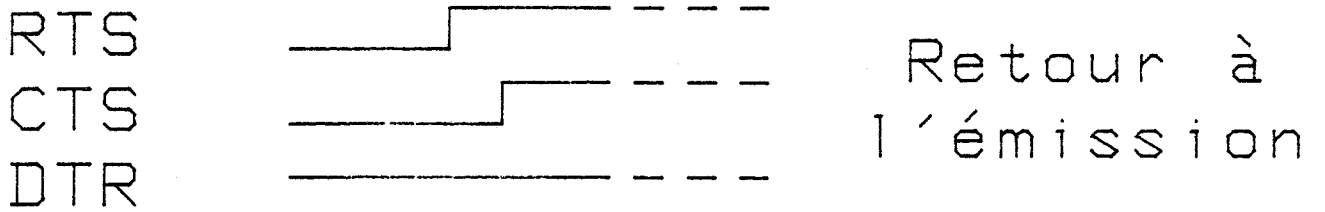
EMISSION



RECEPTION



ERREUR



PAS D'ERREUR

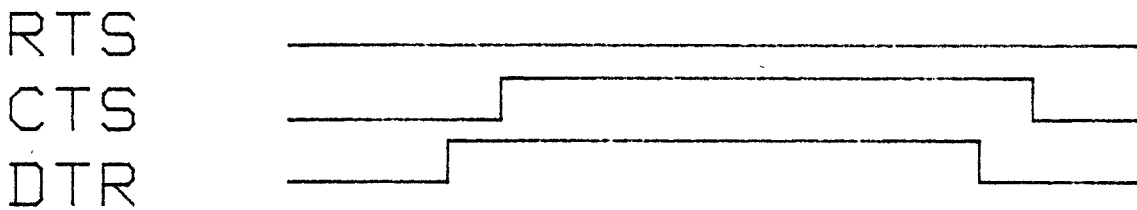


FIGURE 14

Il émet alors ses données, replace RTS à l'état bas montrant ainsi qu'il a terminé son transfert et attend que la centrale, en remettant CTS à l'état bas, soit prête à émettre vers le calculateur les données reçues.

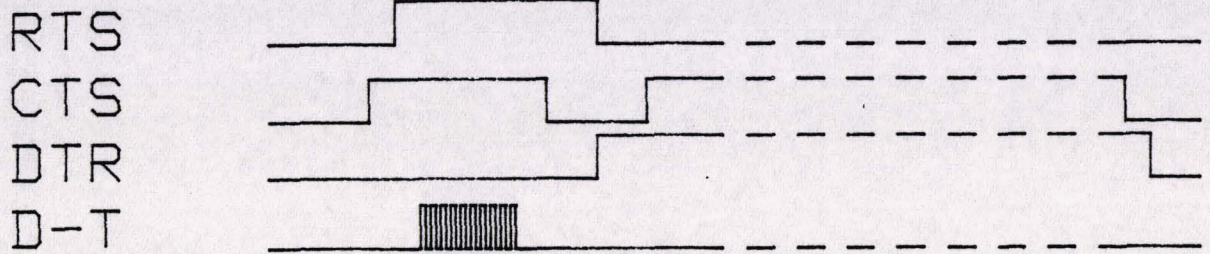
Dans un deuxième temps, l'ordinateur place sa ligne DTR à l'état haut ; il est ainsi prêt à recevoir les données émises par la centrale. Celle-ci met alors CTS à l'état haut et envoie le programme acquis. Lorsqu'elle a terminé, elle ramène CTS à l'état bas. Le calculateur le détecte et replace DTR à l'état bas.

Dans un troisième temps, le calculateur compare le programme qu'il vient de recevoir à celui qu'il a émis. S'il y a une erreur il reprend la procédure au départ. Dans le cas contraire, la centrale possède donc le programme exact ; le calculateur place alors DTR à l'état haut et attend que la centrale mette CTS à l'état haut. L'ordinateur place ensuite DTR à l'état bas signifiant ainsi que la procédure est terminée. La centrale remet alors CTS à l'état bas et commence l'exécution du programme.

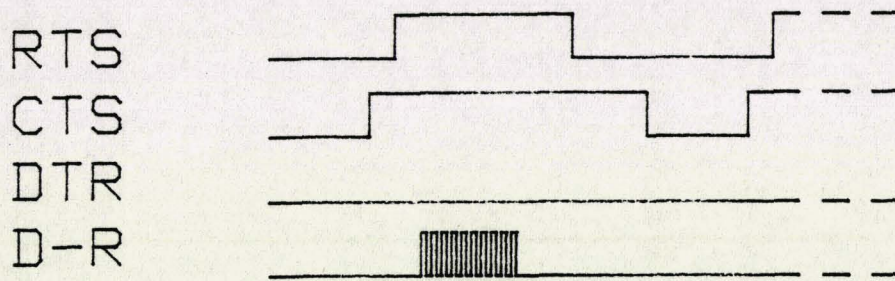
II. 3. 3 - Essais des capteurs :

Lors de premières expérimentations, nous nous sommes rendus compte de l'intérêt de connaître l'état des capteurs avant tout enregistrement, afin de pouvoir déceler rapidement une mauvaise connexion, une électrode mal placée ou bien encore une pagaie défectueuse. Nous avons donc profité de la souplesse du système d'acquisition lié au calculateur pour avoir avant tout enregistrement la possibilité de tester les capteurs dans la configuration même d'une course. Il était possible, bien sûr, d'utiliser des programmes de tests différents du programme d'acquisition. Nous avons préféré inclure ces tests dans ce programme, afin d'obtenir un accès immédiat aux tests et donc à leurs résultats. Cependant, pour ne pas donner à cette phase de tests une structure trop figée, nous avons introduit dans ce programme une nouvelle procédure de dialogue qui permet à l'utilisateur de choisir les tests qu'il désire effectuer.

ENVOI DU CODE



Code accepté



Code non accepté

Retour
à l'envoi
du code



FIGURE 15

Dès que le programme d'acquisition s'exécute, la centrale se met en attente d'un mot-code en plaçant la ligne CTS à l'état haut. Le calculateur place alors RTS à l'état haut, envoie un octet et attend que la centrale remette CTS à l'état bas, signifiant ainsi qu'elle a reconnu l'octet comme mot-code.

Dans le cas contraire, la ligne CTS est maintenue à l'état haut, le calculateur replace alors RTS à l'état bas et la procédure s'exécute à nouveau. Si la centrale a reconnu le mot code, le calculateur place RTS à l'état bas et DTR à l'état haut.

La centrale exécute la portion de programme relative au mot code en mettant CTS à l'état haut. Lorsque l'exécution est terminée, la ligne CTS est remise à l'état bas et le calculateur peut alors replacer DTR à l'état bas. S'il s'agit d'une routine de test, la centrale se remet en attente d'un autre mot-code. Dans le cas contraire, le programme est achevé et la centrale obéit au protocole de dialogue initial.

Les mots codes sont de 5 types :

- L'octet de valeur décimale 1 permet d'effectuer le test des capteurs de force et de vitesse : la centrale réalise toutes les 4 ms l'acquisition des forces pendant une seconde, moyenne ces acquisitions, mesure la période du signal émis par le speedomètre, effectue une check-sum et envoie les résultats au calculateur sous forme de 8 octets.

- L'octet de valeur décimale 2 permet la comptabilisation pendant 15 secondes des contractions cardiaques de l'équipage et communique le résultat au calculateur sous forme de 2 octets.

- L'octet de valeur décimale 3 configure la centrale en attente de la réception radio du signal de déclenchement de l'acquisition complète.

- L'octet de valeur décimale 7 initialise la centrale en mode d'attente de programme.

- Les octets de valeur décimale $n \times 16$ assurent le déclenchement automatique de l'acquisition après un délai de $n \times 5$ secondes.

II. 3. 4 - Le logiciel "FFCK2"

a) Organigramme

Cet organigramme est présenté simplifié figure 16.

Lorsque le logiciel s'exécute, l'entraîneur sélectionne dans un premier temps la phase d'acquisition et de tests ou la phase de vidange et stockage des mesures. Après une vérification du système d'acquisition, le programme correspondant est implanté dans la centrale selon la procédure décrite précédemment. Avant l'enregistrement de la course, l'entraîneur peut effectuer des tests des capteurs et finalement lancer le mode d'acquisition : déclenché ou retardé.

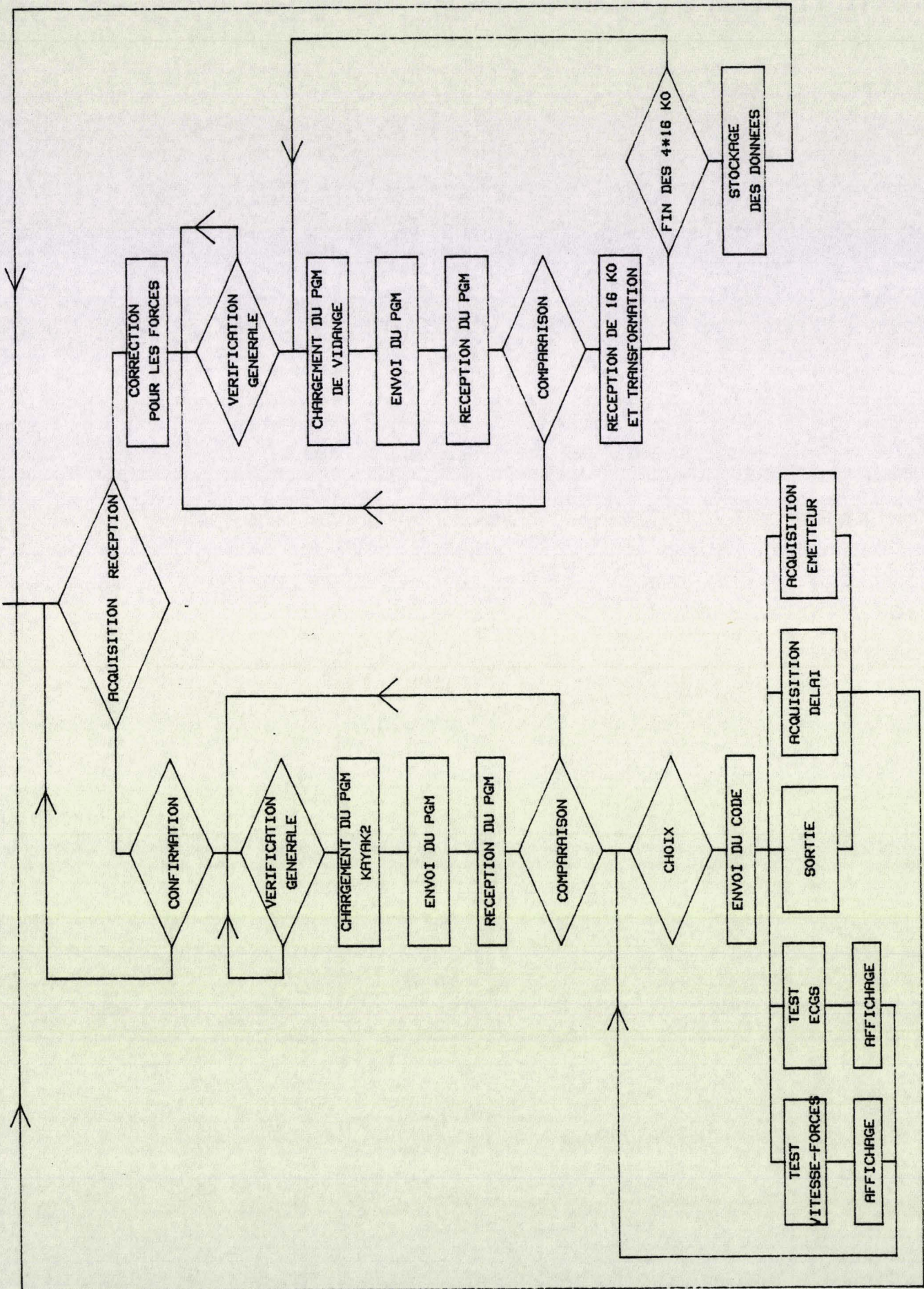
Après la course, le calculateur réceptionne les mesures réalisées en quatre transferts successifs en modifiant entre les transferts, le programme de vidange qu'il envoie à la centrale. Les données sont traitées à leur réception puis stockées finalement sur une disquette attribuée à la course.

Ce logiciel utilise 240 k-octets de place mémoire dont 200 k-octets réservés à la bufférisation et mémorisation des données.

b) Interactivité

La phase d'acquisition et de stockage des données est une période délicate dans la mesure où elle s'effectue "sur le terrain" dans des conditions d'installation non appropriées par un utilisateur pouvant ignorer les détails de fonctionnement et surtout dans la mesure où elle se termine en tout ou rien. Nous avons donc orienté notre effort vers la rapidité d'exécution, la facilité et la souplesse d'utilisation du matériel et du logiciel.

Après le chargement du langage de programmation et du logiciel "FFCK2", ce logiciel s'exécute et engage un dialogue avec l'utilisateur sous forme de messages et de demandes d'intervention. Ces interventions s'effectuent grâce à un système interactif de clés symbolisant chacune une option dans la continuité du déroulement des opérations. De ce fait, tout en minimisant ses interventions, nous laissons à l'utilisateur une liberté d'action qui allie rapidité et efficacité.



ORGANIGRAMME DE FFCK2

FIGURE 16

D'autre part, nous avons prévu dans ce logiciel, la détection d'erreur ou omission éventuelles de l'utilisateur, afin que tout néophyte ou étourdi soit capable de mener correctement à terme cette phase d'acquisition :

- vérification des connexions calculateur - centrale
- vérification du fonctionnement de la centrale au niveau du dialogue et de la mise sous tension
- présence d'un disque adapté à la réception des mesures
- état des capteurs par les tests.

II. 3. 5 - Réception, traitement, stockage des données :

a) Organisation des données dans la centrale

Les différents protocoles de course étant de 500, 1000 et 10 000 mètres, nous avons tenu à ce que la durée des acquisitions permette l'enregistrement total d'une course de 1000 mètres. La mémoire de la centrale, affectée aux mesures, étant limitée à .64 k-octets, nous avons réalisé un formatage des données optimum. Ce formatage est expliqué en annexe de manière détaillée : il se résume à 4 ensembles de 1820 blocs chacun. Un bloc comprend 9 octets, correspond à une durée d'enregistrement de 40 ms et contient la valeur d'une acquisition de vitesse, les valeurs de 2 acquisitions successives de 2 forces et des 2 états cardiaques. Nous pouvons ainsi enregistrer une durée maximale de 291, 2 s.

b) Réception, traitement, stockage :

La réception des mesures s'effectue en quatre transferts successifs de 16400 octets chacun. Chaque transfert comporte, outre les mesures, une check-sum réalisée par la centrale. Les données subissent au fur et à mesure de leur arrivée dans l'interface série, un traitement destiné à obtenir après les transferts, une matrice finale de 14 560 x 5 entiers facilement exploitables. Parallèlement au traitement, la check-sum est effectuée par le calculateur et comparée en fin de transfert ; si la check-sum du calculateur est différente de celle de la centrale, le transfert correspondant est répété.

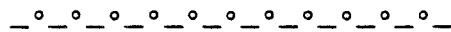
Lorsque les quatre transferts sont effectués, la matrice finale, ainsi qu'un fichier de renseignements relatifs à la course, sont stockés sur disquette.

La durée de réception et de stockage étant de 5 minutes environ, nous parvenons ainsi à réaliser un enregistrement exploitable d'une course en moins d'un quart d'heure.

II. 4 - EXPLOITATION DU SYSTEME

L'ensemble de ce système : kayak équipé, capteurs, centrale d'acquisition, ordinateur, logiciel d'acquisition et réception des mesures, a, dans une première phase, été testé au club de canoë-kayak de Lille. Des modifications ont alors pu être apportées pour minimiser les gênes occasionnées aux pagayeurs et pour simplifier au maximum la tâche de l'utilisateur. Après avoir été présenté officiellement au ministère du temps libre, de la jeunesse et des sports, le système a pu être exploité sur les pagayeurs de la sélection olympique, effectuant ainsi une vingtaine d'enregistrements. Ces enregistrements ont été réalisés par Bertrand LOURME, dont la mission est de former les entraîneurs à l'utilisation du système, sont tout-à-fait exploitables et forment une base de données à l'origine des réflexions présentées.

CHAPITRE III



PROGRAMME DE TRACES

ET DE TRAITEMENTS DES MESURES

III - PROGRAMME DE TRACES ET DE TRAITEMENTS DES MESURES

III. 1 - OBJECTIFS

Nous voulons, pour la phase de restitution et d'analyse des données, offrir à l'entraîneur un outil logiciel qui lui permette d'accéder le plus simplement et rapidement possible aux informations qui peuvent lui être utiles. Une solution simple, que nous avons d'ailleurs réalisée, consiste à effectuer le tracé des mesures brutes de toute la course à une échelle suffisamment grande pour décrire correctement un coup de pagaie (exemple : 2 cm/s). Nous obtenons ainsi un tracé de 6 mètres de long dont toute étude devient un travail fastidieux. Pour pallier à cet inconvénient, nous nous sommes fixés trois objectifs.

a) Deux approches des mesures :

Nous distinguons deux approches : l'une synthétique qui est une vision générale de la course et l'autre, plus fine qui permet une étude de détail. Ces deux visions sont complémentaires et de transition continue.

b) Une interactivité importante :

Pour optimiser cette phase d'analyse, ce logiciel doit laisser une grande liberté d'action et de choix à l'utilisateur tout en minimisant les interventions nécessaires qui s'opposent à la rapidité d'exécution.

c) Une orientation conseillée de l'analyse :

L'étude globale d'une course par le tracé des mesures ou les traitements significatifs d'un comportement des pagayeurs, doit aider à déterminer d'une part les plages horaires dont l'observation plus fine s'avèrerait d'un grand intérêt, et d'autre part les caractéristiques d'un équipage.

III. 2 - SOLUTIONS RETENUES

III. 2. 1 - Mémoire centrale - Loupe - Valeurs numériques

Une étude préalable sur le stockage des données, relatives à une course, en plusieurs fichiers, s'est révélée très coûteuse en temps lors du passage d'un fichier à l'autre. Nous avons donc décidé une configuration du système informatique permettant le chargement global des données en mémoire centrale. L'accès direct et rapide à toutes les données procure ainsi une grande souplesse d'utilisation.

Le logiciel est basé essentiellement sur le tracé de courbes en fonction du temps. A partir d'un tracé sur une plage horaire globale, l'entraîneur peut aisément sélectionner une plage horaire plus restreinte incluse dans la précédente. Ce phénomène de loupe peut évidemment être effectué autant de fois que l'entraîneur le désire.

Au fur et à mesure du tracé graphique, il est possible d'accéder aux valeurs numériques de toutes les données.

III. 2. 2 - Ecriture - Stockage des données - Mesure de traitements

Les courbes visualisées peuvent être reproduites sur papier par imprimante. Afin de ne perdre aucune information utile, un procédé semi-automatique d'écriture permet à l'entraîneur d'écrire sur l'image, où il le désire, tout commentaire, proposé ou non par le logiciel.

L'entraîneur peut également stocker des images sur la disquette relative à la course. Ces images peuvent alors être visualisées ultérieurement ; les variables affectées à ces images étant restituées également, l'utilisateur peut travailler sur la base de l'image visualisée et notamment procéder à de nouvelles actions de loupe.

Parallèlement aux tracés des données, le logiciel propose un menu de traitements sous forme de deux pages alphanumériques.

III. 2. 3 - Outils interactifs

Pour utiliser ce logiciel, l'entraîneur dispose essentiellement de 10 touches de fonctions ou clés dont le libellé est visualisé sur l'écran.

A chaque étape du programme, une gamme d'actions est présentée à l'utilisateur et lui permet d'évoluer simplement, rapidement et librement dans ce logiciel.

Parallèlement à ces clés, la rotation d'un "knob" permet dans certaines configurations, la modification aisée d'amplitudes, plages horaires, etc.

Seuls les commentaires personnels de l'utilisateur sont introduits de manière classique par le clavier.

Nous avons ainsi développé un outil d'analyse assistée par ordinateur qui permet à tout néophyte en informatique de s'adapter facilement et rapidement à ces multiples possibilités.

III. 3 - STRUCTURE DU PROGRAMME "COURBE 2"

La structure simplifiée est représentée sur la figure 17. Schématiquement ce logiciel est construit sur un ensemble de gammes d'actions dont la structure en sous-programme est du type arborescente. Outre la souplesse d'utilisation, l'intérêt de cette structure est de pouvoir facilement, autour des routines utilitaires de base, développer de nouvelles actions et permettre ainsi l'implantation continuelle de nouveaux traitements. La mémoire centrale du calculateur ne permettant pas le chargement de tous ces traitements, le logiciel de base a été limité à 296 k-octets, données et variables comprises et les traitements annexes sont chargés et détruits au fur et à mesure de leur utilisation.

Tracé de course	Tracé partiel		Calculs divers	Vidéo
	Ecg 1	Force 1		Annulation
Vitesse	Ecg 2	Force 2		
Plage automatique	Plage manuelle	Amplitude mesure		Annulation
				Terminé
Début 12.32 s	Fin 35.46 s			Annulation
				Terminé
Haut -250 n	Bas 250 n			Annulation
				Terminé
				Annulation
Graphe oui	Graphe non	Alpha oui	Alpha non	
Gauche	Haut	Gomme	Grille off	
Droite	Bas	Ecriture	Grille on	Terminé
Stockage d'image	Recherche d'image	Image à copier	Ancienne image	Annulation
				Terminé
		Image à copier	Ancienne image	Annulation
A conserver	A détruire			
Oui	Non			
Choix décidé	Autre page			Terminé
Gauche	Droite			

BU
VILLE

DIFFERENTES GAMMES DE CLES

FIGURE 17

DEFINITION DES CLES

Terminé	: Aucune action
Annulation	: Passage à l'étape suivante
	: Retour à l'étape précédente
Tracé de la course	: Initialisation à la course entière et aux amplitudes standards
Tracé partiel	: Permet la sélection d'une plage horaire et d'amplitudes quelconques
Calculs divers	: Propose un menu de traitements
Vidéo	: Permet la relation avec le synchronisateur vidéo
Vitesse	: Sélectionne le paramètre vitesse
Ecg 1	: Sélectionne le paramètre ecg 1
Ecg 2	: Sélectionne le paramètre ecg 2
Force 1	: Sélectionne le paramètre force 1
Force 2	: Sélectionne le paramètre force 2
Plage automatique	: Permet la définition de la plage horaire incluse
Plage manuelle	: Permet l'introduction de la plage horaire
Amplitude mesure	: Sélectionne réglage des amplitudes désirées
Début	: Permet de visionner le début de la plage horaire
Fin	: Permet de visionner la fin de la plage horaire
Haut	: Permet de définir le haut de l'échelle des ordonnées
Bas	: Permet de définir le bas de l'échelle des ordonnées
Graphe oui	: Autorise à nouveau le tracé
Graphe non	: Supprime le tracé
Alpha oui	: Restitue les valeurs numériques
Alpha non	: Supprime les valeurs numériques
Stockage d'image	: Sélectionne le stockage de l'image visualisée
Recherche d'image	: Sélectionne la recherche d'image contenue sur le disque
Image à copier	: Imprime l'image visualisée sur l'imprimante
Ancienne Image	: Permet la visualisation de l'image que l'on essaie de stocker
A conserver	: Interdit la destruction sur la disquette de l'image visualisée
A détruire	: Stocke l'image que l'on veut stocker à la place de l'image visualisée
Gauche	: Déplace le pointeur vers la gauche
Droite	: Déplace le pointeur vers la droite
Haut	: Déplace le pointeur vers le haut
Bas	: Déplace le pointeur vers le bas
Ecriture	: Ecrit le message proposé ou autre à partir du pointeur
Gomme	: Efface le message précédemment écrit
Grille on	: Trace une grille de repérage sur l'image
Grille off	: Efface la grille
Choix décidé	: Sélectionne le traitement désiré
Autre page	: Offre une autre page de traitements

FIGURE 18

III. 4 - TRAITEMENTS DES DONNEES

Tout traitement est réalisé sur la dernière plage horaire visualisée. Dans un premier temps l'utilisateur doit donc déterminer la plage horaire sur laquelle il désire effectuer un calcul. Lorsque cette sélection est faite, une liste de traitements divers lui est alors proposée.

III. 4. 1 - Données brutes

Lors de la phase de sélection de la plage horaire, l'utilisateur a accès à la restitution de chacun des différents paramètres : vitesse, contractions cardiaques, forces.

a) vitesse :

Suite au chargement des données en mémoire centrale, nous effectuons à la fois un décalage temporel et une interpolation de la vitesse. Cette modification est consécutive de l'étude réalisée au paragraphe II.2.3.a) destinée à restituer la réalité physique. La définition de l'écran ne permet pas de distinguer des acquisitions de vitesse dont les valeurs sont séparées de moins de $\frac{E_V}{200}$ m/s et les origines temporelles de moins de $\frac{E_T}{300}$ s, avec E_V et E_T échelles respectives des vitesses et des temps. De ce fait, pour le tracé de la course entière, comme le montre la figure 19, $E_V = 6$ m/s et $E_T = 291.2$ s et les montées et descentes consécutives à chaque coup de pagaie ne sont généralement pas distinguées. Il est cependant nécessaire d'affecter chaque valeur afin de visualiser l'enveloppe des minimums et maximums de vitesse. La vitesse réelle étant supposée linéaire entre deux acquisitions consécutives, le tracé n'est pas réalisé par points mais en ligne continue, ce qui améliore la présentation pour des plages horaires réduites : figure 20.

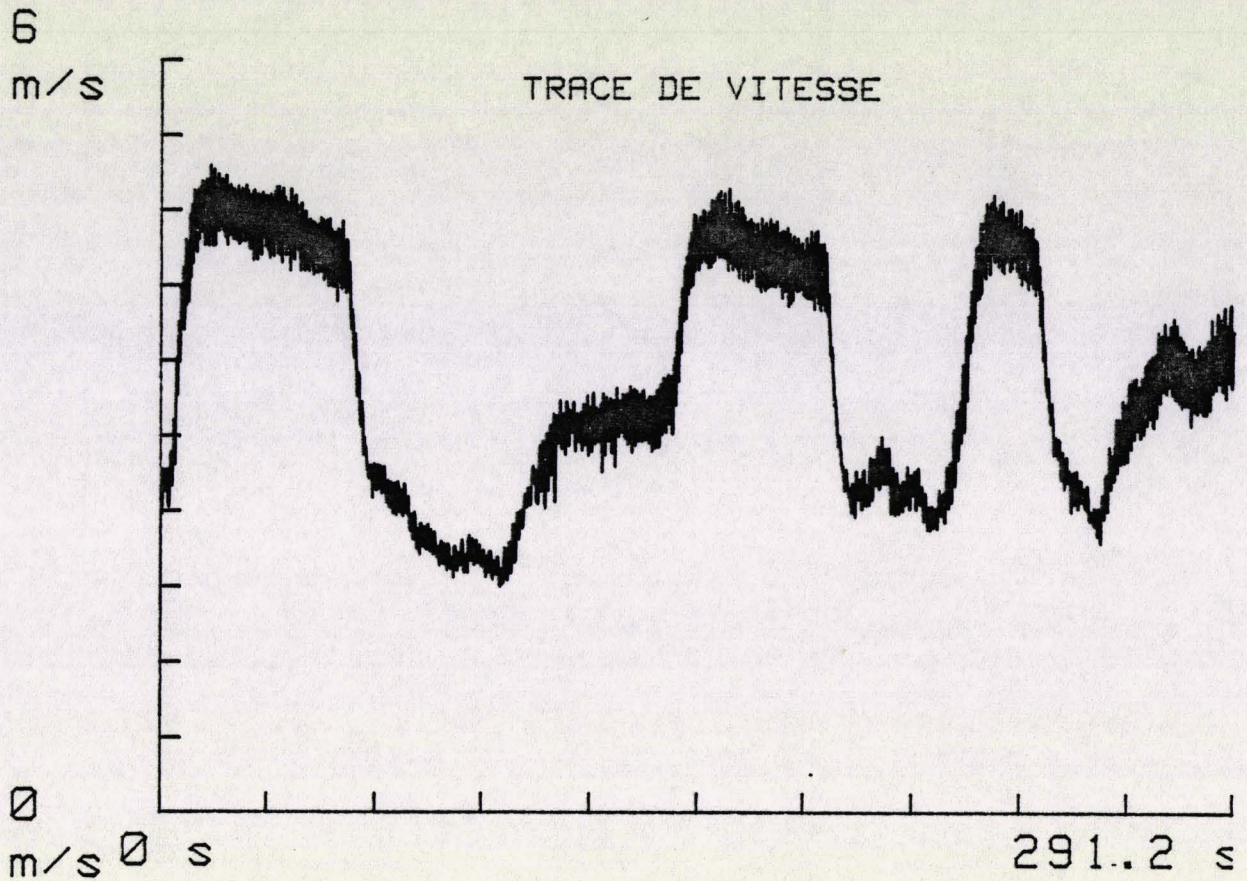


FIGURE 19

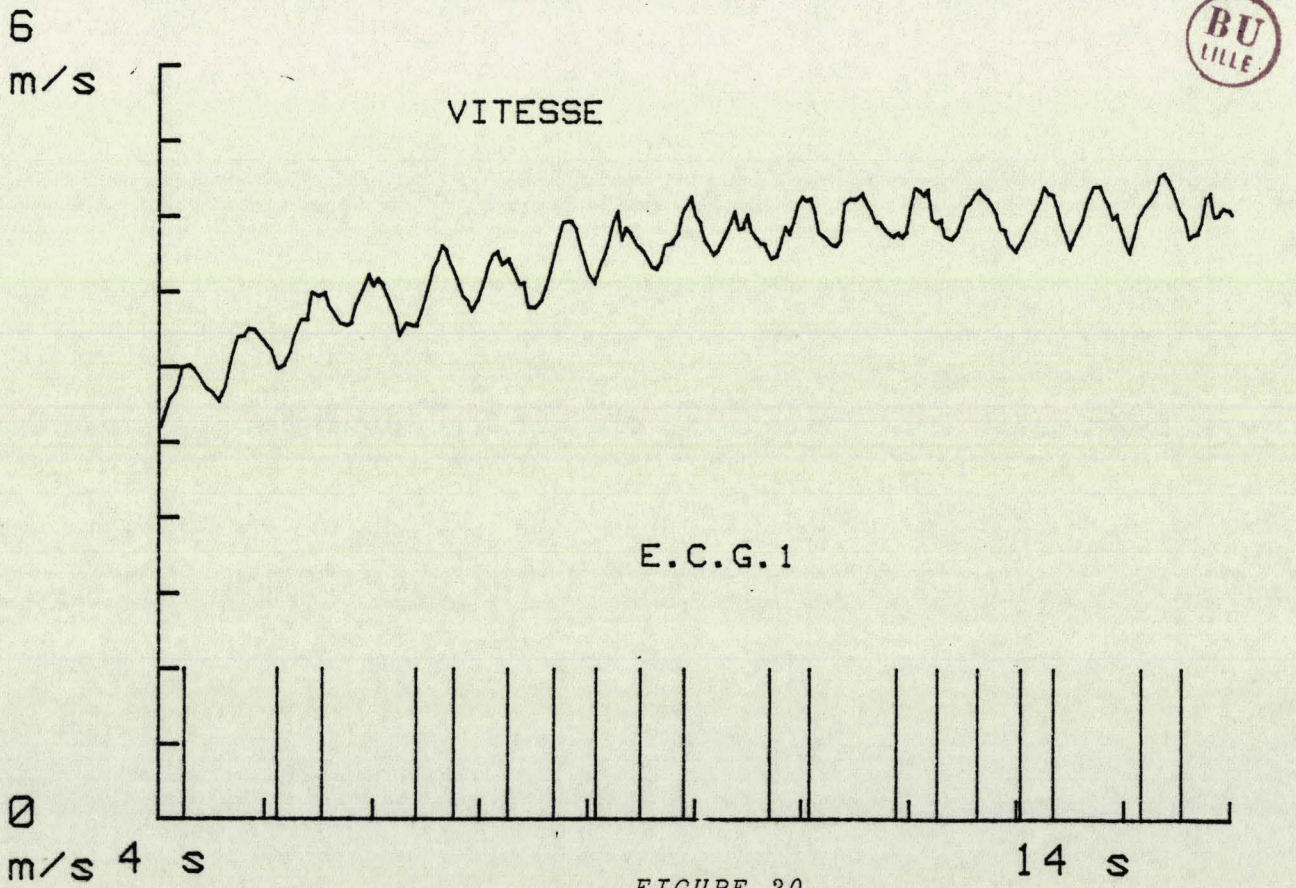


FIGURE 20

b) contractions cardiaques :

Nous n'avons pas conservé l'impulsion logique correspondant à la détection d'une contraction cardiaque mais uniquement le front montant de cette impulsion (voir annexe 2). Graphiquement, nous restituons ces fronts sous la forme de traits verticaux : figure 20.

La condition de définition concerne l'axe des temps et pour différencier deux contractions cardiaques, il est nécessaire d'effectuer le tracé sur une plage horaire inférieure à 45 secondes.

c) forces :

La mesure de déformation de la pagaie sera souvent assimilée à une valeur de force dans la mesure où elle est proportionnelle à l'appui de la pale sur l'eau. Le logiciel propose initialement un axe des ordonnées gradué de -500 à +500 newtons, les mesures positives et négatives correspondant respectivement à un coup de pagaie gauche et droit.

Les problèmes liés à la définition sont identiques à ceux de la vitesse et aboutissent, pour des plages horaires importantes, à la seule détermination de l'enveloppe des maximums de force.

La figure 21 présente le tracé de la force 1 et de la force 2 à partir des échelles respectives $|-750, 250 \text{ n}|$, $|-250, 750 \text{ n}|$. On peut remarquer la constance de l'effort maximal du pagayeur arrière par rapport à la décroissance régulière de l'effort du pagayeur avant au cours du temps. La figure 22 montre un coup de pagaie 1 en trait continu et le coup de pagaie 2 correspondant en pointillé. Nous remarquons la différence de forme, d'amplitude, d'évolution temporelle.

III. 4. 2 - Calculs généraux

Nous proposons dans un premier temps des traitements simples qui présentent ces paramètres sous des formes différentes plus appropriées à une analyse rapide et efficace :

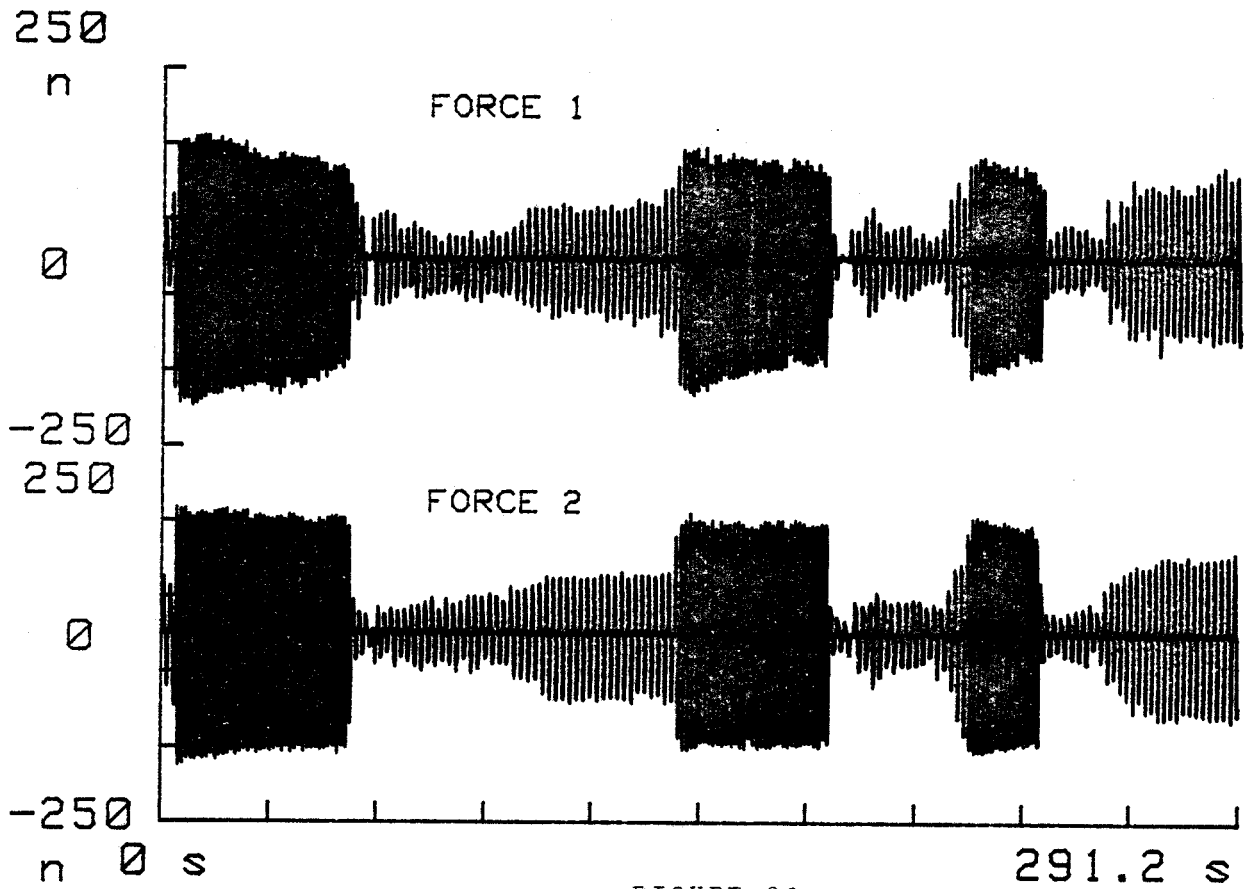


FIGURE 21

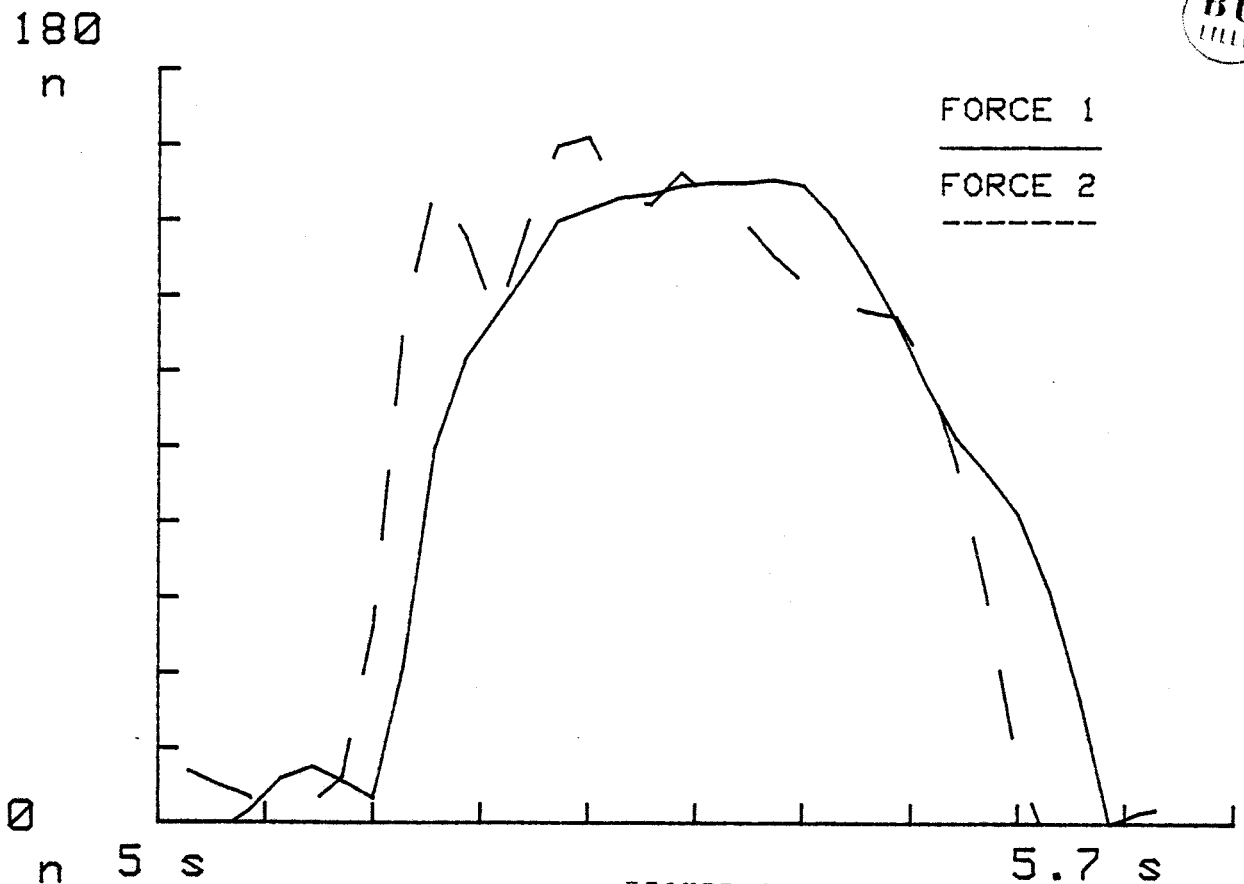


FIGURE 22



a) vitesse en fonction de la distance :

Lors d'un dialogue avec les pagayeurs, l'entraîneur désirera situer un évènement non plus temporellement mais selon la distance parcourue. Un traitement permet donc le calcul de la distance parcourue entre deux évènements et restitue sur la plage horaire définie la courbe de vitesse en fonction de la distance.

Il sera ainsi possible de déterminer pour plusieurs courses, les plages horaires correspondant à une distance donnée et réaliser sur ces plages des calculs permettant des comparaisons entre équipages.

La figure 23 montre une illustration de ce traitement réalisé sur la durée totale de la course.

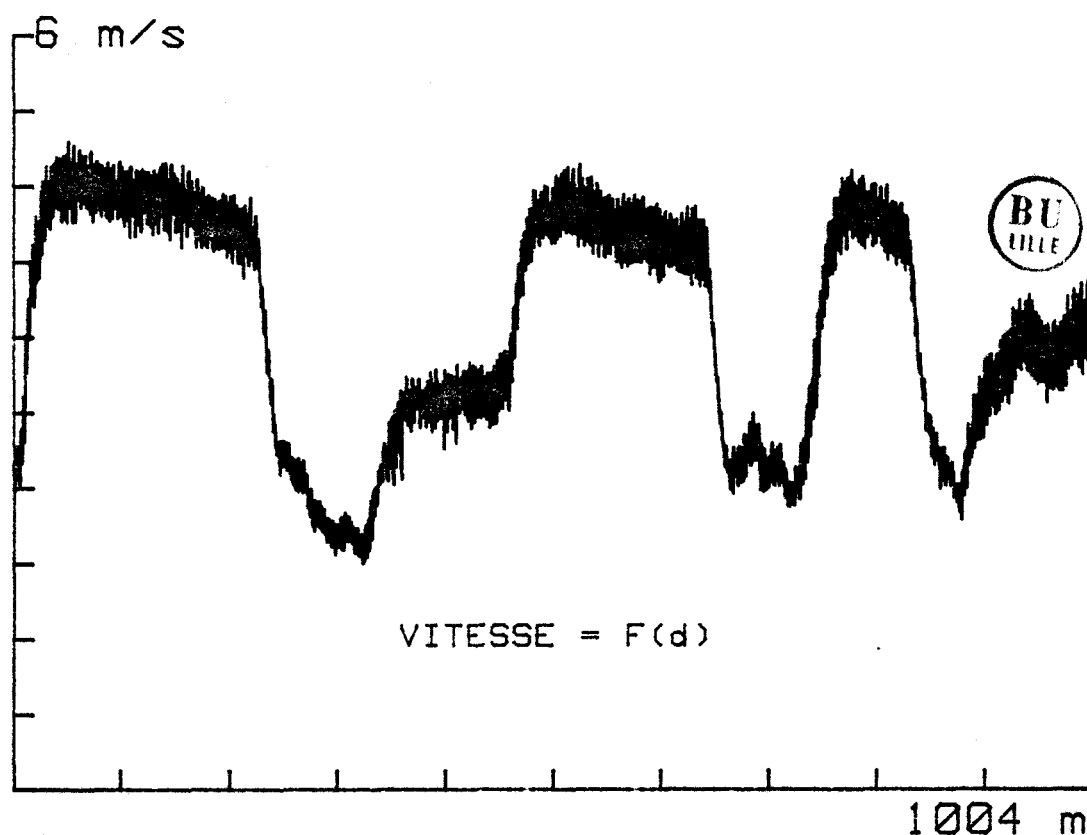


FIGURE 23

Les distances séparant les concurrents à l'arrivée d'une course sont souvent très faibles. Or l'erreur théorique maximale due aux erreurs sur chaque acquisition de vitesse est d'environ 5 m sur une course de 1000 m : il est donc important de connaître l'erreur effective réalisée.

Cette erreur de 5 m correspond à l'accumulation d'erreurs qui seraient toutes maximales et de même signe sur chaque acquisition de vitesse ; en fait on peut montrer par une étude statistique (cf annexe 3) que l'erreur finale la plus probable n'est que de quelques centimètres pour une distance de 1000 mètres.

b) vitesse lissée :

Chaque coup de pagaie étant à l'origine de fluctuations de vitesse importantes, nous avons voulu donner une vision plus générale de la course. Nous réalisons donc une moyenne glissante sur une base de temps choisie par l'utilisateur qui permet de mieux cerner l'évolution générale de la vitesse. La figure 24 montre un exemple de filtrage effectué sur une base de 5 s

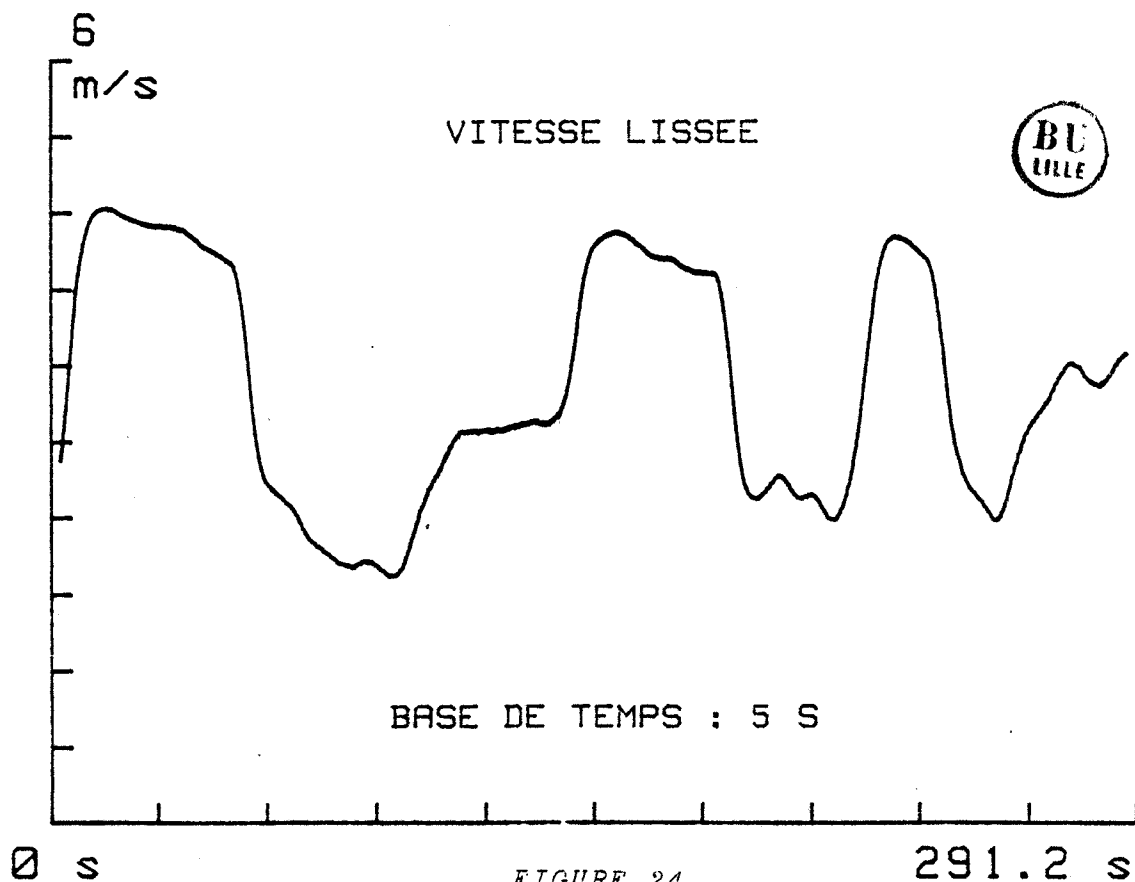


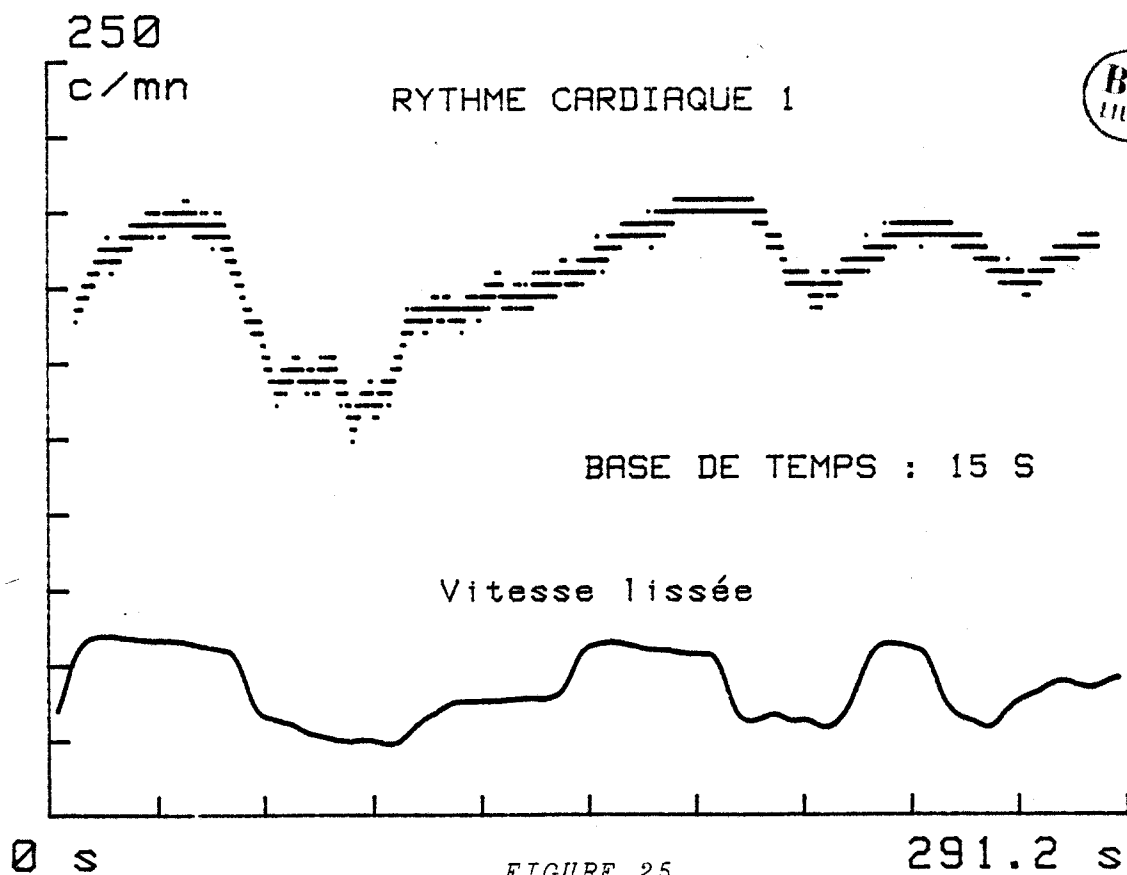
FIGURE 24

c) rythme cardiaque

Pour établir le rythme du pagayeur, nous réalisons une moyenne glissante du nombre de contractions, au cours d'une durée choisie par l'utilisateur, ramenée au nombre de contractions par minute. L'exemple montré en figure 25 correspond à une base de temps de 15 s.

On constate un rythme maximal de 200 pulsations par minute pendant les phases de vitesse élevée, et une récupération de plus en plus difficile après l'effort correspondant à chaque montée en vitesse.

Nous proposons également un calcul instantané effectué à partir de l'intervalle entre deux contractions, ramené au nombre de contractions par minute. Il ne s'agit donc pas réellement d'un rythme mais cela permet d'observer la régularité de l'activité cardiaque. Dans l'exemple de la figure 26 on peut remarquer la grande irrégularité de celle-ci, ainsi que l'absence de temps de repos correspondant environ à 125 pulsations par minute.



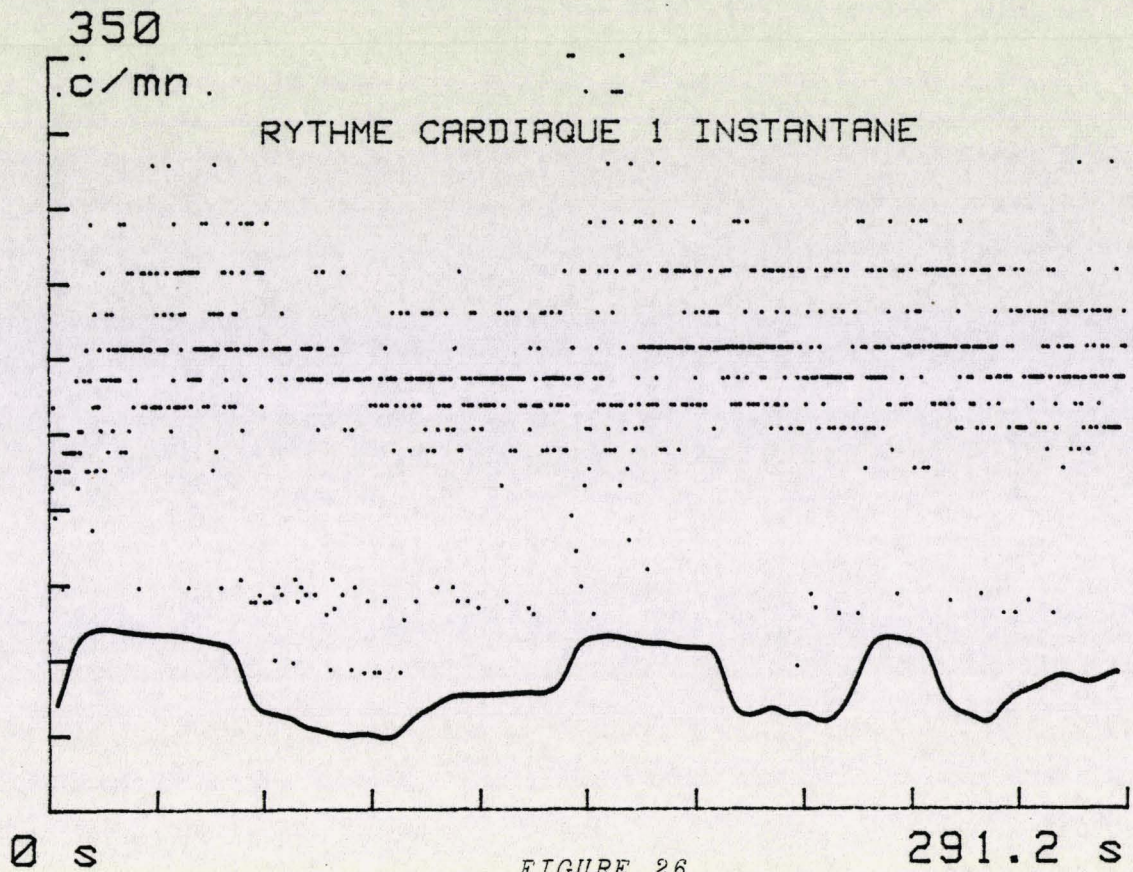


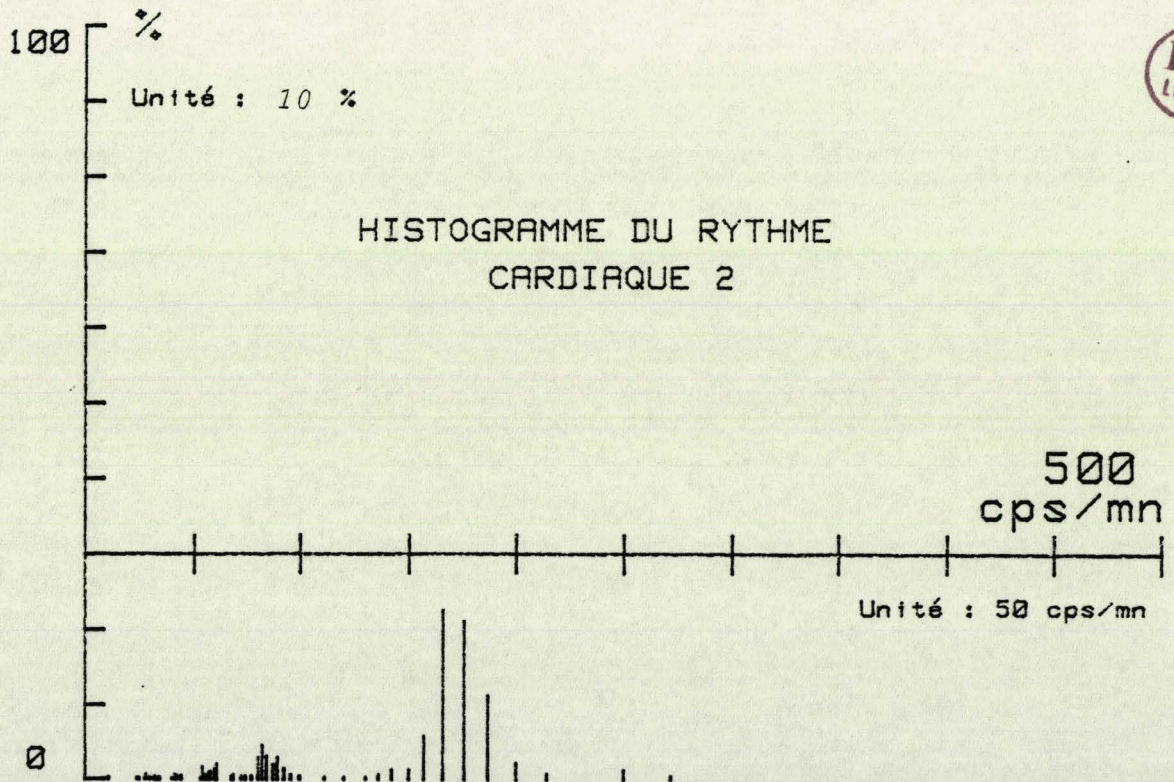
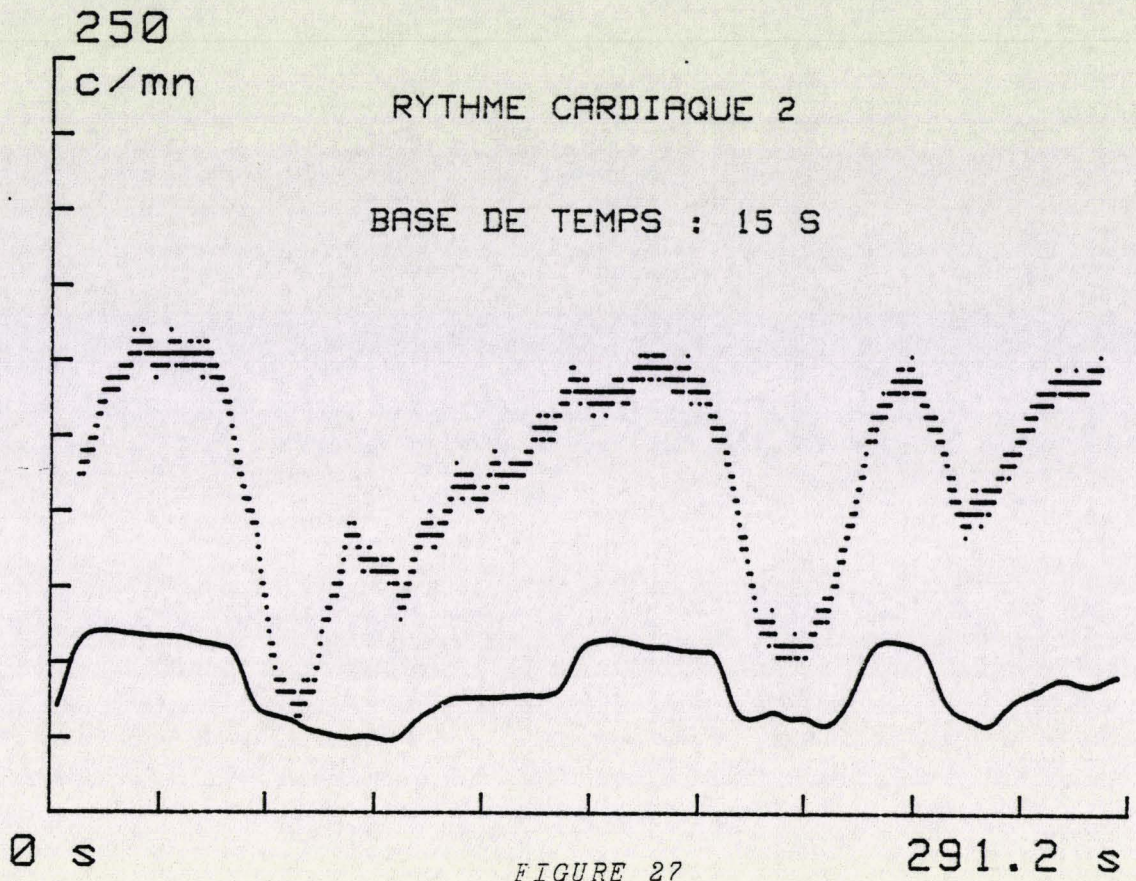
FIGURE 26



d) histogramme du rythme cardiaque

Nous avons vu au paragraphe II.2.1.c que la fiabilité du capteur cardiaque dépend de la qualité du contact des électrodes. Pour déterminer rapidement la vraisemblance des détections obtenues, nous effectuons un histogramme des intervalles de temps entre les contractions, ramenées au nombre de coups par minute.

Les figures 27 et 28 montrent le rythme cardiaque du pagayer arrière et l'histogramme correspondant. Ce pagayer semblait posséder une grande capacité de récupération, en fait lorsqu'il s'arrête de pagayer, il se redresse, l'électrode est moins bien appliquée et les contractions ne sont plus détectées : l'histogramme en témoigne puisque les classes comprises entre 10 et 50 pulsations par minutes sont touchées. Dans ce cas, la conclusion est simple : le rythme ne peut être exploité.



Outre cet avantage, l'histogramme donne également une image du comportement cardiaque du pagayeur qui pourra être exploitée par des compétences médicales : la figure 29 montre l'histogramme du rythme cardiaque du pagayeur avant. Nous pouvons constater d'une part que le régime de rythmes cardiaques lents passe de manière brutale à un régime plus élevé sans transition de rythmes intermédiaires vers les 80 cps/mn, et d'autre part qu'il existe une majorité d'intervalles entre contractions correspondant à 180 - 200 cps/mn.

La Fédération Française de canoé-kayak dispose de brassières à électrodes sèches, dont la mise en place est plus rapide. Habituellement reliées à un rythmostat à affichage à cristaux liquides, nous les avons adaptées à notre détecteur de contractions. Des acquisitions réalisées avec ces brassières montrent qu'elles sont en réalité plus sujettes au mauvais contact avec la peau que les électrodes classiques. Pour les acquisitions futures, il sera donc important de veiller à la mise en place parfaite des électrodes.

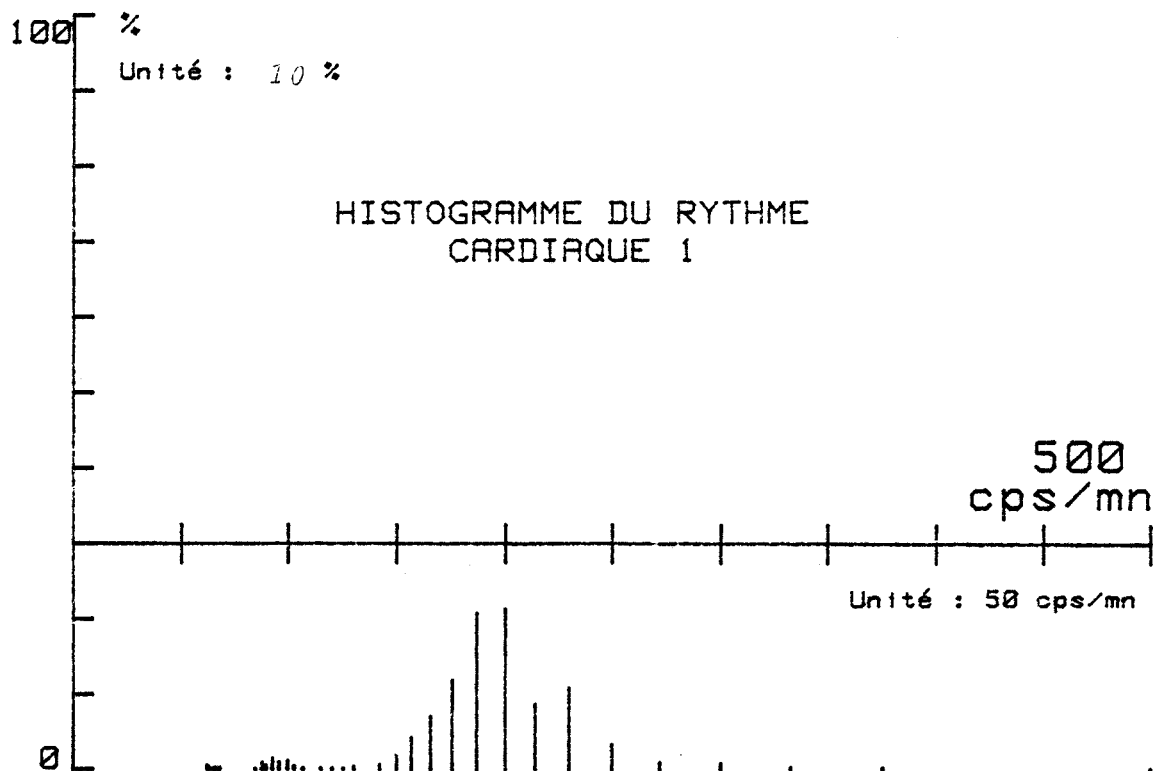


FIGURE 29

e) Histogramme de la force :

Nous effectuons l'histogramme de la force en calculant pour une plage horaire définie, comportant un nombre entier de coups de pagaie, le pourcentage d'acquisitions appartenant à des classes d'effort distantes de 10 newtons. Les figures 30 et 31 montrent l'histogramme des forces de deux pagayeurs d'un même équipage pour une course de 500 m. L'interprétation de ces graphiques est rendue délicate par la densité d'informations qu'ils contiennent :

- amplitude maximale : 180 n pour le pagayeur avant
120 n pour le pagayeur arrière
- pourcentage du temps passé dans l'air : somme des classes -20, -10, 0, 10, 20
34 % pour le pagayeur avant
37 % pour le pagayeur arrière
- dissymétrie gauche - droite

Le pagayeur arrière possède un coup de pagaie droit beaucoup plus arrondi que le gauche.

Pour effectuer ce traitement, il est préférable de sélectionner des plages horaires correspondant à des phases précises de la course, de manière à faciliter l'interprétation.

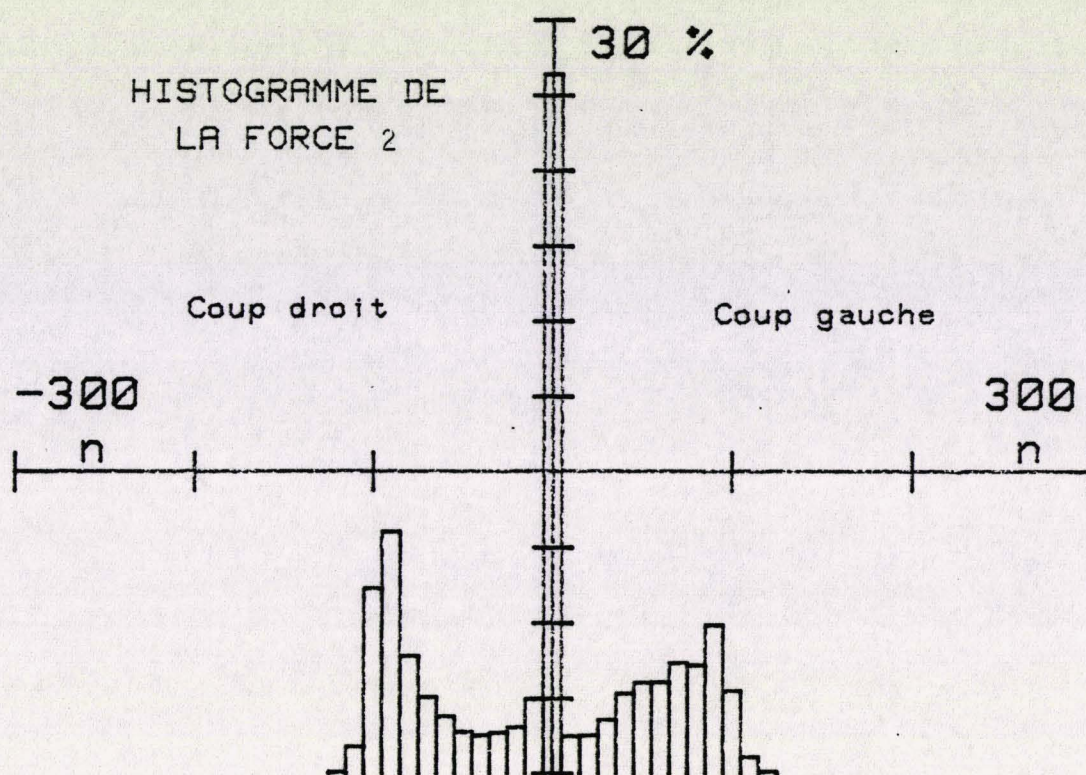


FIGURE 30

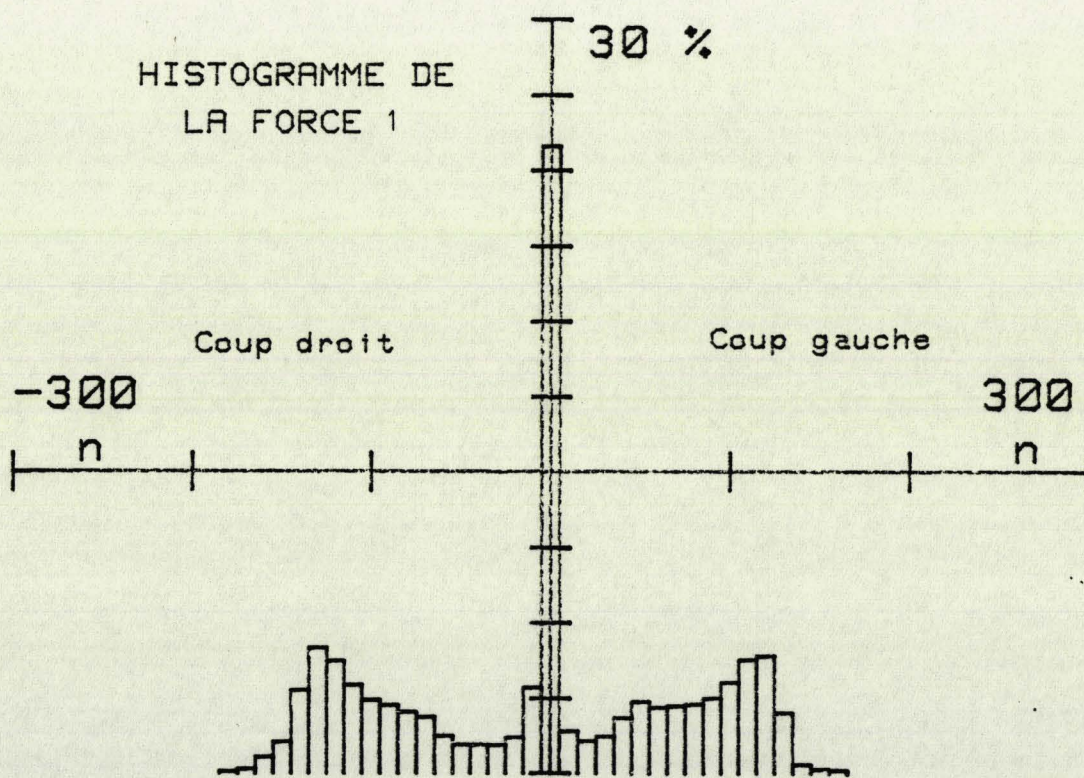


FIGURE 31



III. 4. 3 - Détection du coup de pagaie

Pour l'ensemble des traitements suivants, nous avons développé un logiciel qui permet de détecter le coup de pagaie. Nous fixons un seuil de détection δ modifiable à partir duquel nous déterminons le passage en montée de la force, appelé t_1 en début du coup, t_2 en fin du coup : figure 32. Lorsque t_1 est déclenché, nous attendons le passage en descente de la force sous le seuil fixé appelé t_0 .

Entre temps, nous mémorisons le passage de la force à son maximum t_3 . Nous appelons coup de pagaie la durée $|t_1 - 20 \text{ ms}, t_2 - 20 \text{ ms}|$, et notons $T_0 = t_0 - 20 \text{ ms}$, $T_1 = t_1 - 20 \text{ ms}$, $T_2 = t_2 - 20 \text{ ms}$, $T_3 = t_3$.

En effet, un coup de pagaie comportant environ 30 acquisitions, l'expérience nous a amené à situer le début du coup de pagaie à l'acquisition précédent le passage du seuil. Avant chaque T_1 , la courbe de force présente un minimum pour les coups gauches et un maximum pour les coups droits ; les minimums étant par expérience supérieurs aux maximums de 10 newtons environ. Le zéro physique est choisi en valeur intermédiaire : l'erreur sur le zéro étant de ± 2 newtons.

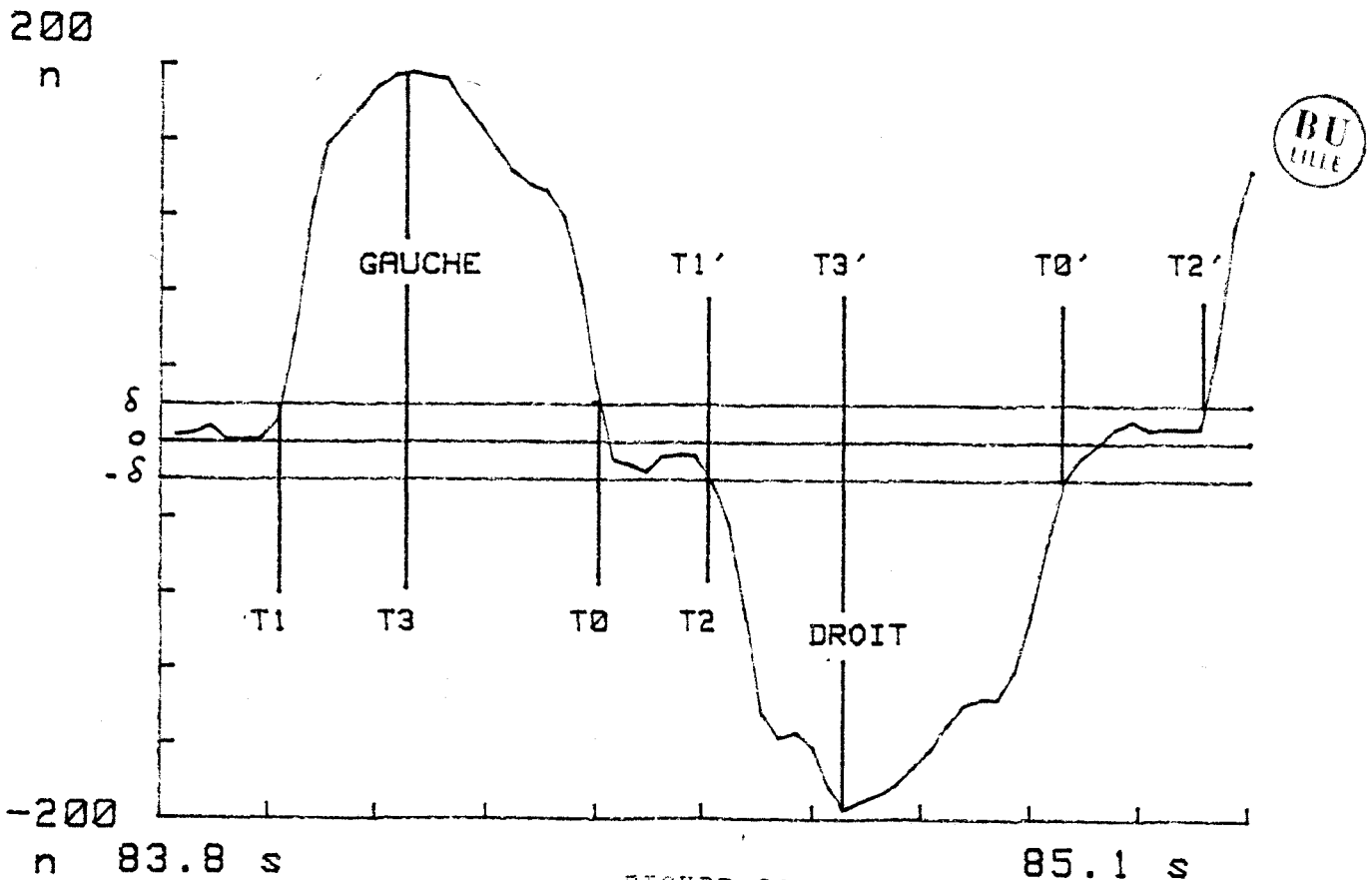


FIGURE 32

a) Moyenne de la force

Nous effectuons la somme des valeurs absolues des acquisitions de la force pendant chaque coup de pagaie, divisée par le nombre d'acquisitions.

$$\text{Moyenne} = \frac{\sum_{T_1}^{T_2} |F(t)|}{|T_2 - T_1|} \times T$$

avec : $F(t)$ acquisition de la force au temps t
 $T = 20 \text{ ms}$ intervalle entre acquisitions

Nous déterminons ainsi la réaction moyenne d'appui sur l'eau à chaque coup de pagaie détecté sur la plage horaire étudiée. Nous assimilerons cette variable à l'effort moyen développé par le pagayeur.

Nous pouvons ainsi constater aux figures 33, 34, et 35 la dissymétrie gauche - droit des coups de pagaie et la décroissance régulière de l'effort lors des trois phases de vitesse élevée pour le pagayeur avant et la bonne symétrie de l'effort du pagayeur arrière.

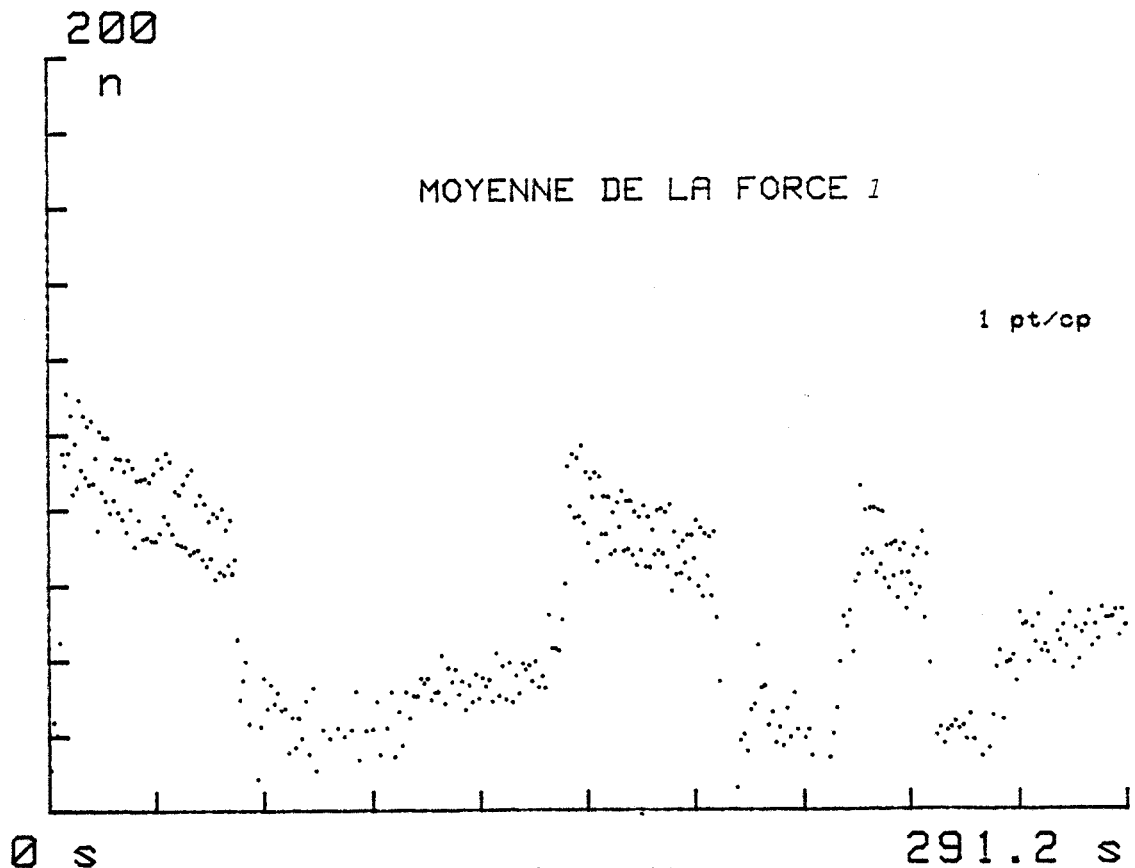


FIGURE 33

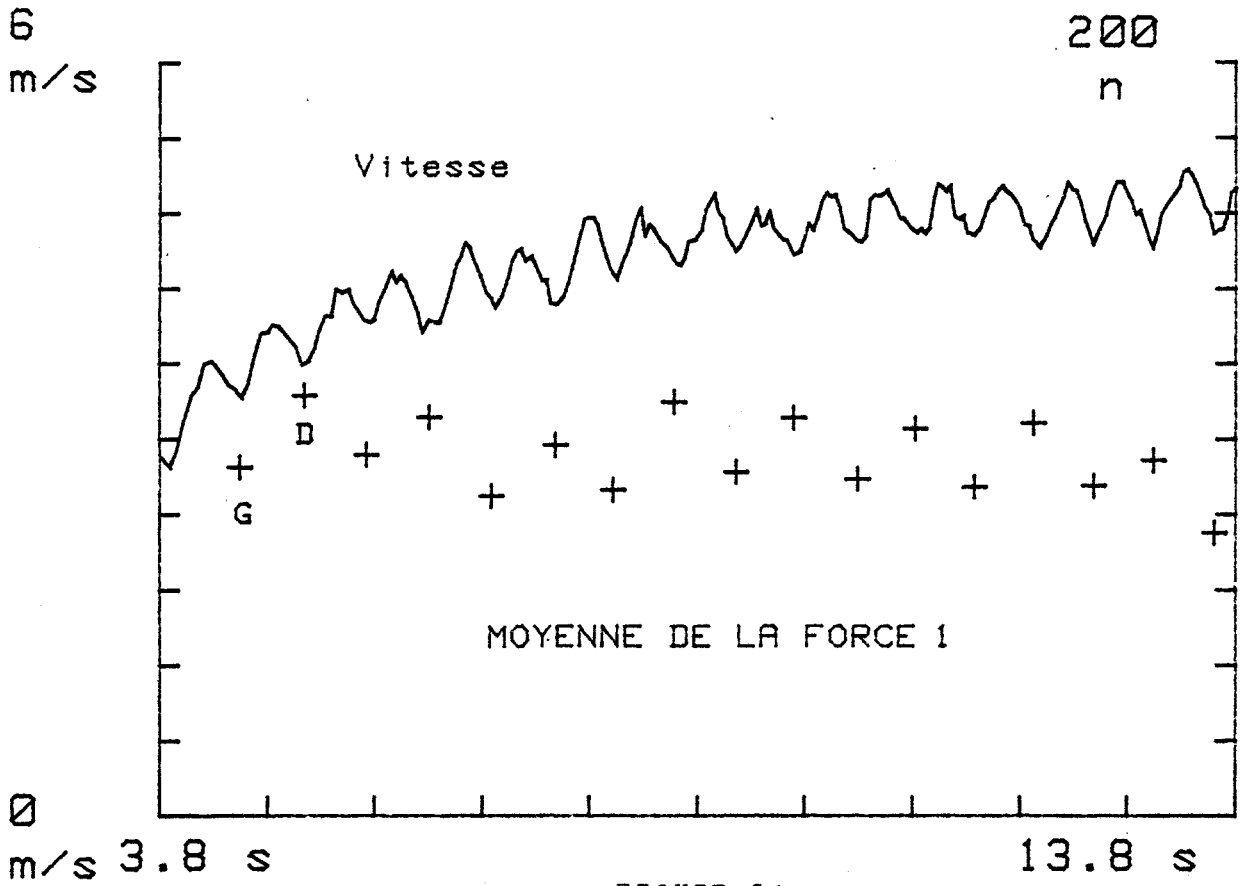


FIGURE 34

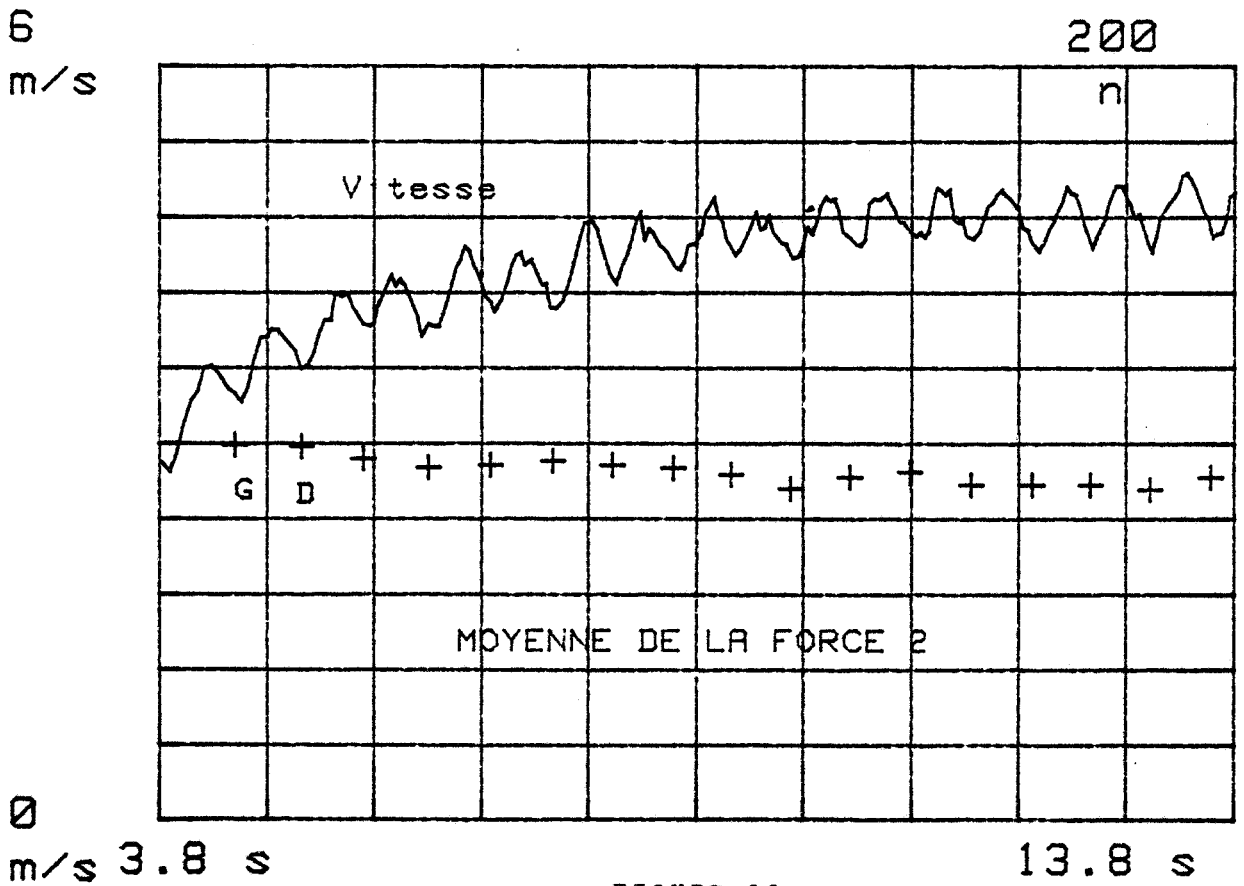


FIGURE 35

b) Intégrale de la force

Nous effectuons ici la somme des valeurs absolues de la force pendant chaque coup de pagaie, ce qui correspond plutôt à la fatigue musculaire subie par le pagayeur pendant le coup de pagaie.

$$\text{Intégrale} = \sum_{T_1}^{T_2} |F(t)| \times T$$

Ce traitement caractérise plus l'effort exercé lors d'un coup de pagaie en mettant par exemple en évidence les coups de pagaie relativement faibles mais plus durables du départ.

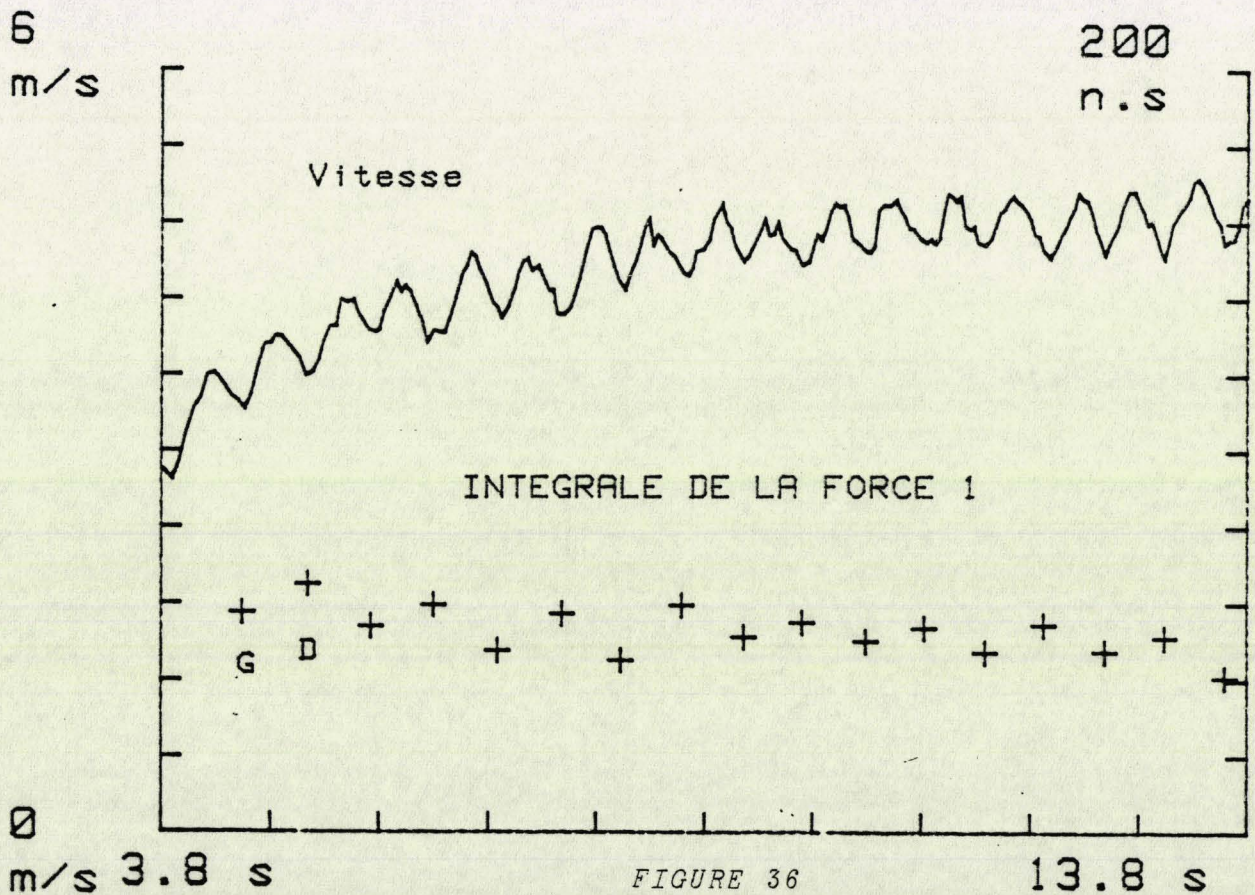


FIGURE 36

c) Pourcentage de temps de la pagaie en l'air

Nous calculons pour chaque coup de pagaie le rapport du temps pendant lequel les acquisitions sont inférieures au seuil de détection au temps total du coup de pagaie

$$\frac{\text{Air}}{\text{Total}} = \frac{T_2 - T_0}{T_2 - T_1}$$

Ce pourcentage se situe aux alentours de 30 % pour les kayakistes de l'équipe olympique. Nous observons une irrégularité dans la façon de pagayer et une différence entre coup gauche et coup droit s'expliquant en partie par la dissymétrie du mouvement (croisée droite).

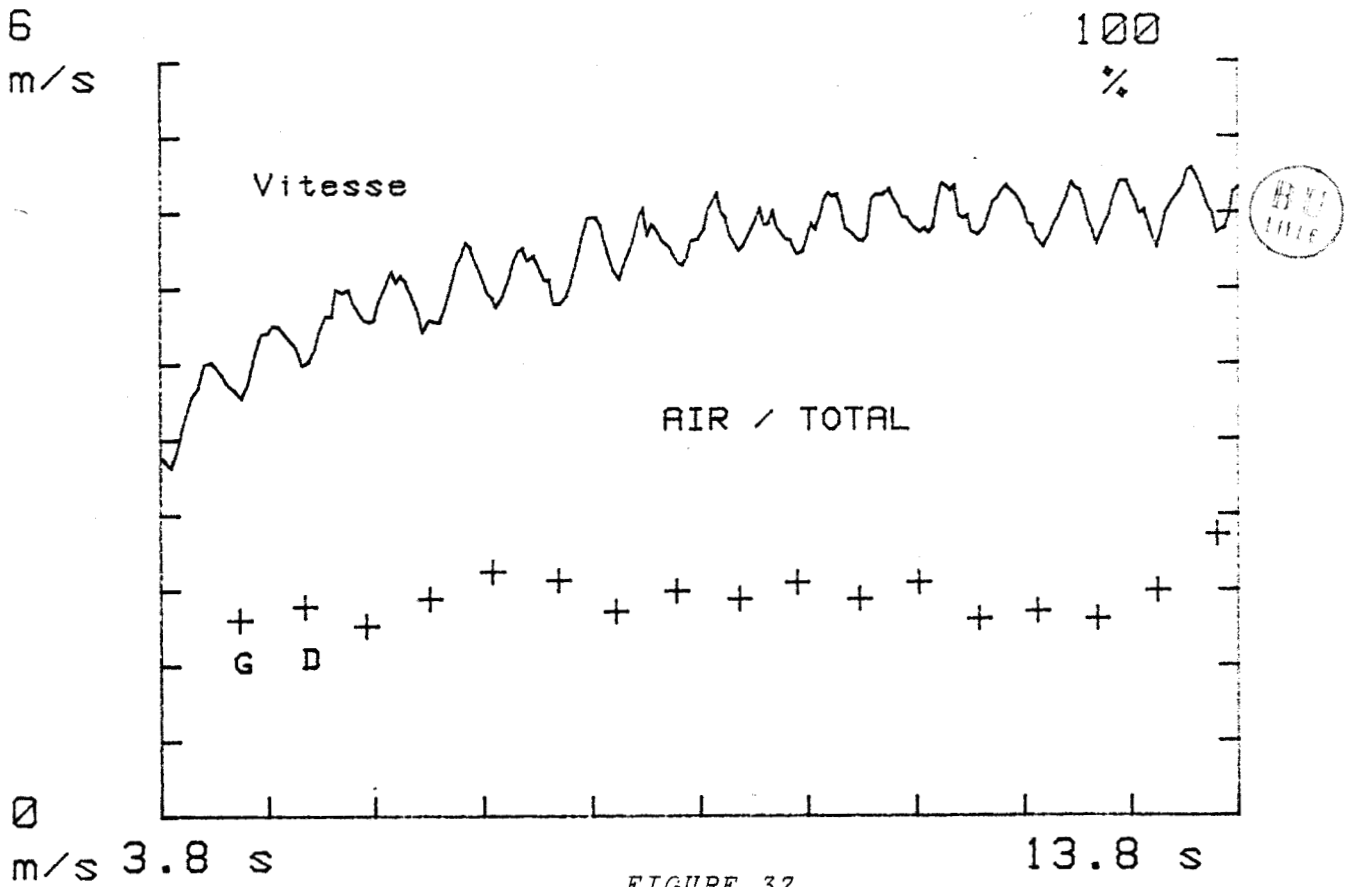


FIGURE 37

d) Pourcentage de la montée en force

Il s'agit du rapport du temps de montée de la force au temps passé dans l'eau.

$$\frac{\text{Montée}}{\text{Eau}} = \frac{T_3 - T_1}{T_0 - T_1}$$

Le traitement fournit donc le pourcentage du temps de l'attaque sur la durée du passage de la pagaie dans l'eau.

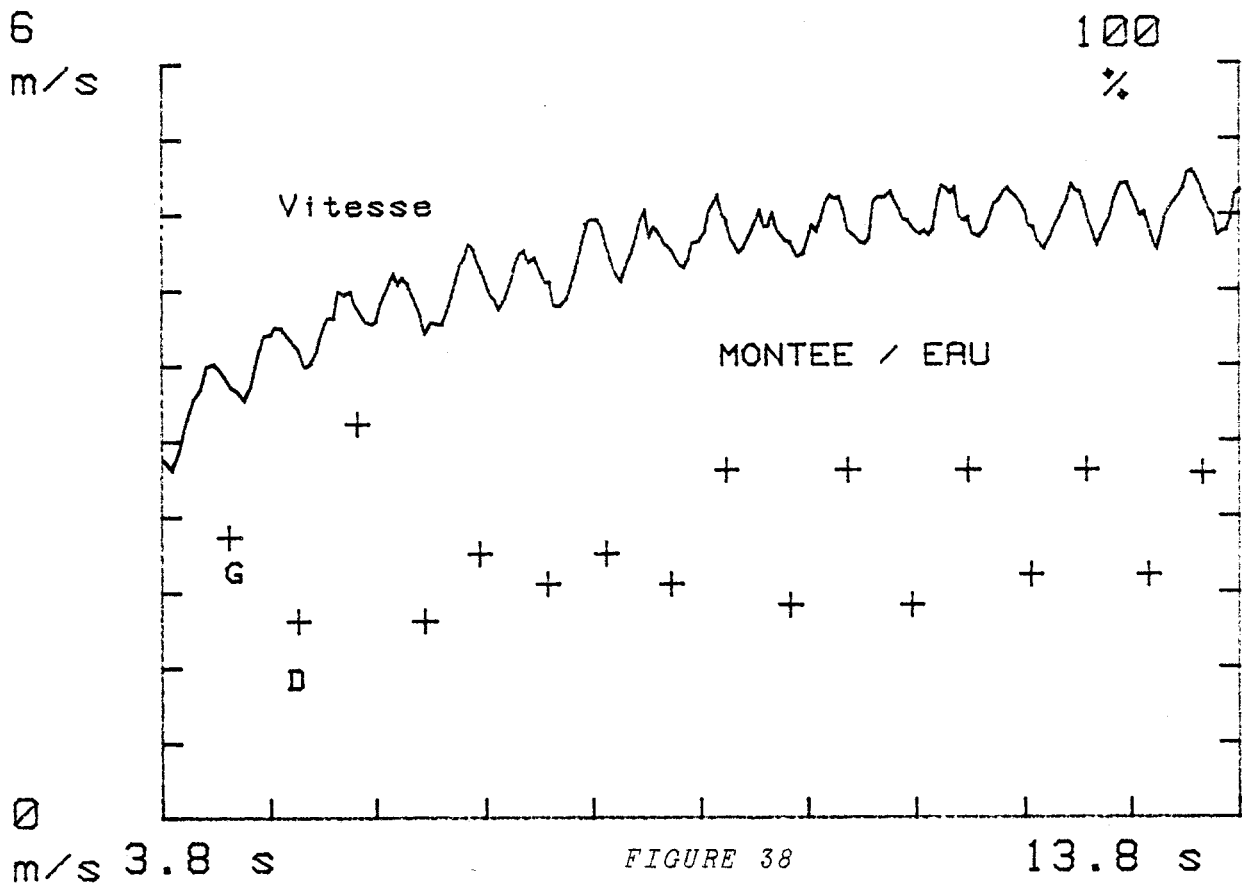


FIGURE 38

e) Durée du passage dans l'eau

Il s'agit simplement du temps $(T_0 - T_1)$

f) Distance parcourue à chaque coup de pagaie

Nous réalisons l'intégrale de la vitesse sur la durée du coup de pagaie

$$D = \int_{T_1}^{T_2} V(t) \times T$$

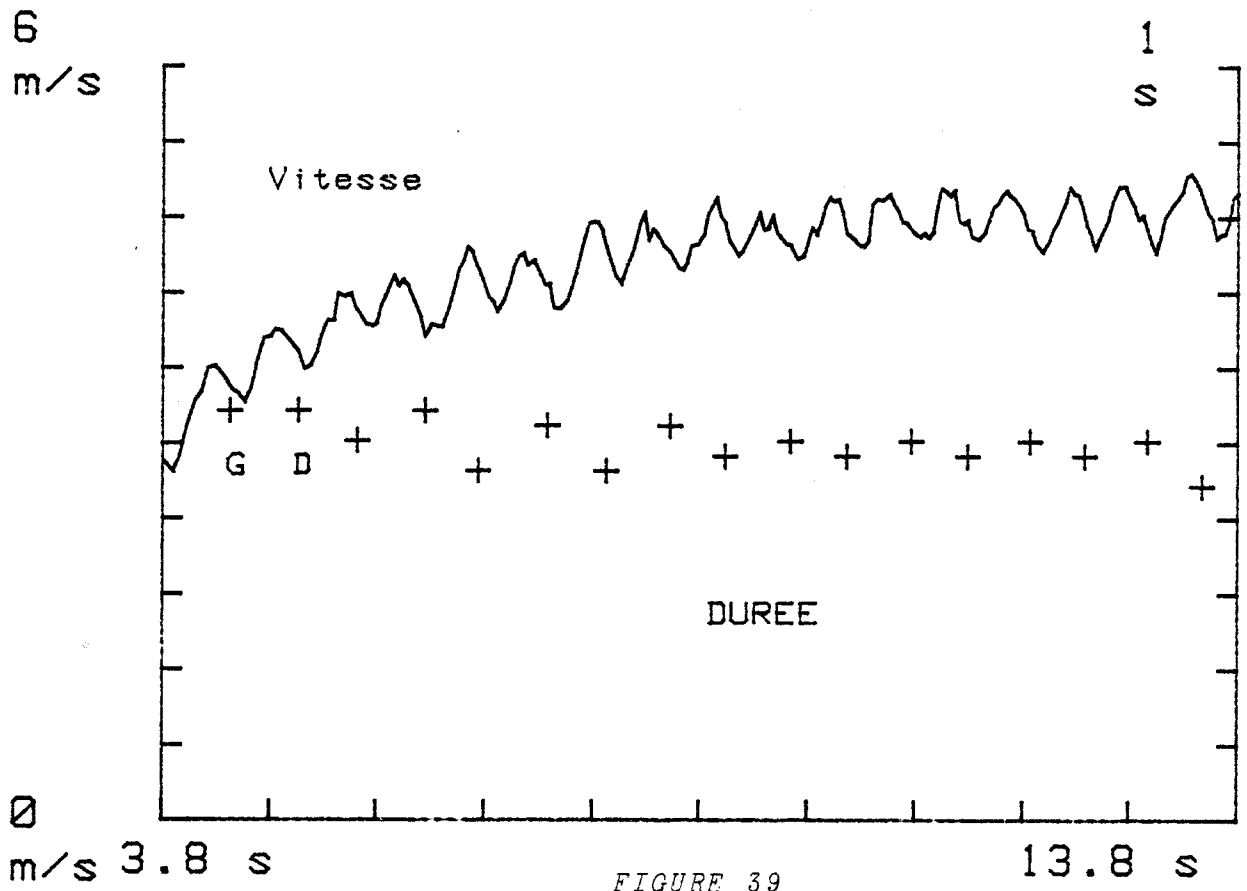


FIGURE 39

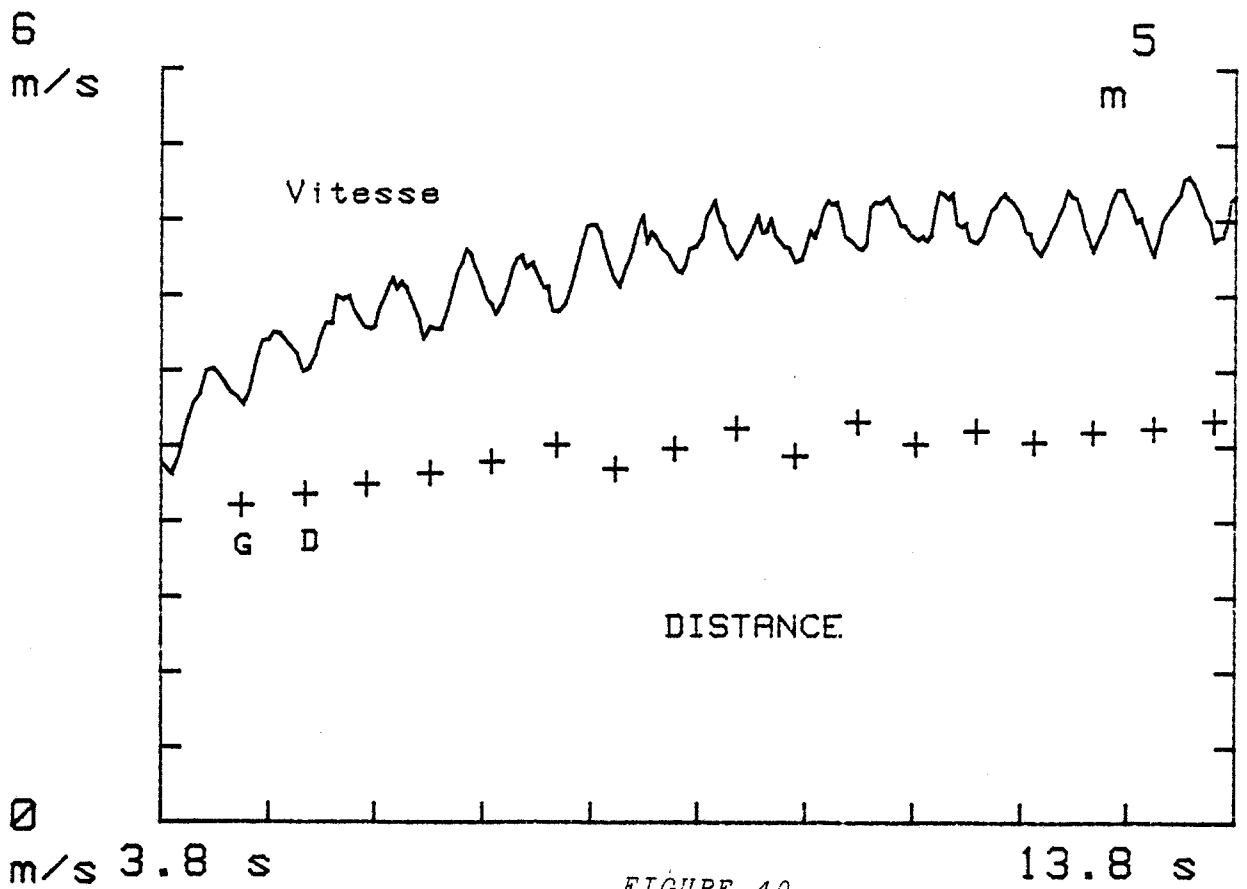


FIGURE 40



g) Lissage des différents calculs

La durée, forme et amplitude des coups de pagaie différant à chaque coup, nous réalisons un lissage des résultats des traitements décrits précédemment afin de mieux distinguer leur évolution globale. Nous effectuons donc une moyenne glissante sur la base modifiable de 5 coups. La figure 41 montre le résultat de ce lissage sur le traitement de moyenne de la force. On constate après la montée en vitesse, une décroissance régulière de l'effort.

h) Fréquence

Nous calculons la durée de chaque coup de pagaie, effectuons une moyenne glissante sur 5 coups et restituons la fréquence en nombre de coups par minute. Ce calcul est représenté à la figure 42 ; contrairement à la moyenne, la fréquence est restée constante pendant l'effort.

i) Coup de pagaie caractéristique

Les traitements présentés jusqu'à présent aident à analyser l'évolution des différentes caractéristiques du coup de pagaie au cours d'une course, mais ne donnent pas une vision précise, simple et synthétique de la manière dont tel sportif pagaie. Nous avons donc pensé à établir le coup de pagaie type d'un pagayeur en ce qui concerne l'évolution de l'effort et non plus l'amplitude et la durée du coup.

Le principe est de normer les coups de pagaie suivant leur durée et leur amplitude, de superposer tous ces coups et d'établir un coup moyen.

Nous réalisons d'abord sur chaque coup de pagaie deux homothéties sur les horaires des acquisitions et leurs valeurs :

$$t_k \rightarrow \frac{t_k - T_1}{T_2 - T_1} \times 100$$
$$F(t_k) \rightarrow \frac{F(t_k)}{F_{\text{maximale}}} \times 100$$

t_k : heure de la k ième acquisition du coup de pagaie

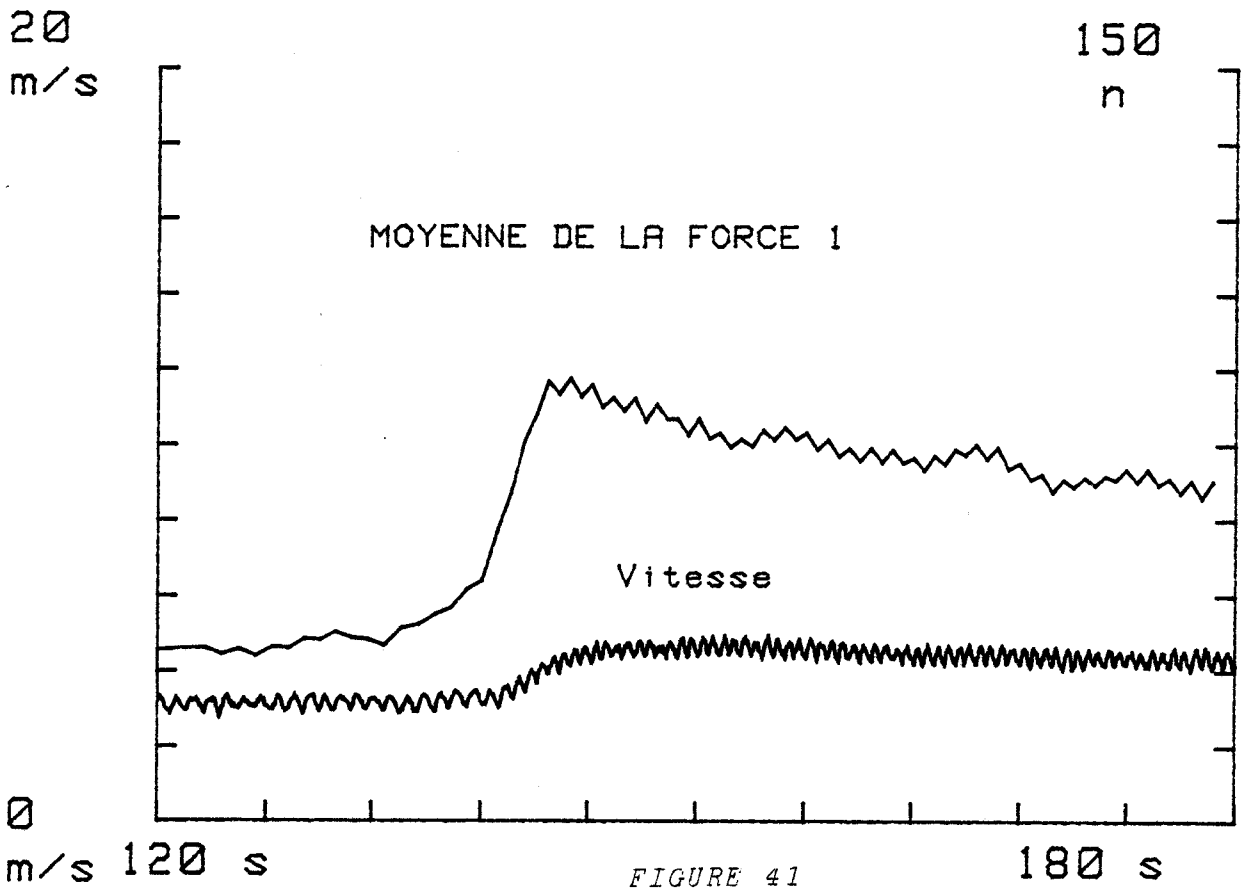


FIGURE 41

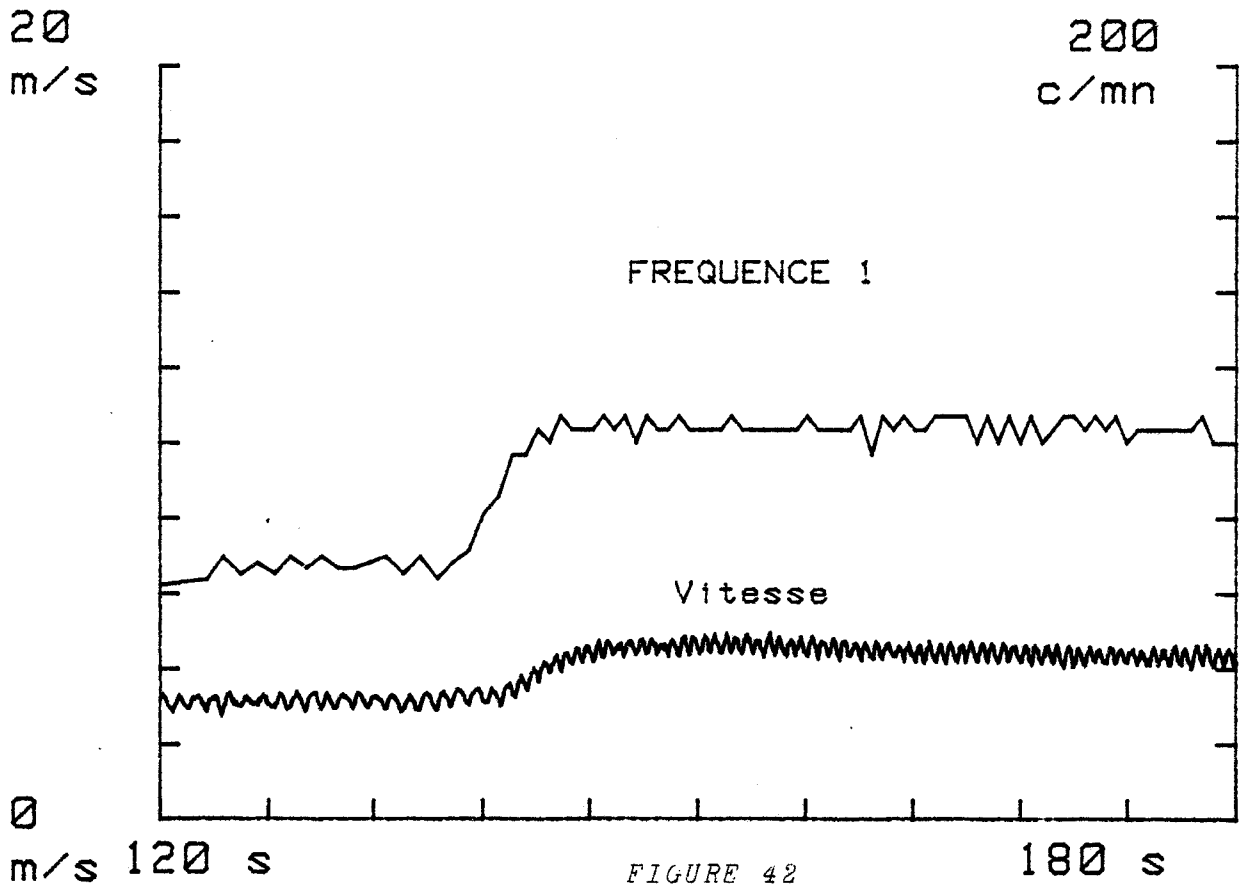


FIGURE 42



Nous prenons ensuite les parties entières des résultats de ces homothéties :

$$\frac{t_k - T_1}{T_2 - T_1} \times 100 \rightarrow C \begin{array}{l} > 0 \text{ à gauche} \\ < 0 \text{ à droite} \end{array}$$

$$\frac{F(t_k)}{F_{\max}} \times 100 \rightarrow F \begin{array}{l} > 0 \text{ à gauche} \\ < 0 \text{ à droite} \end{array}$$

Pour chaque classe C, nous faisons la sommation de tous les efforts correspondant à cette classe

$$F_T(c) = F_T(c) + F$$

Toutes les classes n'étant pas atteintes à chaque coup de pagaie, il est nécessaire de comptabiliser chaque sommation

$$N_T(c) = N_T(c) + 1$$

Lorsque le traitement est effectué sur tous les coups de pagaie, il suffit d'associer à chaque classe C variant de -100 à 100, la valeur $\frac{F_T(c)}{N_T(c)}$. Nous obtenons ainsi les coups de pagaie droit et gauche caractérisant la plage horaire étudiée.

La figure 43 donne l'exemple d'un pagayeur qui possède une dissymétrie importante dans sa manière de pagayer : le coup droit est beaucoup plus fluide, continu que le coup gauche. La figure 44 présente le cas d'un pagayeur qui possède un style très personnalisé : son attaque est rapide et d'amplitude importante.

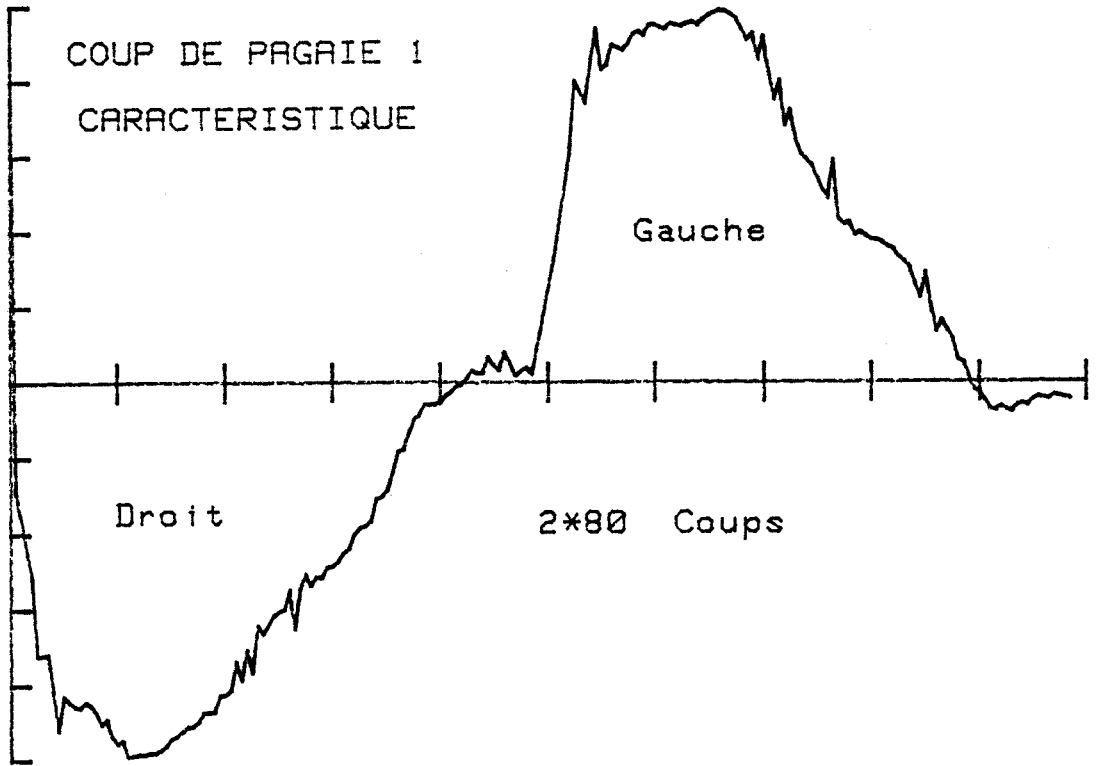


FIGURE 44

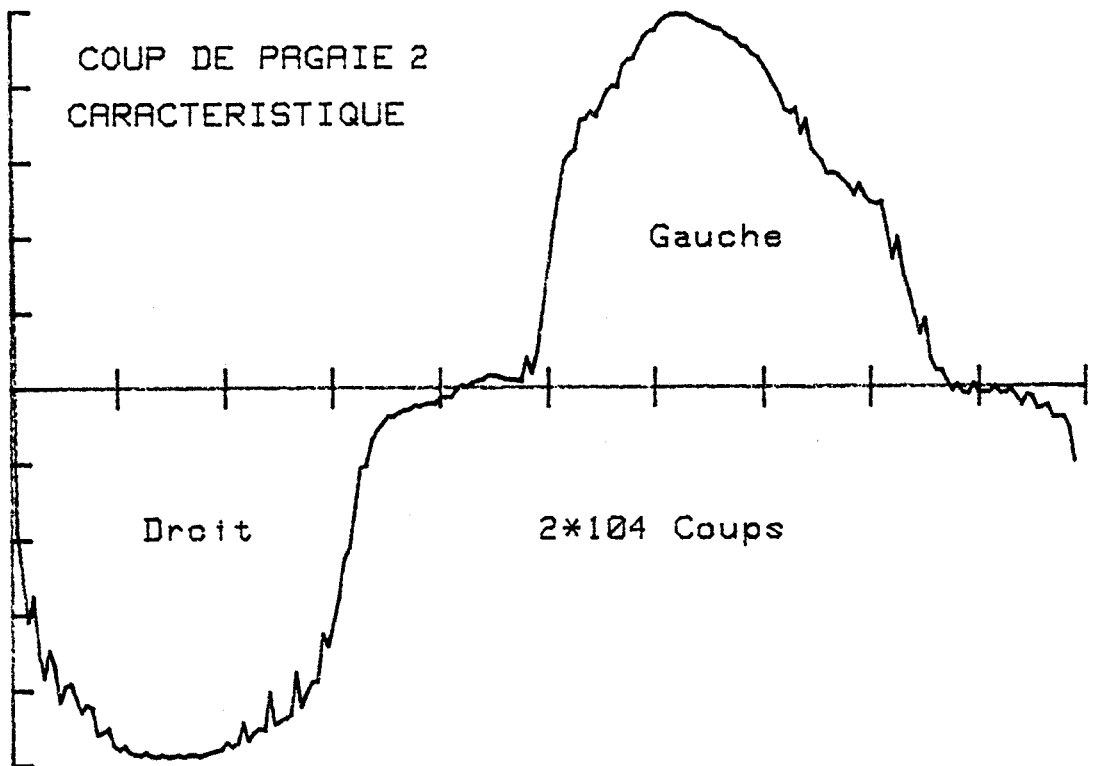


FIGURE 43

Certains kayakistes possèdent un geste régulier dans toutes les phases d'une course, d'autres au contraire pagaient différemment : il est donc souvent préférable d'effectuer ce traitement sur des phases précises de la course et de visualiser ainsi l'évolution du geste.

j) Synchronisme et régularité de l'équipage

Le traitement précédent caractérise le pagayeur mais ne permet pas de restituer le décalage temporel des pagayeurs. Pour faire apparaître ce décalage, nous pouvons procéder de la façon suivante. Le coup de pagaie de l'équipier avant est traité suivant le schéma précédemment décrit ; le coup de pagaie arrière est normé uniquement selon son amplitude et la classe d'une valeur d'effort est définie comme celle de l'acquisition correspondante du coup avant.

Nous effectuons ainsi 3 homothéties :

$$t_k \rightarrow \frac{t_k - T_1}{T_2 - T_1} \times 100 \rightarrow C$$

$$F_1(t_k) \rightarrow \frac{F_1(t_k)}{F_{1 \text{ maxi}}} \times 100 \rightarrow F_1$$

$$F_2(t_k) \rightarrow \frac{F_2(t_k)}{F_{2 \text{ maxi}}} \times 100 \rightarrow F_2$$

avec T_1 et T_2 définis à partir du coup avant.

$$F_{T_1}(c) = F_{T_1}(c) + F_1$$

$$F_{T_2}(c) = F_{T_2}(c) + F_2$$

$$N_T(c) = N_T(c) + 1$$

Le tracé des fonctions $\frac{F_{T_1}(c)}{N_T(c)}$ et $\frac{F_{T_2}(c)}{N_T(c)}$ permet d'observer le décalage des efforts.

Hors des phases de variations importantes de vitesse, c'est-à-dire hormis le départ d'une course, nous pouvons effectuer le même type de traitement à la vitesse, en comparant les montées et descentes successives en les normant suivant les maximums et minimums.

$$V(t_k) \rightarrow \frac{V(t_k) - V_{\text{mini}}}{V_{\text{maxi}} - V_{\text{mini}}} \times 100 \rightarrow V$$

$$V_T(c) = V_T(c) + V$$

La figure 45 montre en pointillé les coups droit et gauche de l'équipier avant définis suivant le traitement précédent, figure 46, en continu les coups droit et gauche de l'équipier arrière, synchronisés sur le pagayer avant. On constate d'une part une avance globale du pagayer arrière, et d'autre part une manière de pagayer très différente. Le pagayer avant a une attaque moins rapide, qui se limite à 70 % de l'amplitude maximale ; cette attaque n'étant pas trop brusque, à la fin de celle-ci la vitesse du kayak s'est élevée à nouveau légèrement, permettant au kayakiste de continuer la montée de son effort. Le pagayer arrière par contre a une attaque plus rapide, légèrement antérieure qui atteint très vite 90 % de l'effort maximal ; or à cet instant le kayak n'a pas encore repris de vitesse, de sorte que le kayakiste pour libérer son effort, est obligé d'incliner sa pale dans l'eau perdant ainsi une partie de l'énergie de déformation contenue dans la pagaie. Malgré cette perte, on peut constater que l'effort fourni, pendant la première moitié du passage dans l'eau, est plus important que chez l'équipier avant ; par contre celui-ci conserve un effort plus grand jusqu'au dégagé qui, proportionnellement doit comporter une perte plus importante à la sortie de la pale.

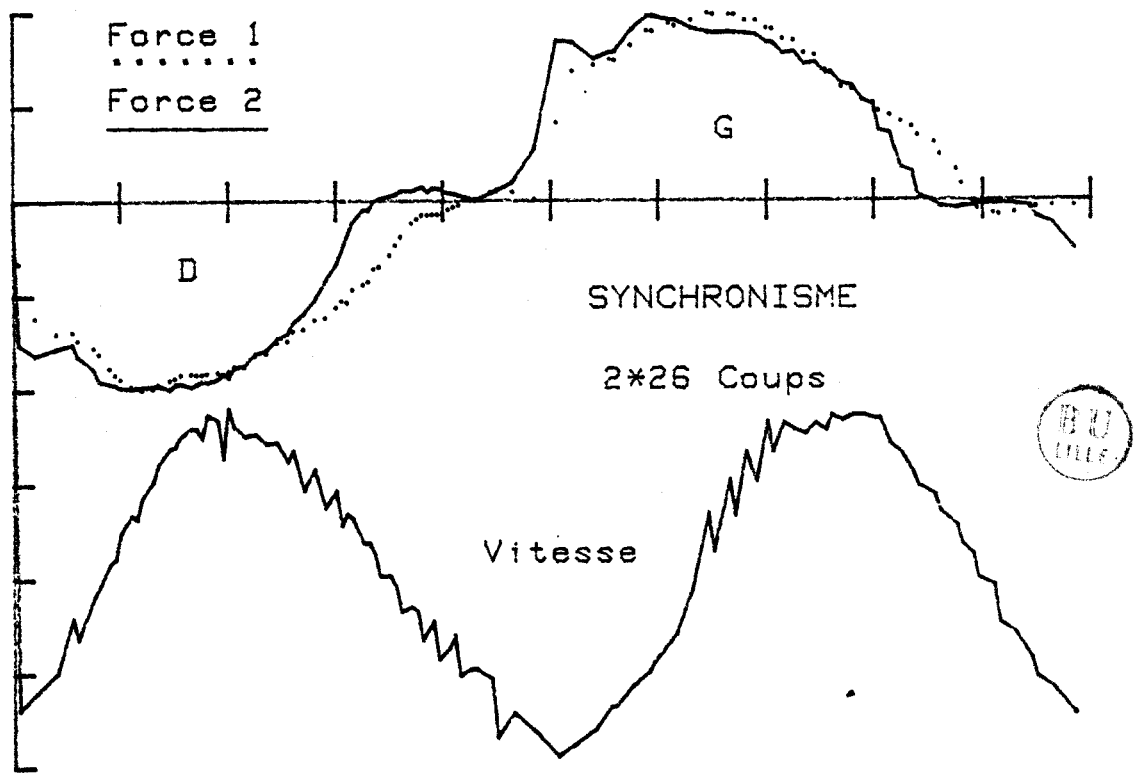


FIGURE 45

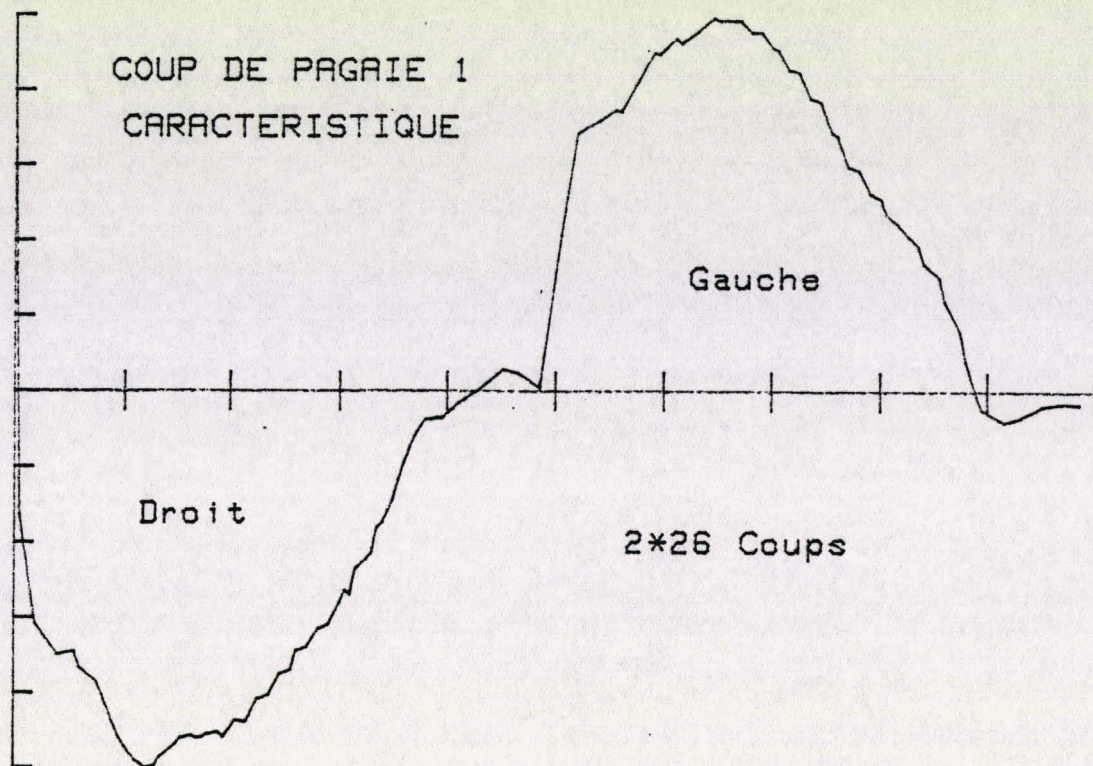


FIGURE 46

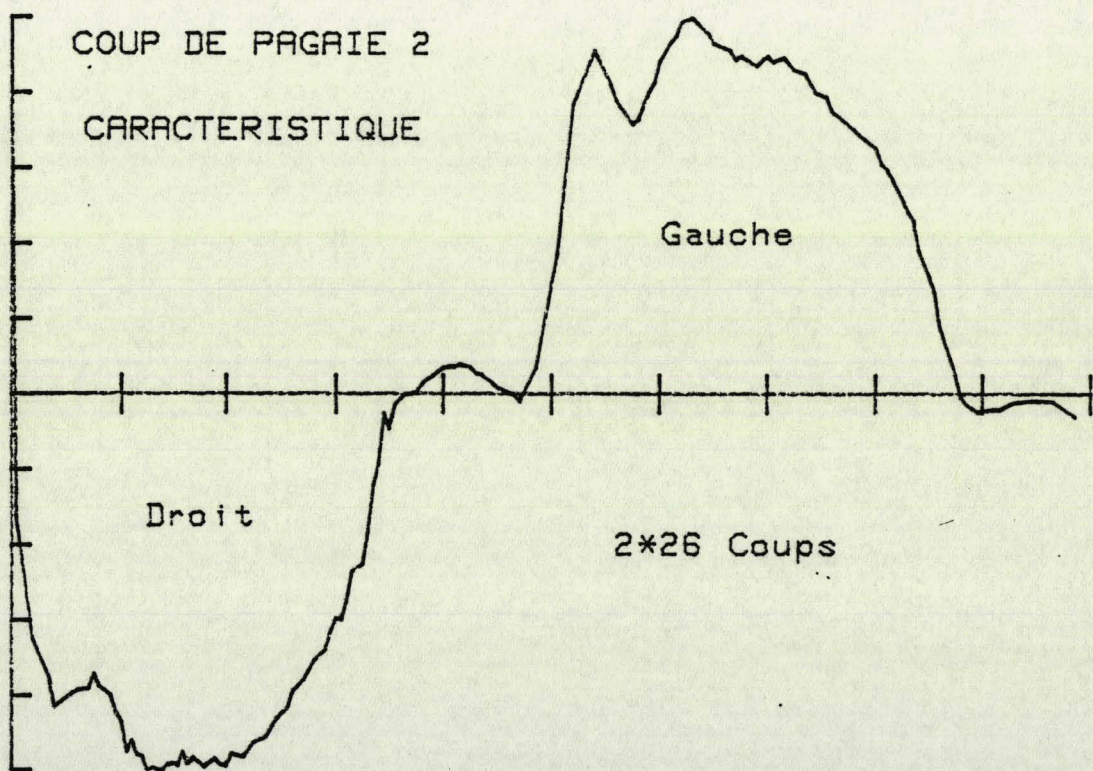


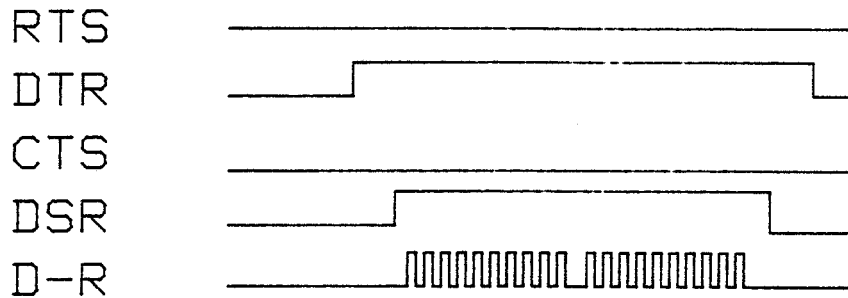
FIGURE 47

Ces deux gestes, bien que différents, semblent pour un K2 donner un ensemble harmonieux car en comparant le résultat de ce traitement aux figures 46 et 47, on constate une bonne synchronisation que l'on retrouve également pour la vitesse. En effet l'évolution de celle-ci, notamment lors du coup gauche, se révèle très régulière. Nous constatons une dissymétrie gauche - droite puisque d'une part le minimum le plus faible correspond à la transition coup droit - coup gauche, et d'autre part les pentes correspondantes sont assez différentes.

III. 5 - LIAISON VIDEO

Le logiciel "COURBE 2" permet également d'associer à une image de l'enregistrement vidéo de la course, les données acquises par la centrale correspondant à cette image. Une routine permet donc la réception par l'interface série suivant la norme RS232C de deux octets. Ces deux octets représentent l'heure de l'image et sont envoyés par le synchronisateur vidéo après décodage du signal vidéo. A chaque décodage de l'heure inscrite dans la trame, lors de la course, le synchronisateur teste la disponibilité du calculateur par l'état de la ligne DTR. Si l'état est haut, la ligne DSR est mise à l'état haut pendant l'envoi des 2 octets au calculateur ; celui-ci reçoit les octets, met la ligne DTR à l'état bas, inscrit l'heure sur l'écran et la visualise par un curseur suivant la plage horaire. Quand il est prêt à recevoir, le calculateur remet la ligne DTR à l'état haut. Tant que DTR reste à l'état bas, le synchronisateur continue à décoder sans transmettre les octets.

Le synchronisateur vidéo fonctionnant en lecture, avant, arrière, rapide, normale, ralentie, en arrêt sur image, nous pouvons donc effectuer une corrélation précise et rapide entre l'image vidéo visualisée et les acquisitions correspondantes.



LIAISON ORDINATEUR — SYNCHRONISATEUR



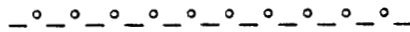
FIGURE 48

III. 6 - EXPLOITATION DU SYSTEME COMPLET

Les enregistrements réalisés sur l'équipe sélectionnée olympique ont subi les différents traitements présentés au III.4 et ont été transmis à des professionnels du sport pour des études ponctuelles. Cette démarche ne correspond pas à l'utilisation optimale de l'outil d'analyse que nous proposons, mais peut déclencher des questions ou besoins à l'origine de traitements ultérieurs.

D'autre part, l'adaptation du système à d'autres configurations K1, K4, C₁, ou même à d'autres disciplines telles que l'aviron peut être envisagée : en effet, la structure de base des logiciels "FFCK2" et "COURBE2" peut facilement être reprise pour subir les quelques transformations correspondant à une nouvelle configuration.

CHAPITRE IV



ESSAI D'EVALUATION

DU COMPORTEMENT ENERGETIQUE DU SYSTEME

IV - ESSAI D'EVALUATION DU COMPORTEMENT ENERGETIQUE DU SYSTEME

IV. 1 - CORRELATIONS

IV. 1. 1 - Principe

Lors de course en équipage, l'entraîneur est amené à étudier le synchronisme et déphasage des efforts exercés par les pagayeurs. Qualitativement il a accès à ce déphasage par l'observation des phases d'attaque et de dégagé respectivement t_1 et t_2 . Le traitement décrit au paragraphe III.4.6.j permet d'obtenir le décalage moyen des attaques et dégagés des pagayeurs. Or, des équipiers peuvent avoir des attaques et dégagés en phase sans pour autant emmagasiner leur énergie dans la pagaie en même temps. Nous avons donc effectué un traitement qui permet d'obtenir le décalage de l'effort fourni à la pagaie durant la course et qui découle des significations physiques des calculs de corrélation en statistique.

La fonction de corrélation pour des fonctions $F_1(t)$ et $F_2(t)$ est définie par :

$$C(t_0, \tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} F_1(t) \cdot F_2(t+\tau) dt$$

Si l'on suppose F_1 et F_2 variables ergodiques et stationnaires, l'étude de $C(t_0, \tau)$ équivaut à celle de $C(\tau)$ définie par

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} F_1(t) F_2(t+\tau) dt \text{ avec } t_0 \text{ quelconque}$$

Pour accélérer l'exécution du traitement correspondant à cette étude, et surtout pour mieux répondre à notre besoin, nous avons restreint le calcul de $C(\tau)$ à l'intervalle $|t_1, t_2|$ de chaque coup de pagaie.

$$C(\tau) = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} F_1(t) F_2(t+\tau) dt$$

avec : $T = t_2 - t_1$

$$\tau \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2} \right]$$

L'étude de $C(\tau)$ sur des fonctions similaires à F_1 et F_2 (voir figure 49) montre la présence d'un maximum de cette fonction. Ce maximum détermine le décalage nécessaire pour une corrélation maximale des fonctions.

IV.1.2 - Corrélation des efforts

Le traitement décrit précédemment est réalisé pour chaque coup de pagaie sous la forme suivante :

$$C(\tau) = \int_{t_1}^{t_2} F_1(t) \times F_2(t+\tau) dt$$

Après la détection de t_1 et t_2 du coup de pagaie de l'équipier avant, nous réalisons le calcul de $C(\tau)$ pour τ compris entre - 200 et 200 ms. Nous déterminons ainsi τ_m tel que $C(\tau_m)$ est maximale. Le temps τ_m donne l'avance de l'effort du pagayeur avant sur celui du pagayeur arrière.

Le calcul est effectué sur chaque coup de pagaie de la plage horaire étudiée. Pour une course, les fluctuations de ce décalage sont nombreuses ; nous réalisons donc une moyenne sur 5 coups de pagaie qui restitue les tendances de l'équipage.

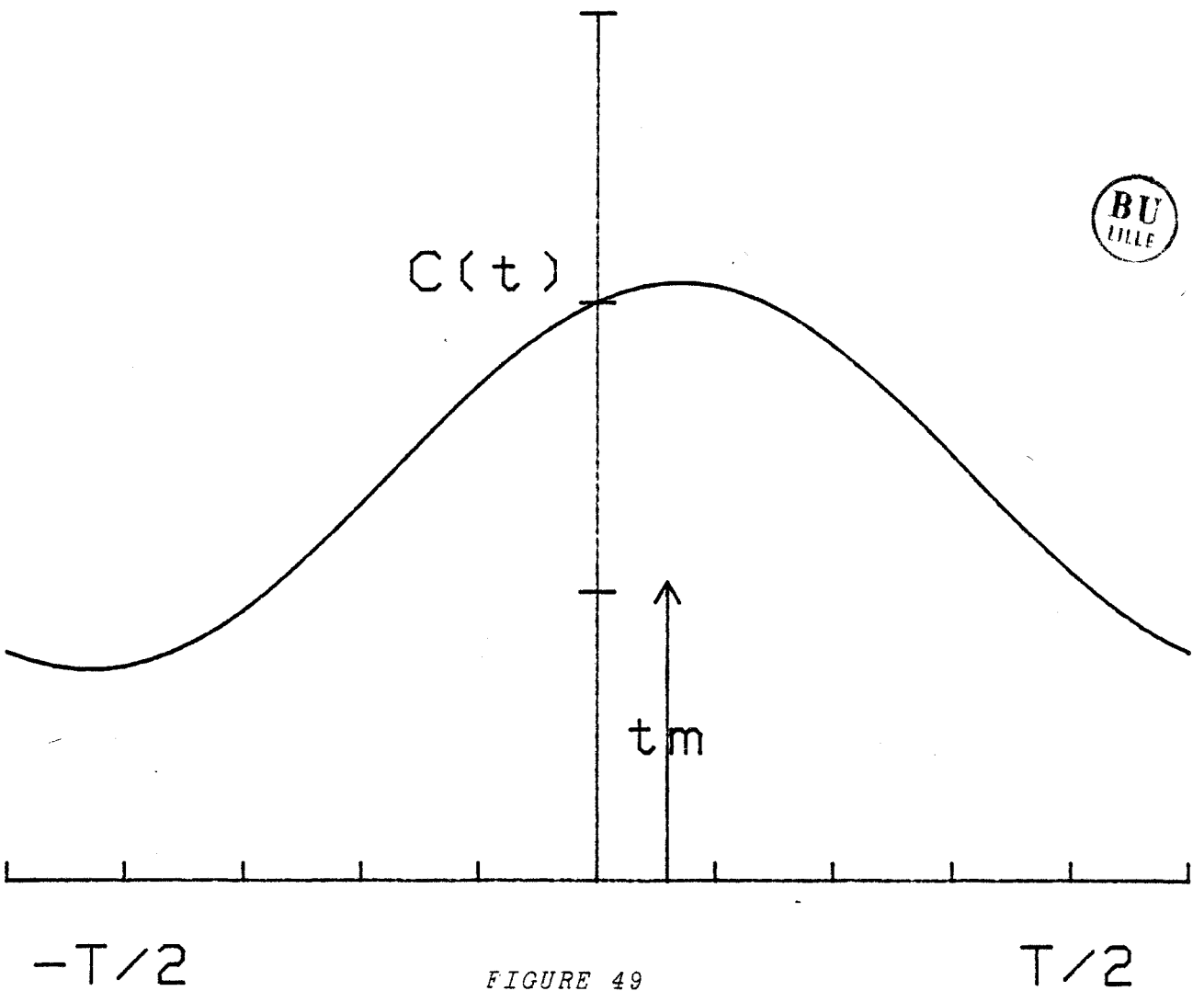
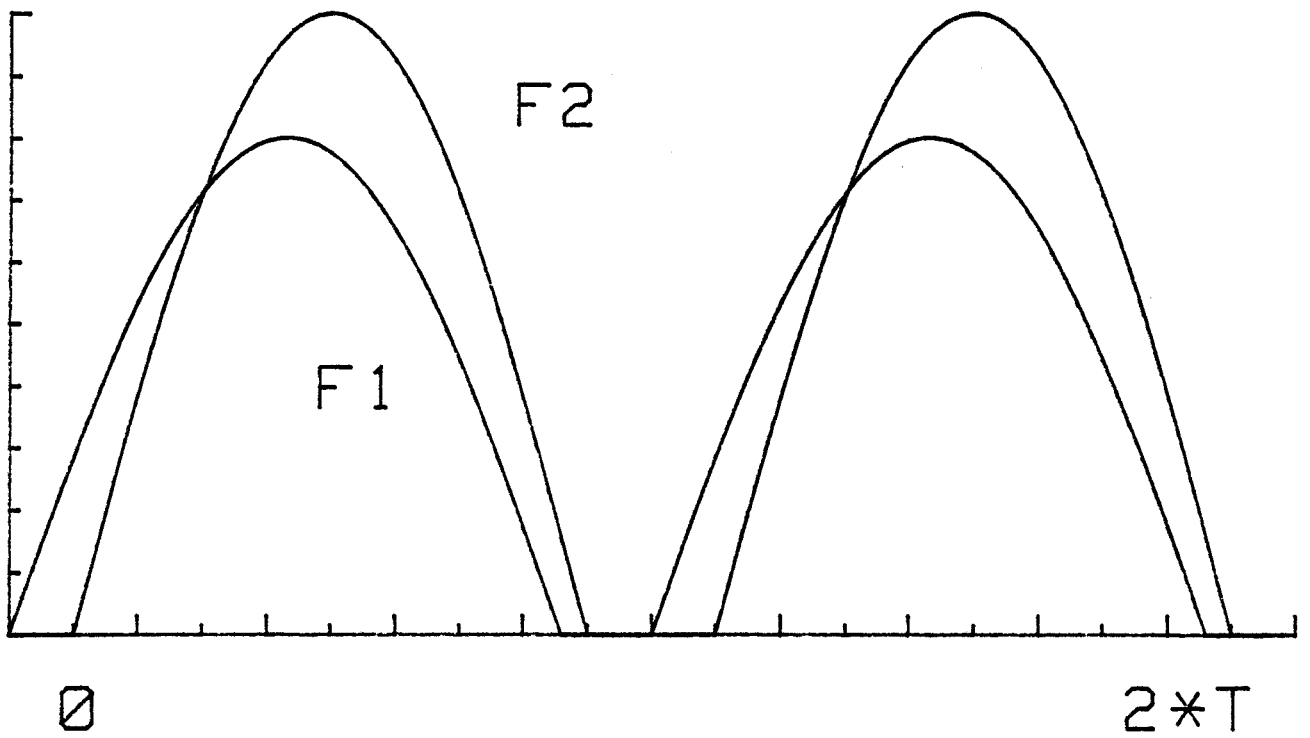


FIGURE 49

IV.1.3 - Temps de restitution de l'énergie au kayak

Nous avons vu au paragraphe II.2.4 que les transferts d'énergie s'effectuent par l'intermédiaire de la pagaie. L'énergie emmagasinée dans la pagaie est utilisée au fur et à mesure au kayak et à son équipage.

Or, la façon de pagayer, et principalement les mouvements qu'effectuent les centres de gravité des pagayeurs, influent sur le temps de restitution. Nous réalisons un traitement analogue au précédent, mais adapté au phénomène physique puisque $C'(\tau)$ sera étudiée pour τ compris entre 0 et 0,5 s

$$C'(\tau) = \int (F_1(t) + F_2(t)) \times V(t+\tau) dt$$

La détermination de τ'_m donne en fait le temps de réponse de la vitesse vis-à-vis de la déformation de la pagaie.

IV.1.4 - Exemple d'interprétation

Les figures 50, 52, 54, et 51, 53, 55, présentent le tracé pour 3 courses de 500 m du déphasage gradué de -200 à +200 ms, et du temps de restitution gradué de 0 à 500 ms. L'exemple des figures 50 et 51 montre le cas d'un équipage, sans déphasage bien défini mais avec des fluctuations importantes, qui déterminent un temps de restitution presque constant égal à 145 ms. L'exemple suivant montre le cas d'un déphasage positif signifiant l'avance globale du pagayeur avant et un temps de restitution fluctuant et important, environ 200 ms. Le dernier cas présente une configuration inverse avec un déphasage négatif et un temps de restitution plus faible.

On peut ainsi supposer qu'un kayak dont le pagayeur arrière possède une avance globale, a un type d'évolution plus vif que dans le cas inverse, ou encore, répond mieux aux stimulations des pagayeurs. Cette interprétation doit être complétée par l'analyse des autres paramètres tels que la fréquence de pagayage, et surtout par l'interprétation du geste sportif par les entraîneurs.

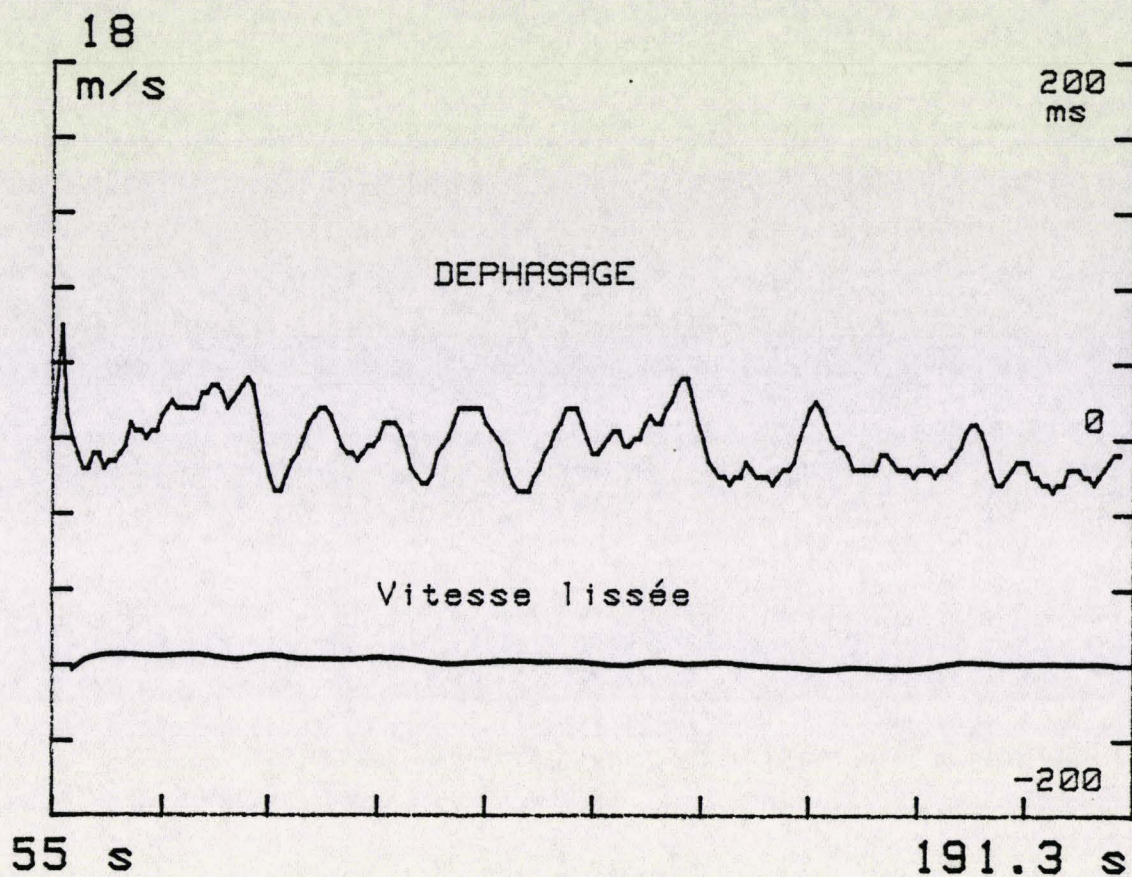


FIGURE 50

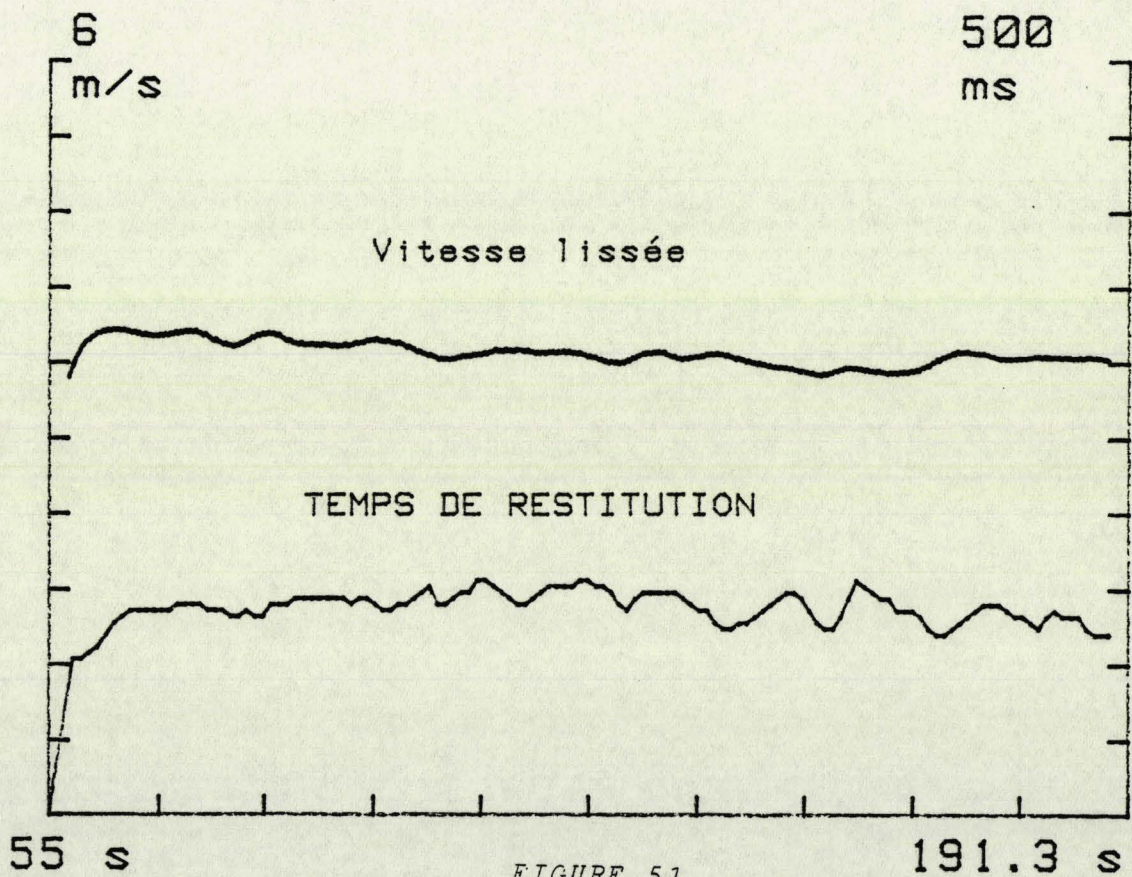


FIGURE 51

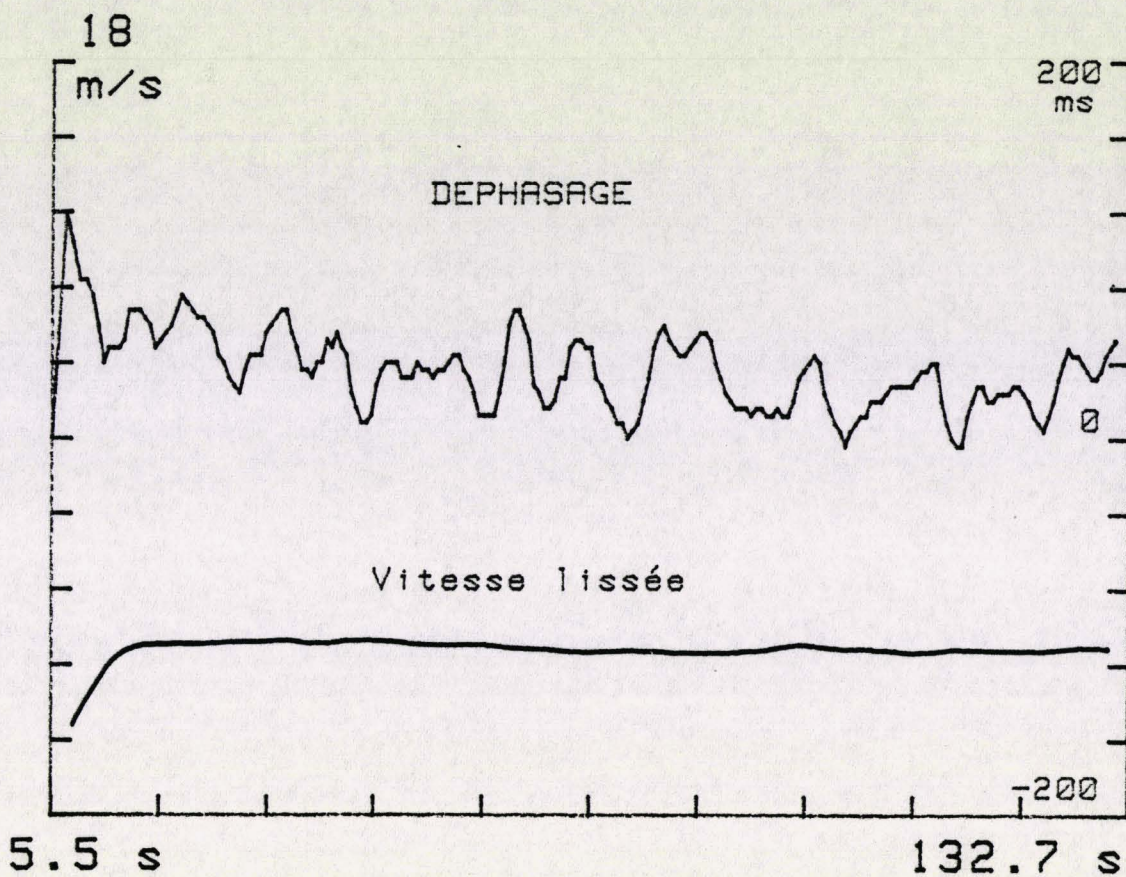


FIGURE 52

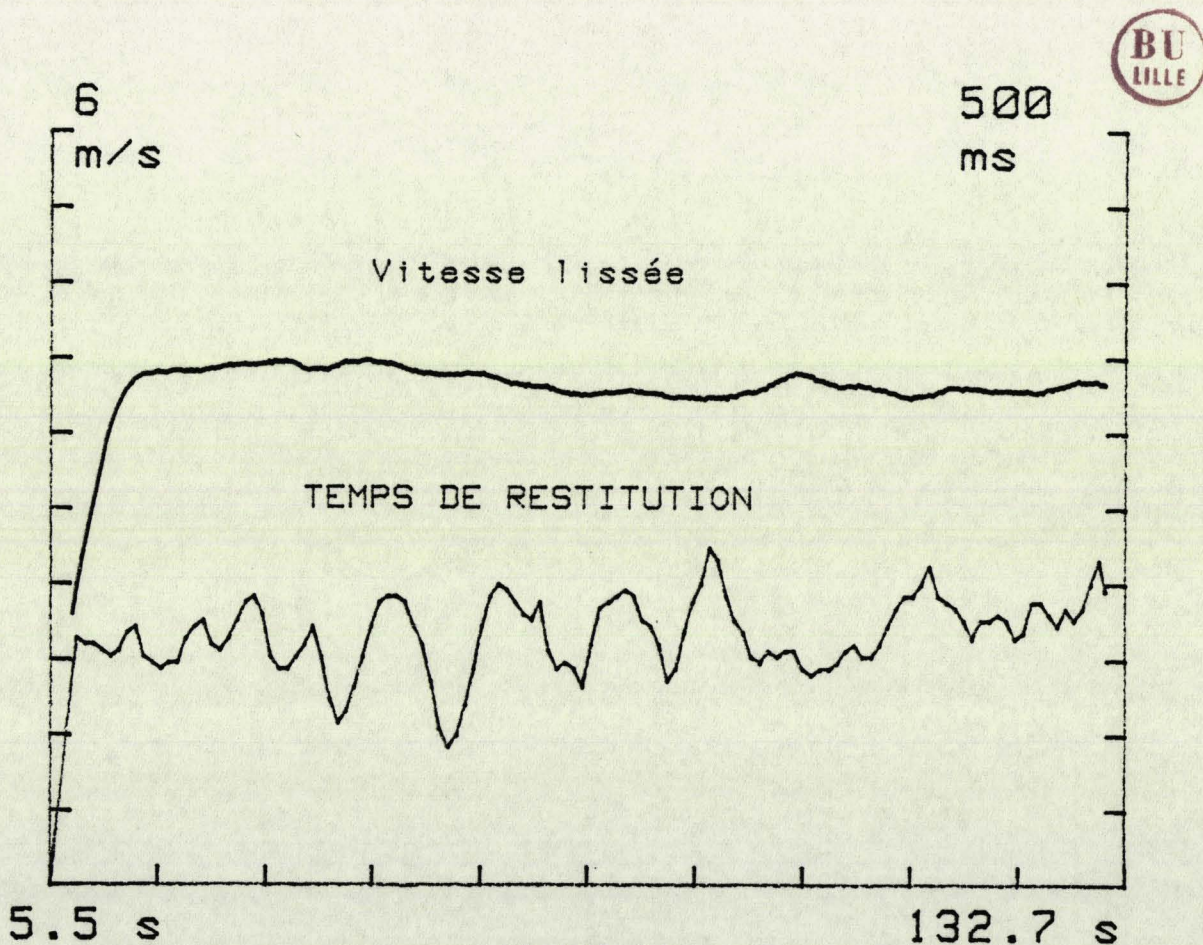


FIGURE 53

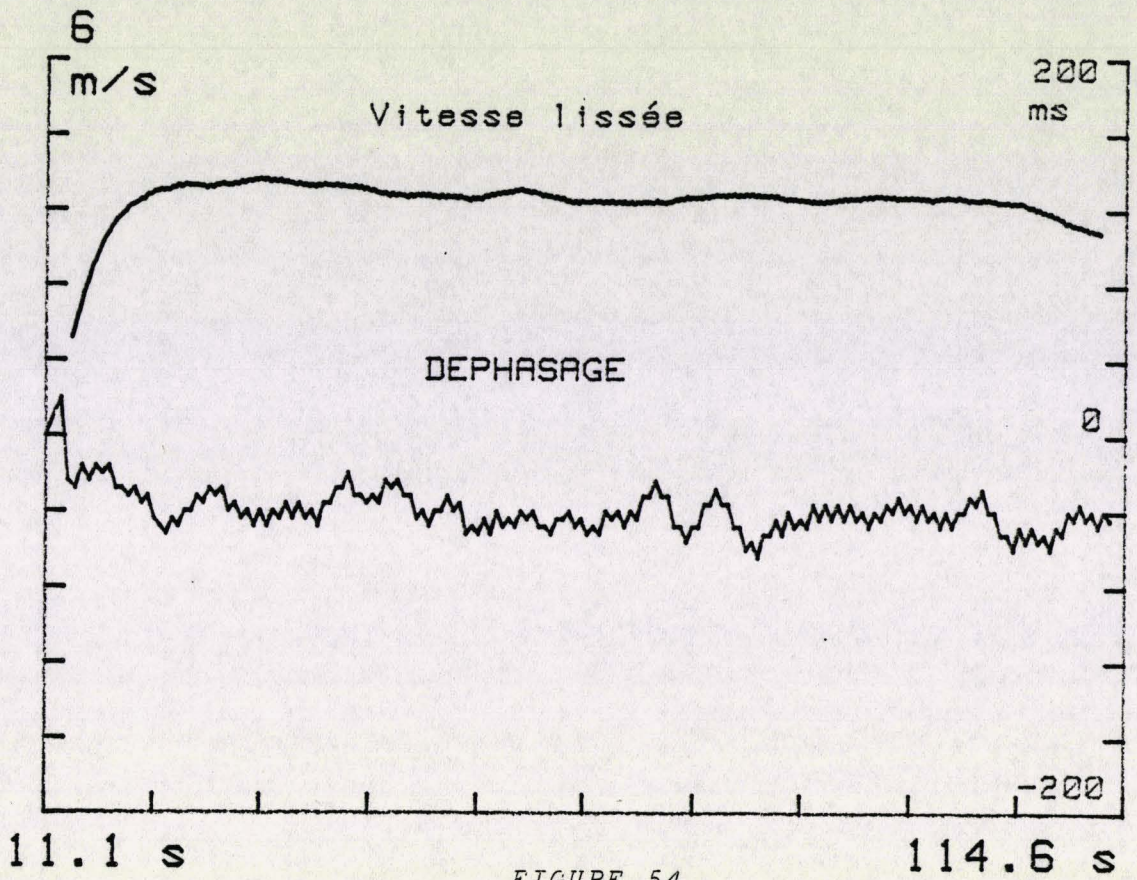


FIGURE 54

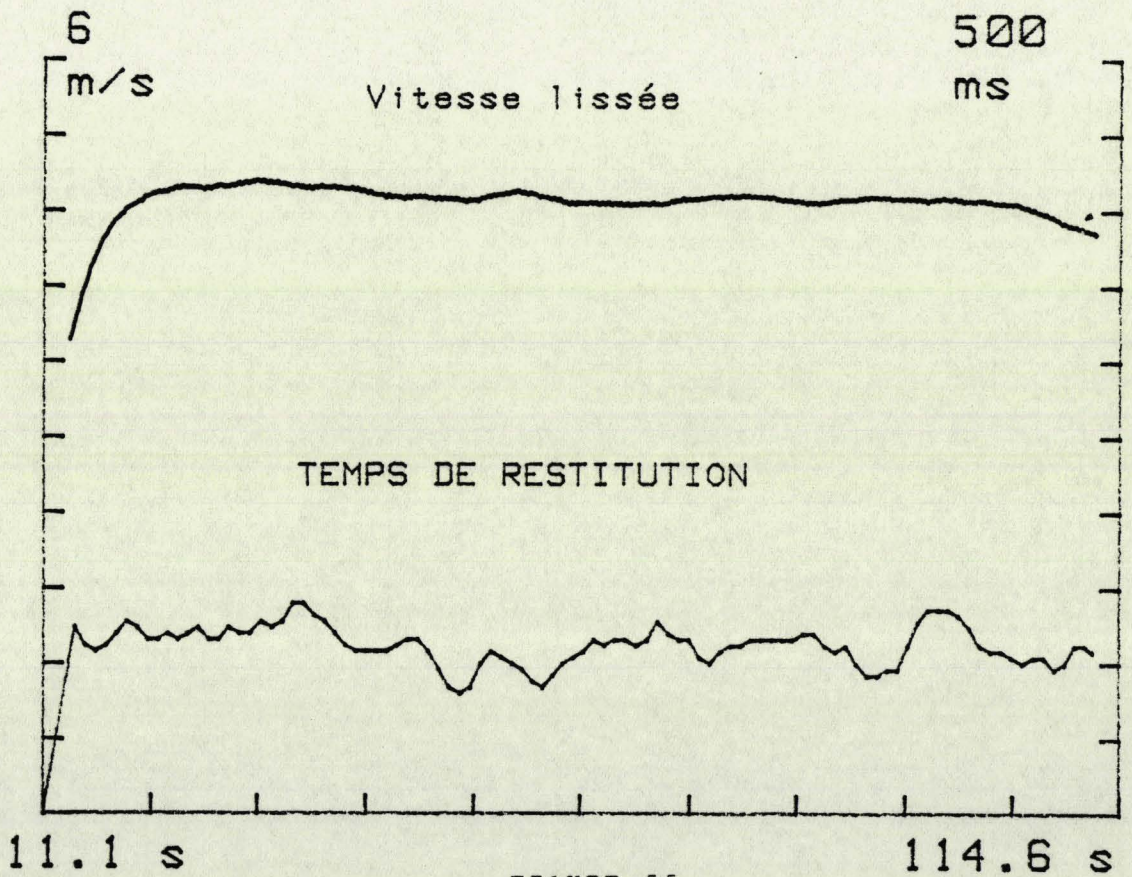


FIGURE 55



IV. 2 - CALCUL DE LA TRAINEE

IV.2.1 - Définition

Le kayak en évolution est soumis à une trainée consécutive à deux types d'efforts

- des efforts hydrodynamiques exercés sur la carène du kayak de résultante \vec{T}
- des efforts aérodynamiques exercés sur la partie émergée du kayak et sur l'équipage de résultante \vec{A} .

Ces efforts \vec{T} et \vec{A} fonctions de la vitesse du kayak, dépendent de l'état de surface du kayak, du poids de l'ensemble kayak et équipage, de la vitesse du vent, de la surface soumise à l'action du vent.

Le calcul expérimental des seuls efforts \vec{T} est difficile à mettre en oeuvre car il nécessite le maintien en stabilité latérale du kayak, celui possédant une vitesse V et n'offrant pas de résistance à l'air. Il faudrait d'autre part effectuer ce calcul pour une gamme de poids embarqués permettant la comparaison avec des poids d'équipage différents. Néanmoins la Fédération pourrait envisager de tels essais en bassin de carène.

Pour ce travail nous nous sommes limités à l'acquisition de l'ensemble $\vec{T} + \vec{A}$ à partir du système mis en oeuvre.

En effet, le kayak en évolution libre, c'est-à-dire sans pagaie, vérifie la relation dynamique suivante :

$$\vec{A} + \vec{T} = (m_0 + m_1 + m_2) \frac{d\vec{V}}{dt}$$

Le kayak étant lancé à vitesse élevée par l'équipage, les pagayeurs arrêtent de pagayer ; l'acquisition de la vitesse permet alors de déterminer la trainée globale en fonction de celle-ci.

$$T_r = A + T = f(v)$$

IV.2.2 - Logiciel de calcul de trainée

La durée de l'enregistrement d'une course étant de 5 minutes, il est possible de réaliser trois descentes de vitesse. La surface de l'eau n'étant pas toujours très calme et les pagayeurs immobiles, il est préférable d'effectuer un moyennage permettant une meilleure approche de la trainée. Celle-ci définie précédemment, est caractéristique du kayak et de son équipage évoluant dans des conditions spécifiques et souvent momentanées : poids de l'équipage, vitesse et direction du vent. Il est donc nécessaire pour son application, de respecter ces conditions et de déterminer cette trainée pour chaque course.

Nous avons donc réalisé un logiciel qui, à partir du relevé d'une à trois plages horaires, permet le calcul de la fonction $Tr = f(V)$.

Ces trois plages horaires délimitent cinq gammes de vitesse successives à partir de la vitesse mesurée la plus élevée à celle la plus faible. Pour chacune de ces gammes de vitesse, il existe donc 1, 2 ou 3 acquisitions dont on réalise la moyenne sachant que les acquisitions supérieures des trois plages horaires appartiennent à ce moyennage. Il est ainsi créé une courbe de vitesse en fonction du temps, synthétique des trois essais, dont les valeurs maximale et minimale correspondent aux valeurs maximale et minimale mesurées lors de ces essais.

Cette courbe de vitesse présente des variations instantanées qui s'opposent à un calcul précis de la trainée. Nous effectuons donc un filtrage numérique récurrent dont l'étude a été réalisée par Antoine VERNEY (référence 7) et qui consiste en une moyenne pondérée. Les coefficients de pondération sont calculés pour que ce traitement se comporte en filtre passe-bas avec une fréquence de coupure f_c et une largeur de coupure D .

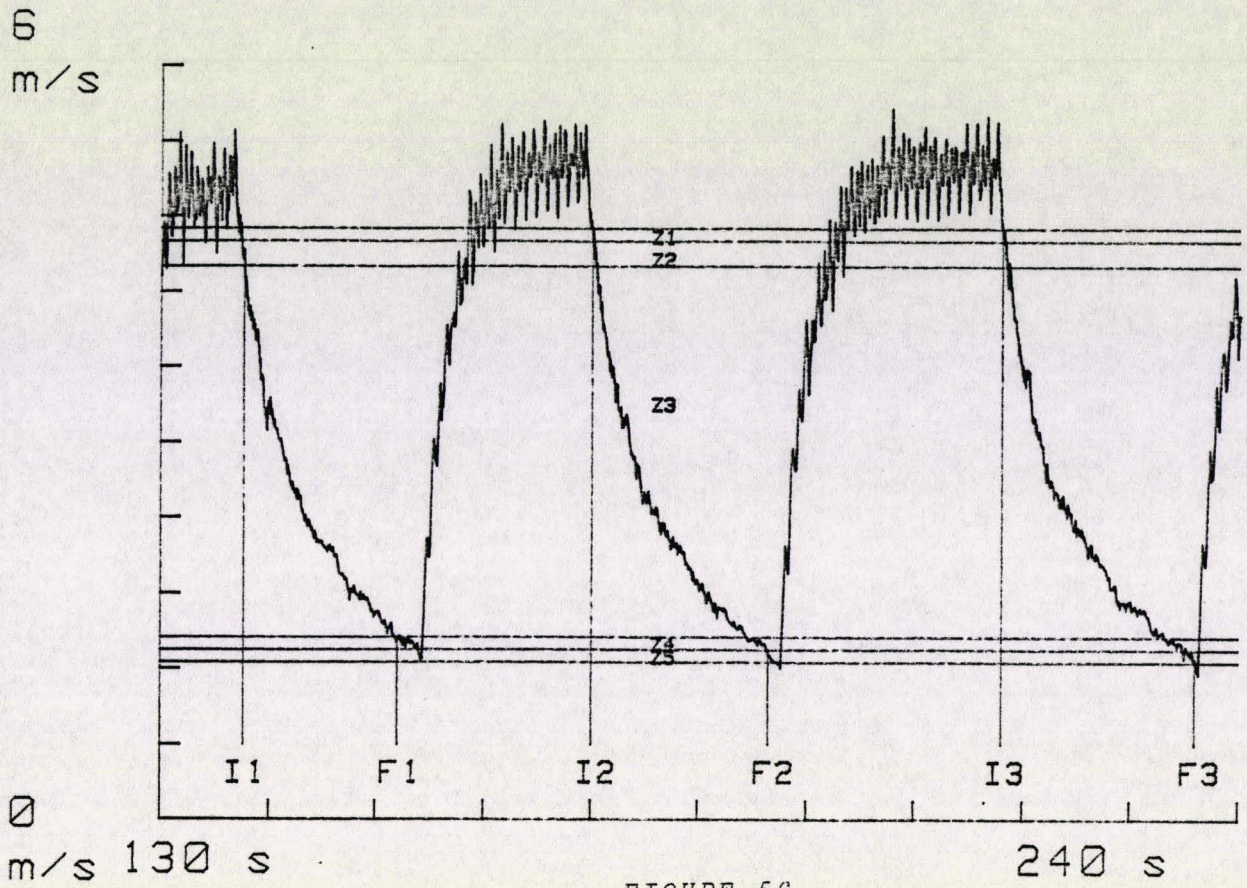


FIGURE 56

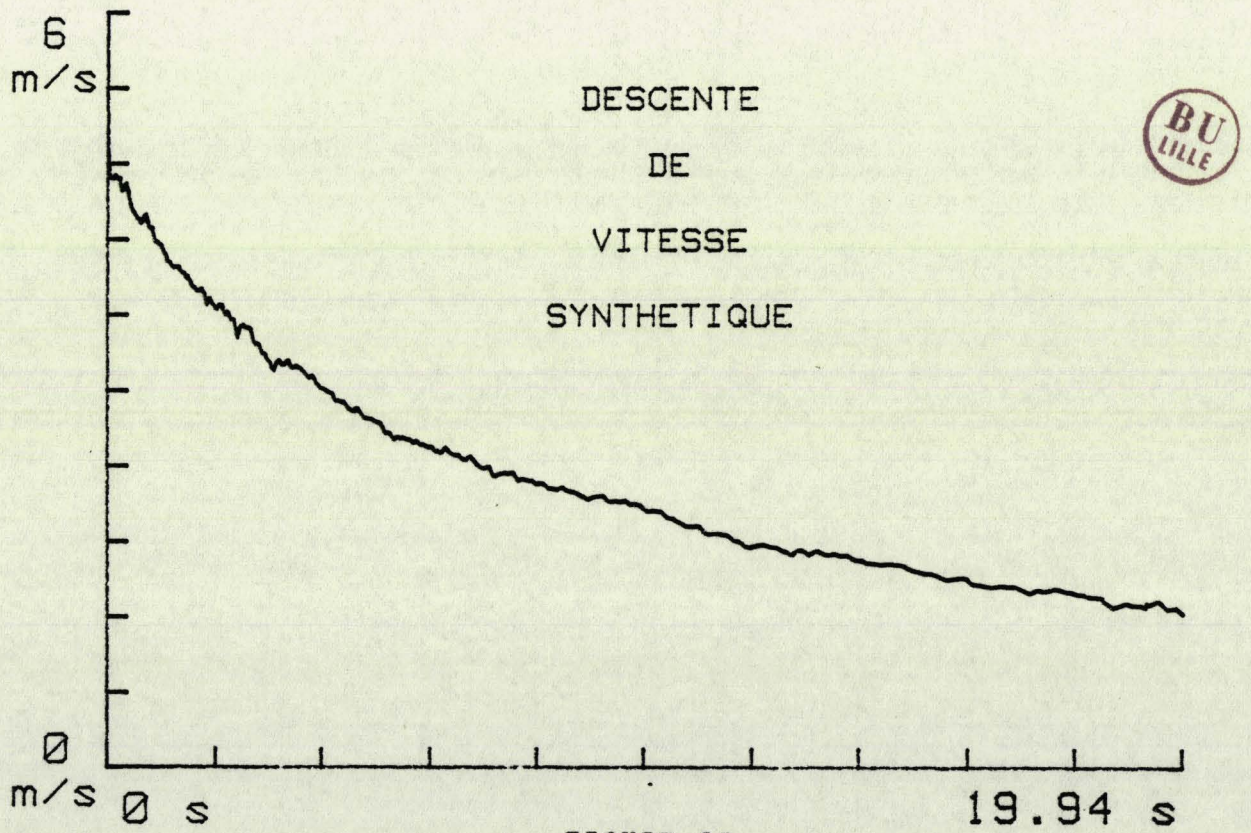
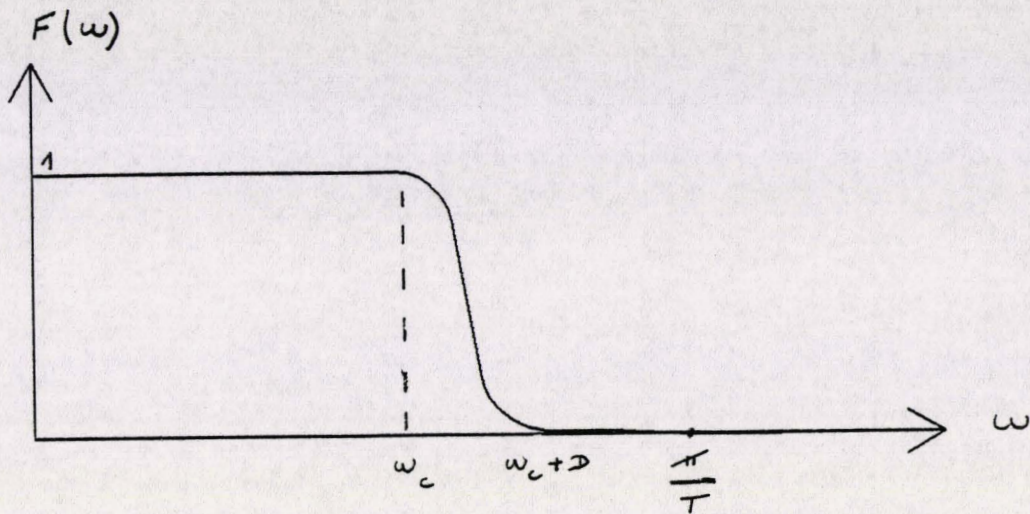


FIGURE 57

La forme analytique de la fonction de transfert de ce filtre est la suivante :



si T est la période d'échantillonnage (ici 0.02 s) la valeur $V(t)$ devient :

$$\overline{V(t)} = A_{-N} V(t-NT) + \dots + A_{-k} V(t-kT) + \dots$$

$$+ A_0 \cdot V(t) + \dots + A_k V(t+kT) + \dots + A_N V(t+NT)$$

avec $A'_0 = (\omega_c + \frac{D}{2}) \frac{T}{\pi}$

$$A'_k = \frac{\cos(kT\omega_c)}{4k} \quad \text{si} \quad k = TD\pi$$

$$A'_k = \frac{\pi}{k(\pi^2 - k^2 T^2 D^2)} \sin(kT(\omega_c + \frac{D}{2})) \cos(\frac{kTD}{2}) \quad \text{si} \quad k \neq TD\pi$$

et
$$A_k = A'_k - \frac{1 - \sum_{k=-N}^N A'_k}{2N + 1}$$

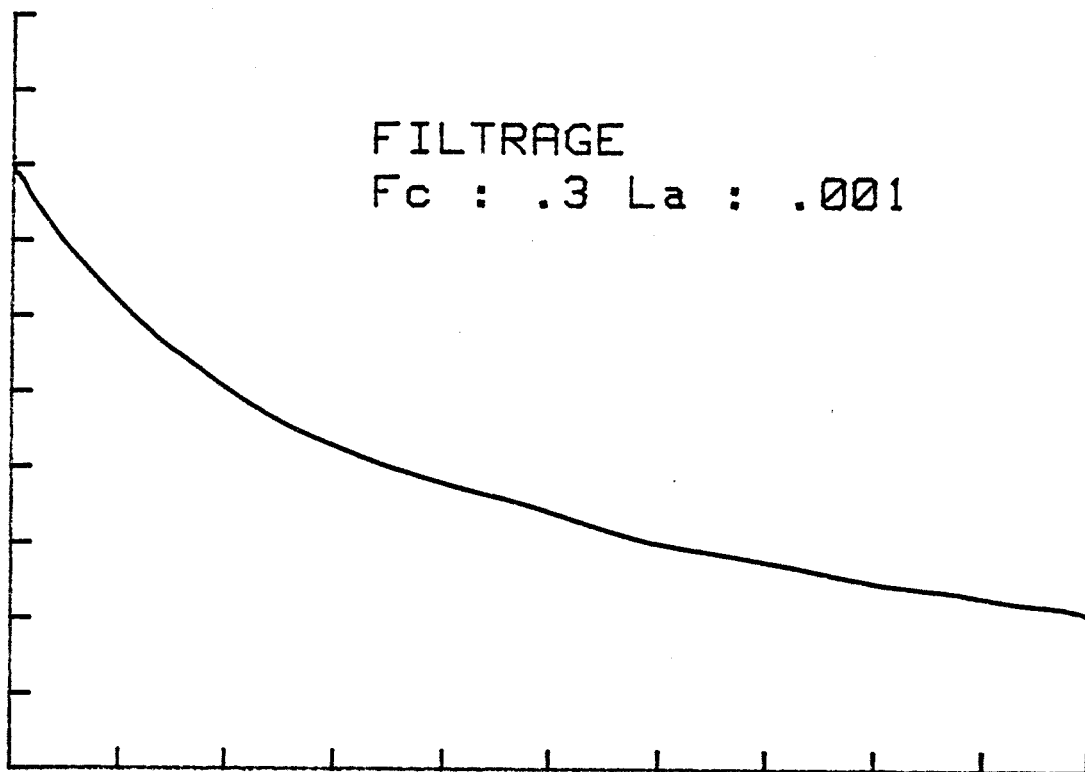


FIGURE 58

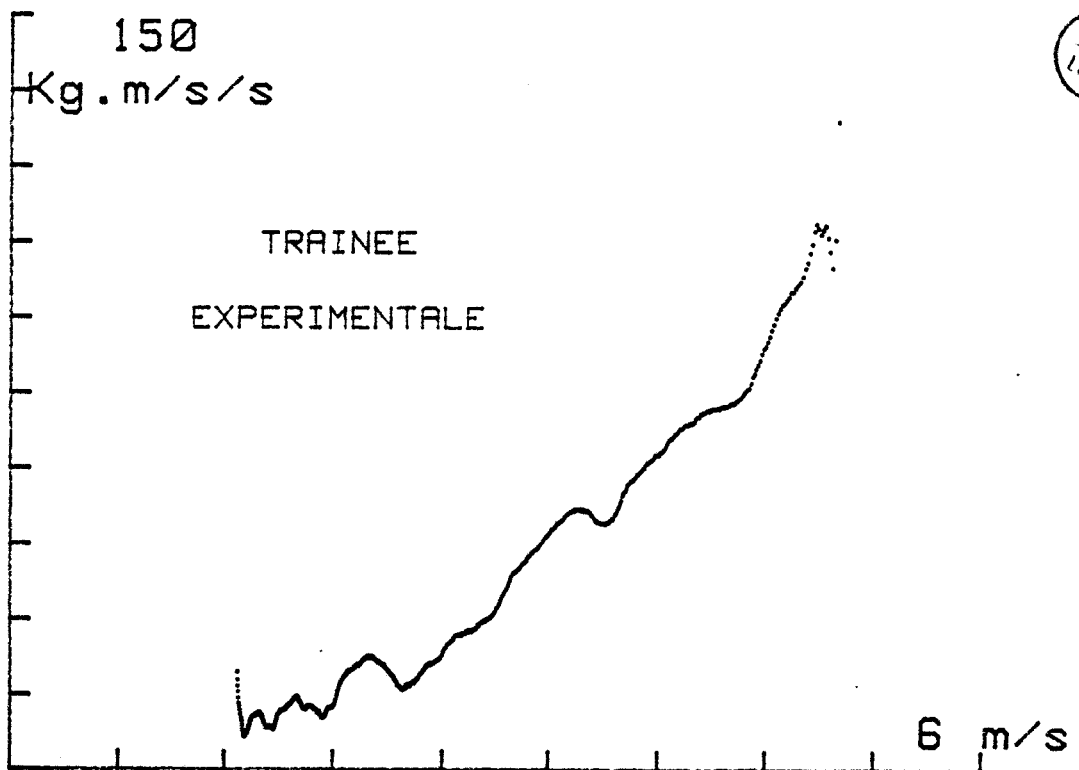


FIGURE 59

Pour notre application, nous avons choisi $\omega_c = 1.8$ rd/s et $D = 6 \cdot 10^{-3}$ rd/s, le traitement s'effectuant sur 62 échantillons de part et d'autre de t . ($N = 62$).

Dans une deuxième phase, nous calculons pour chaque $V(t)$, $\frac{V(t+5T) - V(t-4T)}{10 T}$ puis par un traitement d'interpolation par les moindres carrés, nous déterminons $Tr = f(V)$ où f est un polynôme du 3ème degré.

Nous tenons à remarquer qu'il aurait été plus rapide et même plus précis d'effectuer le lissage et l'interpolation $Tr = f_i(V)$ de chacune des trois descentes en vitesse, puis de calculer la fonction f moyenne des f_i en prenant pour coefficients du polynôme la moyenne des coefficients de chaque f_i .

$$f_i(V) = \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^j$$
$$f(V) = \sum_{j=0}^3 \frac{\left(\sum_{i=1}^3 a_{ij} \right) x^j}{3}$$

L'inconvénient de ce traitement concerne le domaine de validité de la fonction f . En effet, la fonction $Tr = f_i(V)$ déterminée par interpolation n'est valide que sur le domaine $|V_{i_{\text{mini}}}, V_{i_{\text{maxi}}}|$, la fonction f moyenne résultante des f_i ne serait donc valide que sur l'intersection des trois domaines de validité, contrairement à la fonction f que nous réalisons, qui est valide sur la réunion des trois domaines.

Nous remarquons également que la trainée aérodynamique est exercée par un vent apparent \vec{V}_a tel que :

$$\vec{V}_a = \vec{V}_R - \vec{V} - \vec{V}_c$$

avec \vec{V}_R : vitesse du vent réel dans un repère lié à la terre

\vec{V} : vitesse du kayak dans un repère lié à l'eau

\vec{V}_C : vitesse du courant dans un repère lié à la terre

De ce fait, l'extrapolation de f pour $V = 0$ correspond à la traînée aérodynamique exercée par

$$\vec{V}_a = \vec{V}_R - \vec{V}_C$$

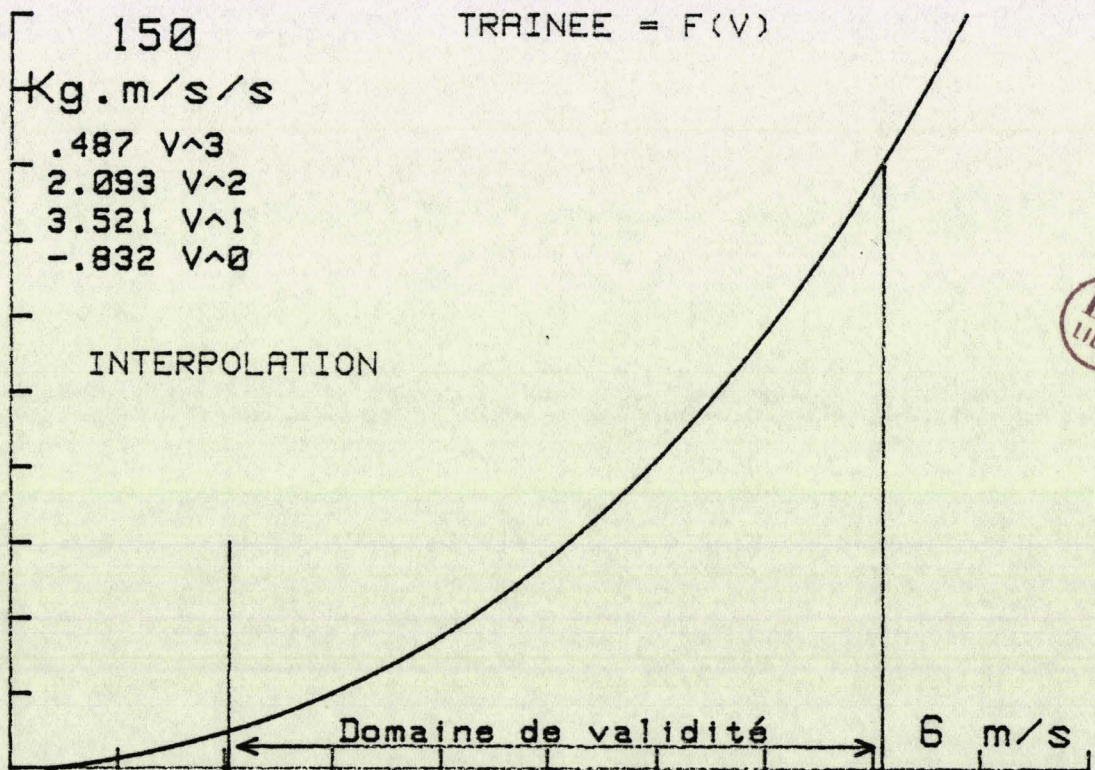


FIGURE 60

IV. 3 - TRANSFERTS ENERGETIQUES

IV.3.1 - Energie contenue dans la pagaie

Nous avons vu au paragraphe II.2.3 que l'énergie contenue dans la pagaie était égale à

$$\epsilon = \frac{F^2}{6 EI} a^2(a+b)$$

avec : F réaction de l'eau sur la pale

a distance de la main tractrice au point d'application de F

b distance entre les deux mains

A partir du calcul expérimental de la flèche de la pagaie sur banc de mesure, nous obtenons :

$$\epsilon = \frac{1}{2} F^2 a^2(a+b) \times C$$

avec : F en newtons et a, b en mètres

et : $C = 9,23 \cdot 10^{-4}$; $\frac{\Delta C}{C} < 2 \%$

Un traitement permet donc après l'introduction des paramètres a gauche, a droite et b, de restituer ϵ en fonction du temps (figure 61).

IV.3.2 - Puissance fournie à la pagaie

Le calcul précédent exprime l'état énergétique de la pagaie, mais ne montre pas directement comment s'effectue l'échange. Nous proposons donc ici de déterminer la puissance fournie à la pagaie en calculant la variation instantanée de l'énergie contenue dans celle-ci (figure 62).

$$P_a(t) = \frac{\epsilon(t) - \epsilon(t-T)}{T}$$

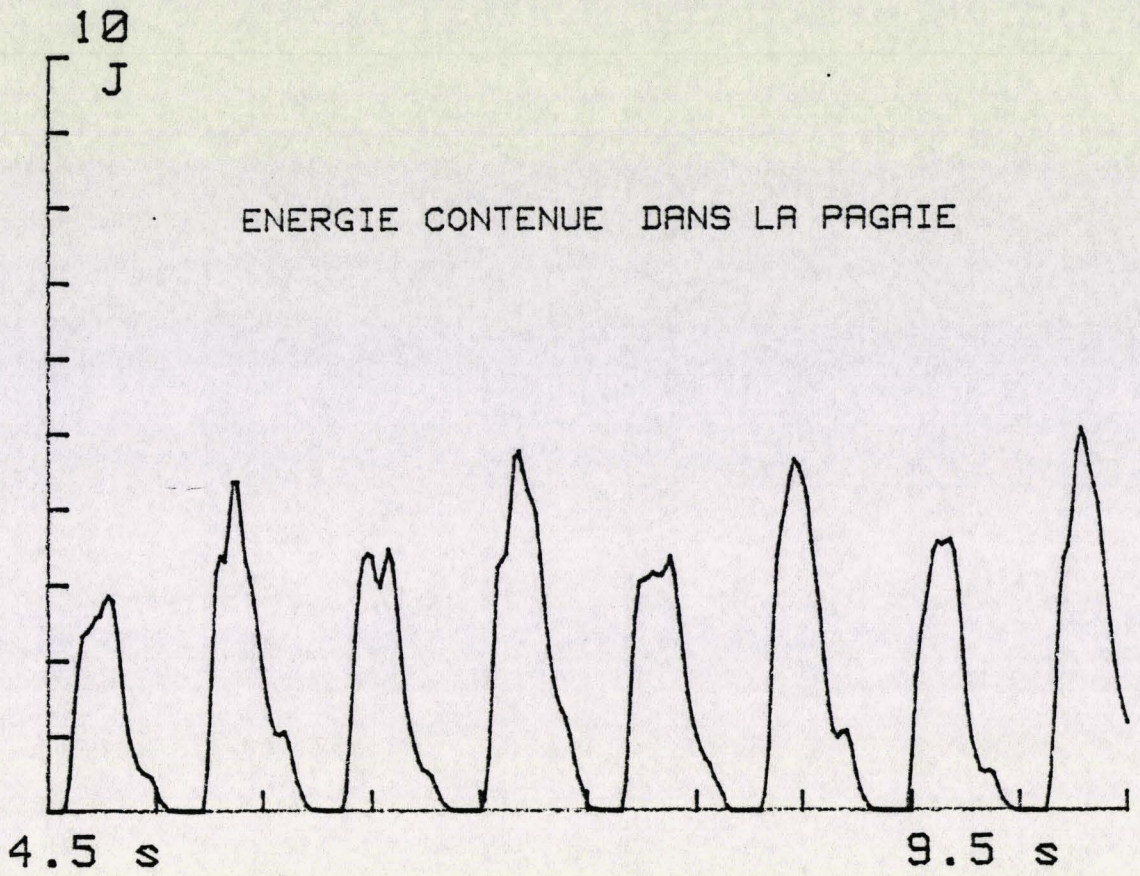


FIGURE 61

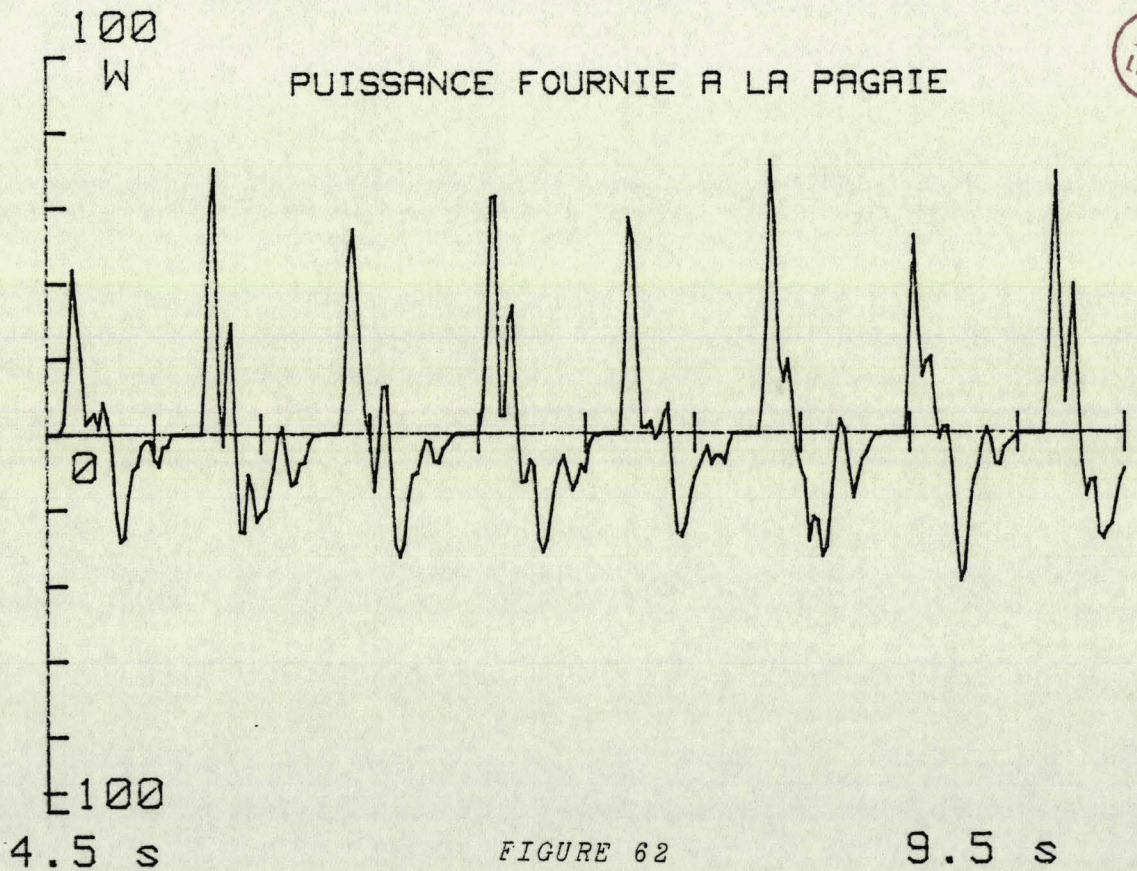


FIGURE 62

Lorsque $P_a(t)$ est positive, le pagayeur transmet sa puissance à la pagaie. Quand elle s'annule, le pagayeur transmet sa puissance uniquement au kayak. Lorsqu'elle devient négative, la pagaie restitue l'énergie accumulée soit au kayak, soit au milieu extérieur (eau et air). On ne peut malheureusement pas dissocier la quantité d'énergie restituée au kayak et celle perdue dans l'eau et l'air.

IV.3.3 - Calcul de l'énergie dépensée par l'équipage

Contrairement à d'autres disciplines sportives, le chronomètre ne permet pas à l'entraîneur de porter un jugement sur l'amélioration des possibilités technique et musculaire d'un pagayeur. Les références actuelles d'efficacité sont, d'une part la comparaison des résultats entre pagayeurs et, d'autre part l'écart du geste avec le modèle esthétique et empirique que possède l'entraîneur.

Nous proposons donc un logiciel permettant le calcul de l'énergie dépensée par l'équipage qui soit un reflet de ses possibilités physiques réelles.

a) Principe

A partir des constatations décrites au paragraphe I.2.3, nous considérons les transferts d'énergie vis-à-vis de la pagaie, et des déplacements relatifs du centre de gravité du pagayeur comme des échanges périodiques de moyenne nulle.

L'énergie dépensée est donc utilisée pour, d'une part vaincre la trainée, et d'autre part augmenter l'énergie cinétique de l'ensemble kayak et pagayeurs.

b) Calcul

Nous effectuons le calcul à partir des acquisitions de vitesse et du calcul de trainée décrit précédemment

$$p(t) = T_r(t) \cdot V(t) + m V(t) \frac{V(t) - V(t-T)}{T}$$

avec $T_r(t)$: fonction de la vitesse à l'instant t

m : masse totale du kayak et de l'équipage.

T : durée entre deux acquisitions.

La puissance instantanée calculée ainsi n'est pas la puissance instantanée réellement fournie par l'équipage, dans la mesure où nous assimilons les vitesses des centres de gravité de l'équipage à celle du kayak proprement dit. Nous sommes donc amenés à réaliser un moyennage sur plusieurs acquisitions

$$P(t) = \frac{\sum_{k=-N}^N T_r(t+kT) \cdot V(t+kT) + m V(t+kT) \cdot \frac{(V(t+kT) - V(t+(k-1)T))}{T}}{2N + 1}$$

Le tracé de $P(t)$ pour N supérieure à 100 révèle la puissance développée fonction du temps. Le logiciel détermine également par une sommation complète des $p(t)$ l'énergie utile dépensée au cours de la plage horaire étudiée et la puissance moyenne développée.

Pour N inférieure à 5, nous observons la puissance instantanée approchée qui permet de déterminer en terme sportif s'il s'agit d'un équipage de type "fluide" ou de type "explosif".

c) Résultat

Ce traitement est le seul qui permette réellement de quantifier les performances des sportifs. Il est ainsi possible de juger des améliorations des pagayeurs, et même de comparer des équipages. Cependant, nous insistons sur l'importance d'effectuer l'enregistrement des essais de trainée dans des conditions identiques à celle de la course (figure 63).

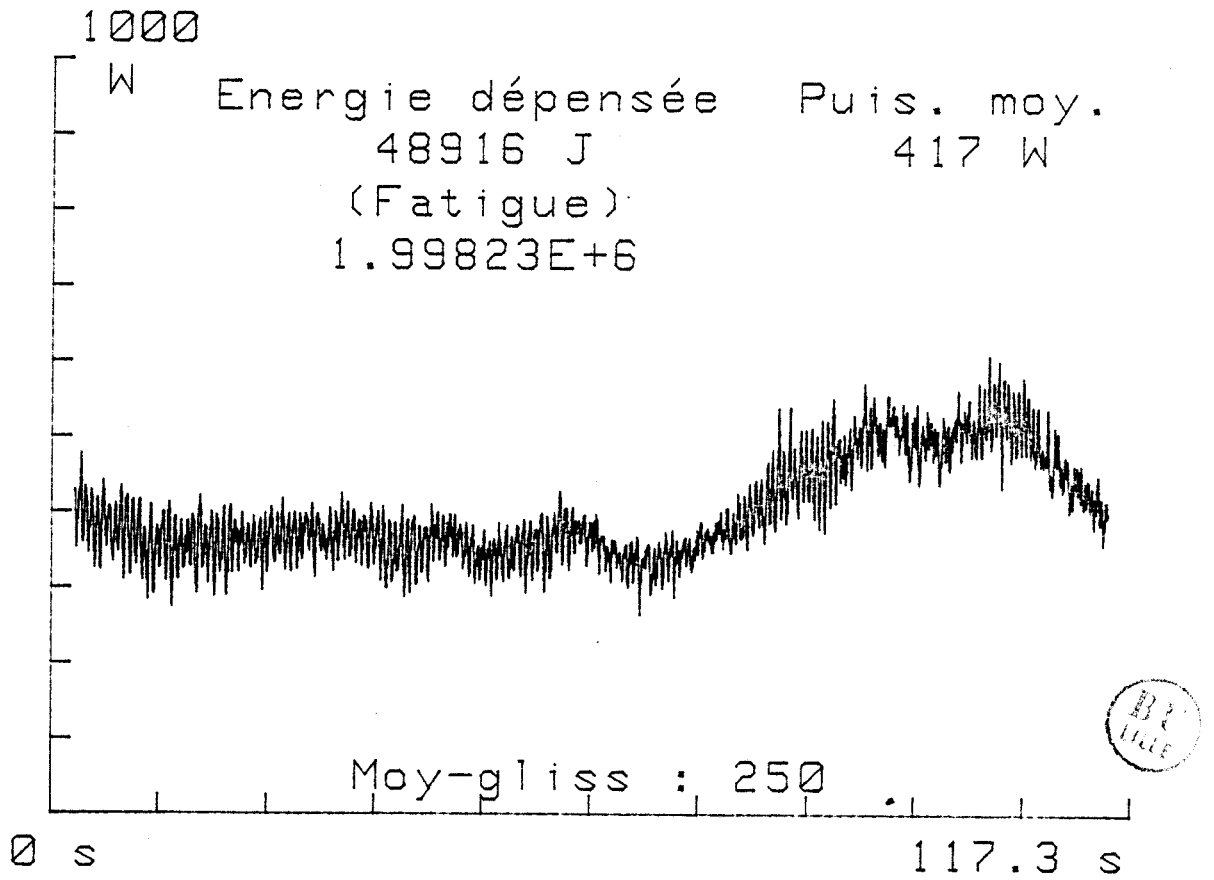


FIGURE 63

IV. 3. 4 - Notion de rendement énergétique

Dans l'étude d'un mécanisme physique et surtout dans le cas particulier du sport, la connaissance du rendement énergétique permet d'améliorer le mécanisme concerné en minimisant les pertes énergétiques, et par conséquent d'optimiser les performances à capacité initiale égale.

Ce rendement est défini comme le rapport de l'énergie transmise à l'ensemble kayak - équipage, à l'énergie dépensée par le pagayeur. Le numérateur de ce rapport est calculé au paragraphe précédent. Le dénominateur correspond à la dépense énergétique musculaire du pagayeur. Cette dépense musculaire correspond au bilan énergétique de plusieurs réactions biochimiques et possède trois destinations :

- transformations moléculaires
- échauffement local
- énergie mécanique

L'énergie mécanique dépensée pendant une durée T est l'intégrale de la puissance mécanique fournie pendant cette durée. Cette puissance est attribuée pour une part à la pagaie, pour l'autre part à l'ensemble kayak et équipage. L'intégrale de la puissance fournie à la pagaie est globalement nulle et l'accumulation momentanée d'énergie dans cette pagaie est d'une part perdue dans l'air ou l'eau et, d'autre part restituée au kayak et son équipage. Par conséquent le calcul de l'énergie de déformation contenue à tout instant dans la pagaie ne permet pas d'estimer l'énergie dépensée. Par contre en assimilant la pagaie à un ressort, nous pouvons considérer la force, correspondant à l'énergie accumulée, dont la sommation au cours du temps constitue la fatigue engendrée : cette force diffère de la réaction de l'eau sur la pàle dans la mesure où elle dépend des positions relatives des mains. En effet, à partir de l'expression $\epsilon = R \times (\text{mesure})^2$ dans laquelle R dépend de la position des mains, nous calculons la force qui engendrerait la même énergie de déformation ϵ , mais avec une position des mains standard pour laquelle les paramètres a, b, c valent respectivement 0.5, 0.8, 9.23×10^{-4} (voir IV.3.1). Cette force fictive est sommée sur la plage horaire étudiée et le résultat est affiché sans unité sous le libellé fatigue. Il est ainsi possible d'accéder à la notion de rendement en comparant pour des phases de courses correspondant à une même dépense énergétique utile, la fatigue subie pendant ces phases.

Nous nous sommes également posé le problème de connaître l'influence de l'évolution de vitesse au cours d'une course sur la dépense énergétique. Les caractéristiques biomécaniques, concernant la capacité énergétique et la puissance développable à un instant donné de la course, dépendent effectivement des possibilités du pagayeur par rapport à l'évolution passée de la vitesse : un pagayeur démarrant à une vitesse trop élevée aura moins de ressources pour la fin de la course. Cependant parallèlement à ces considérations, nous nous sommes aperçus qu'un kayak parti d'une vitesse nulle et parvenant à une vitesse V_T déterminée après avoir parcouru une distance D pendant T , a dépensé, suivant le chemin de vitesse qu'il a connu, une énergie variable.

Il existe donc un chemin de vitesse déterminant une énergie minimale à fournir.

Les données du problème sont les suivantes :

$$D = \int_0^T V(t) dt$$

$$V(T) = V_T \quad V(0) = V_0$$

$$Tr = f(V) = \sum_{i=0}^p a_i V^i$$

$$\varepsilon = \int_0^T f(V(t)) \times V(t) dt + \frac{1}{2} m(V_T^2 - V_0^2)$$

Il faut trouver $V(t)$ pour minimiser ε .

Si nous prenons $V_m = \frac{D}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$, $V(t)$ évolue nécessairement autour de V_m .

Si l'on pose $P(V)$ la puissance nécessaire pour se maintenir à une vitesse V , pour un $\Delta V > 0$, $Tr(V_m + \Delta V) > Tr(V_m - \Delta V)$ et on obtient donc :

$$P(V_m + \Delta V) - P(V_m) > P(V_m) - P(V_m - \Delta V)$$

De ce fait pour minimiser ϵ , l'évolution de $V(t)$ est la suivante :

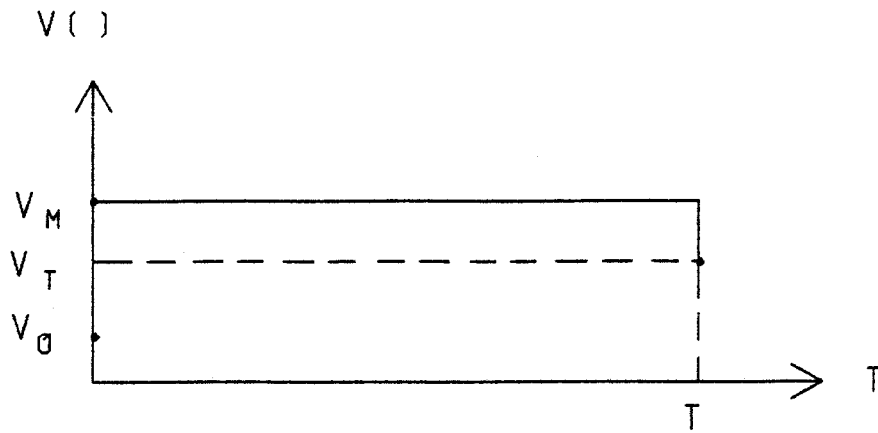


FIGURE 64



Or la réalité physique empêche des variations brusques de vitesse :

- en montée : pour des raisons de puissance maximale que peut fournir l'équipage

- en descente : la pente de la vitesse ne doit pas être, en valeur absolue, supérieure à la pente correspondante aux essais de traînée, en effet cela correspondrait à une récupération énergétique par freinage.

Nous avons donc réalisé un logiciel de simulation sur une évolution de vitesse en trois régimes.

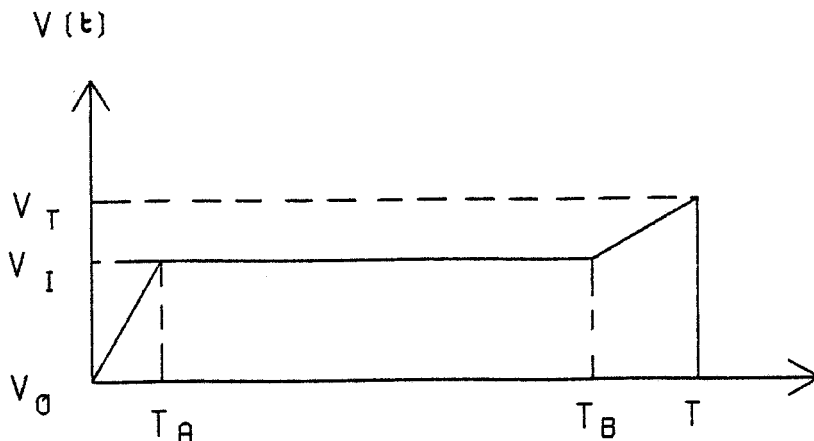


FIGURE 65

Après l'introduction de la distance parcourue D , du temps T , des vitesses V_0 , V_T , V_I avec V_I inférieure ou supérieure à V , le logiciel détermine la plage horaire possible sur T_a .

Dans le cas où V_I est supérieure à V_T , le logiciel empêche une décélération correspondant à un freinage volontaire.

A chaque modification d'un des paramètres, l'énergie nécessaire à ce trajet de vitesse est visualisée, ainsi que ce nouveau trajet. On peut ainsi voir l'influence des paramètres sur cette énergie.

Nous trouvons ainsi que la vitesse doit être la plus constante possible, et que la montée en vitesse au démarrage doit être très brève. La figure 66 montre une course de 500 m réelle et le calcul énergétique correspondant. La figure 67 est une simulation qui approxime cette course, et si l'équipage parvient à diminuer le temps de montée de 2 secondes, il peut parcourir 500 mètres en une seconde de moins, sans avoir dépensé plus d'énergie. (Figure 68).

Cependant parallèlement à ces résultats, il faudrait prendre en compte également, d'une part les données physiologiques et psychologiques, et d'autre part la diminution de la traînée par l'effet de vague créé par un concurrent en avance.

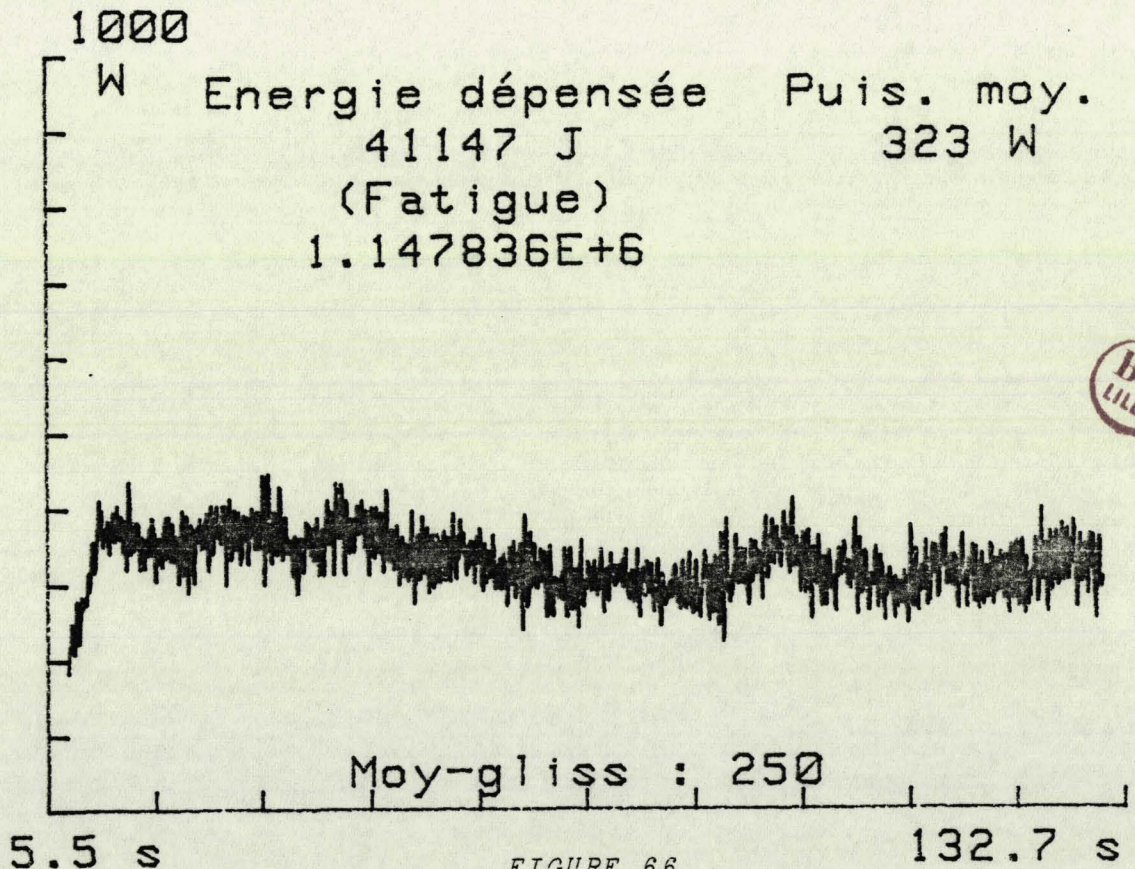


FIGURE 66

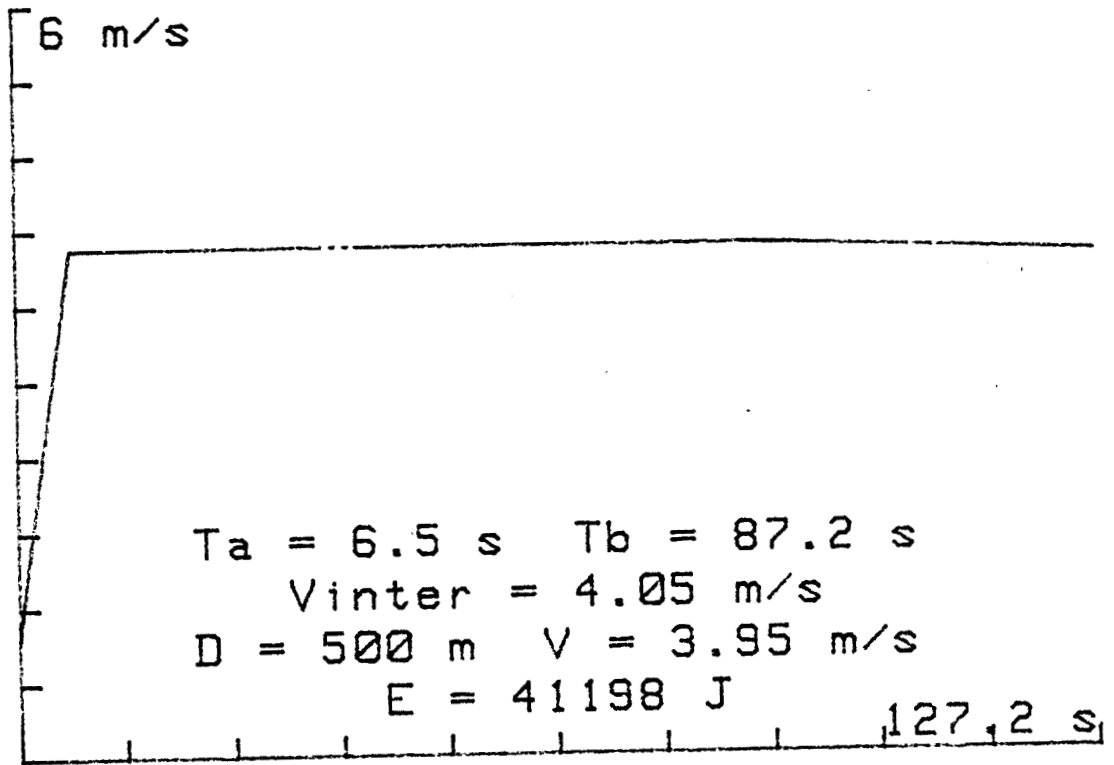


FIGURE 67

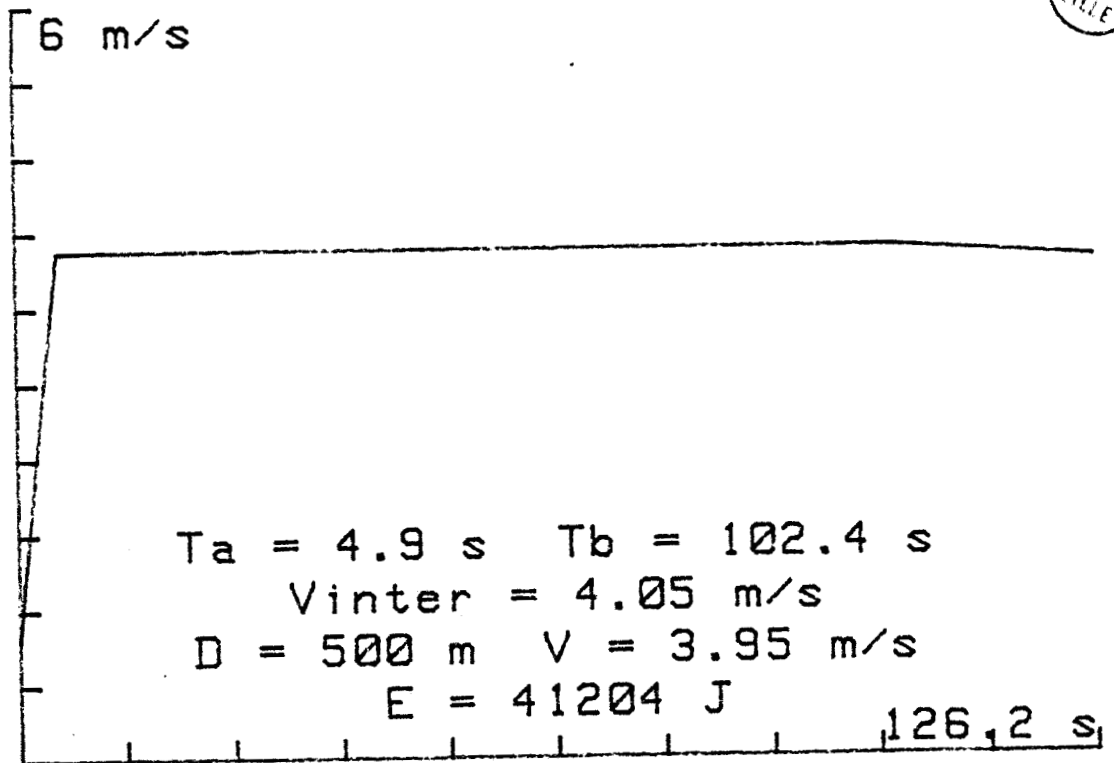
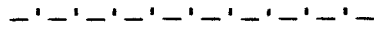


FIGURE 68

C O N C L U S I O N



Nous avons conçu et réalisé un système de traitement des données permettant de présenter sous une forme facilement exploitable des informations relatives à un kayak et à son équipage. L'acquisition proprement dite des paramètres physiques et physiologiques est réalisée par une centrale d'acquisition autonome et légère embarquée sur le kayak.

L'étude des capteurs et des chaînes de mesures a fait l'objet d'un chapitre particulier de façon à estimer la précision obtenue sur les grandeurs mesurées et le lien avec le phénomène physique proprement dit : vitesse du kayak, rythme cardiaque, effort des pagayeurs.

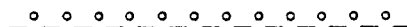
Nous avons adapté le matériel électronique et informatique et développé des logiciels d'exploitation afin de rendre le système souple et interactif pour l'utilisateur, tant lors de la phase d'acquisition des données et de tests des capteurs, que lors de la phase de traitement et d'analyse de ces données.

Outre la restitution simple des paramètres, nous proposons différents traitements qui aident le travail d'observation de l'entraîneur par des données objectives, caractérisent différents styles de coups de pagaie et les comportements divers des équipages, et enfin chiffrent des dépenses énergétiques.

L'utilisation du système, lors de campagnes de mesures, a permis de vérifier d'une part sa souplesse et facilité d'exploitation, et d'autre part l'intérêt des résultats pour les entraîneurs.

Après une période de fiabilisation définitive, le système pourrait être utilisé, outre sa fonction première d'outil d'analyse pour l'entraîneur, à des études plus spécifiques en bassin de carène pour étudier le comportement du kayak et de son équipage dans des conditions déterminées, connues et reproductibles. Enfin la souplesse du système permettra l'adaptation à des configurations diverses telles que K1, K4, 10 000 mètres, voire l'implantation de capteurs supplémentaires permettant une connaissance plus approfondie d'autres phénomènes physiques.

BIBLIOGRAPHIE



- |1| Joseph WARTAK
"Comment lire un électrocardiogramme"
ROUSSEL, 1975.

- |2| J. MAX
"Méthodes et techniques de traitement du signal, et applications aux
mesures physiques"
1980.

- |3| "Basic Interfacing Techniques for series 200 computers Hewlett Packard"
1981.

- |4| LE FLOCH
"Cours de résistance des matériaux"
I.D.N. - 1981.

- |5| MEUNIER
"Cours de probabilités et statistiques"
I.D.N. - 1981.

- |6| Alain LEBAS
"Etude gestuelle comparative des meilleurs kayakistes et renforcement
musculaire"
Brevet d'état d'éducateur sportif 3ème degré - Juin 1982.

- |7| Antoine VERNEY
"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"
Thèse de Docteur Ingénieur - Juin 1982.

|8| Jean-Pierre DELVAL

"Conception et réalisation d'un système de synchronisation d'images vidéo avec un enregistrement numérique"

Mémoire C.N.A.M. - Avril 1984.

|9| F. LOUAGE, J. BAUDET

"Les RAM-CMOS pour une centrale d'acquisition portative et autonome"

Electronique industrielle - n° 70/1-05- 1984.

|10| J. BAUDET, D. DEGARDIN, Y. EMPIS

"Centrale d'acquisition 'Canoë-Kayak' "

Rapport interne U.S.T.L. - Juillet 1983.

|11| Arnaud GRARE

"Programmes informatiques réalisés dans le cadre du projet "kayak" de mars 1983 à juin 1984 : listing, commentaires, mode d'emploi"

Rapport interne U.S.T.L. - Juillet 1984.

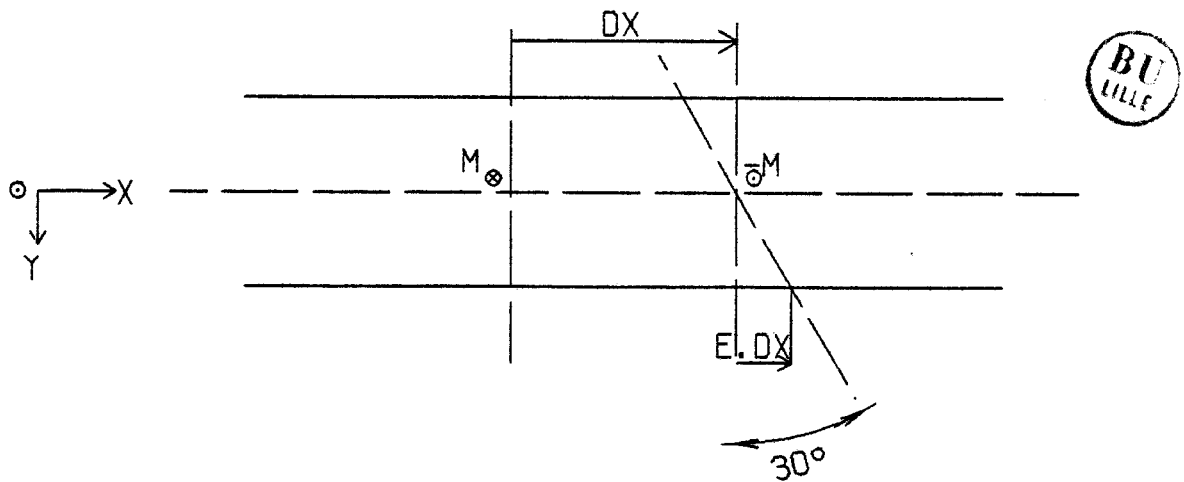
ANNEXE 1

—°—°—°—°—°—°—°—

ETUDE MECANIQUE DE LA PAGAIE

Il s'agit de calculer en appliquant les lois de l'élasticité, la déformation de la pagaie le long de son manche quand celle-ci est installée sur le banc de mesure.

Nous supposons la pagaie soumise à une flexion plane simple : c'est-à-dire que, d'une part le plan des charges est principal pour les sections et contient l'axe de cisaillement, et d'autre part les déformations dues à l'effort tranchant sont négligeables par rapport à celles qui sont dues au moment de flexion.



la tranche dx devient $(1 + e) dx$

$$d\alpha \approx \operatorname{tg}(d\alpha) = -\frac{cdx}{1}$$

$$\text{on a donc } \frac{d\alpha}{dx} = -\frac{e}{r}$$

Or l'expression de la contrainte normale selon la loi de Hooke étant :

$$Ee = \sigma = \frac{M}{I_z} r, \text{ on obtient le résultat suivant :}$$

$$\frac{d\alpha}{dx} = - \frac{M}{EI_z}$$

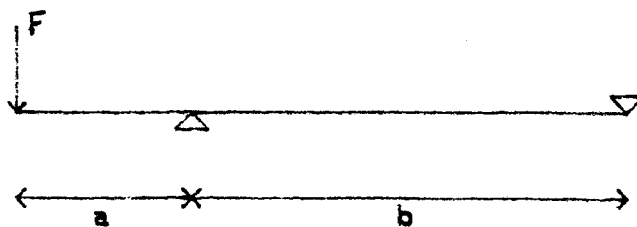
Comme de plus $\alpha \approx \text{tg } \alpha = \frac{dy}{dx}$

on obtient $\frac{d\alpha}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = y''$

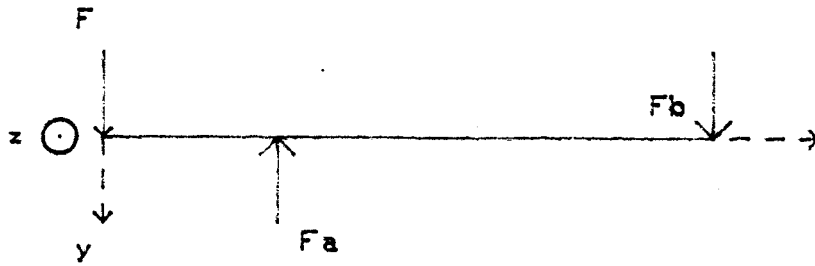
d'où finalement

$$M = - EI_z y''$$

Dans le cas du banc de mesure, la poutre peut être assimilée à un tube sur deux appuis, soumis à une force F en son extrémité



Le système équivaut donc au problème suivant :



La somme des forces appliquées à la poutre est nulle, ainsi que le moment en A :

$$F_B + F = F_A$$

$$b \times F_B = a \times F$$

ou encore :

$$F_A = \frac{a+b}{b} F$$

$$F_B = \frac{a}{b} F$$

Si nous considérons maintenant les déformations, la relation $E_I \times ij = -M$, on peut écrire les équations suivantes :

$$\text{de } x = 0 \text{ à } a \quad EI y'' = Fx$$

$$\text{de } x = a \text{ à } a+b \quad EI y'' = F \left(\frac{a(a+b)}{b} - \frac{a}{b} x \right)$$

A partir des conditions $y = 0$ en $x = a$ et $a + b$ et $y' = c^{te}$ en $x = a$, et en intégrant les relations précédentes, nous obtenons les déformations suivantes :

$$x \leq a : y = \frac{F}{EI} \left| \frac{x^3}{6} - \left(\frac{a^2}{2} + \frac{ab}{3} \right) x + \frac{a^2}{3} (a+b) \right|$$

$$x \geq a : y = \frac{F}{EI} \left| -\frac{a}{b} \frac{x^3}{6} + \frac{a}{b} (a+b) \frac{x^2}{6} - \left(\frac{ab}{3} + \frac{a^3}{2b} + a^2 \right) x + \left(\frac{a^3}{2} + \frac{a^4}{6b} + \frac{a^2 b}{3} \right) \right|$$

$$\text{pour } x = 0 : y = \frac{F}{EI} \frac{a^2}{3} (a+b)$$

Il est possible de calculer l'énergie emmagasinée dans la poutre. Pour une flexion plane, l'expression de l'énergie est la suivante :

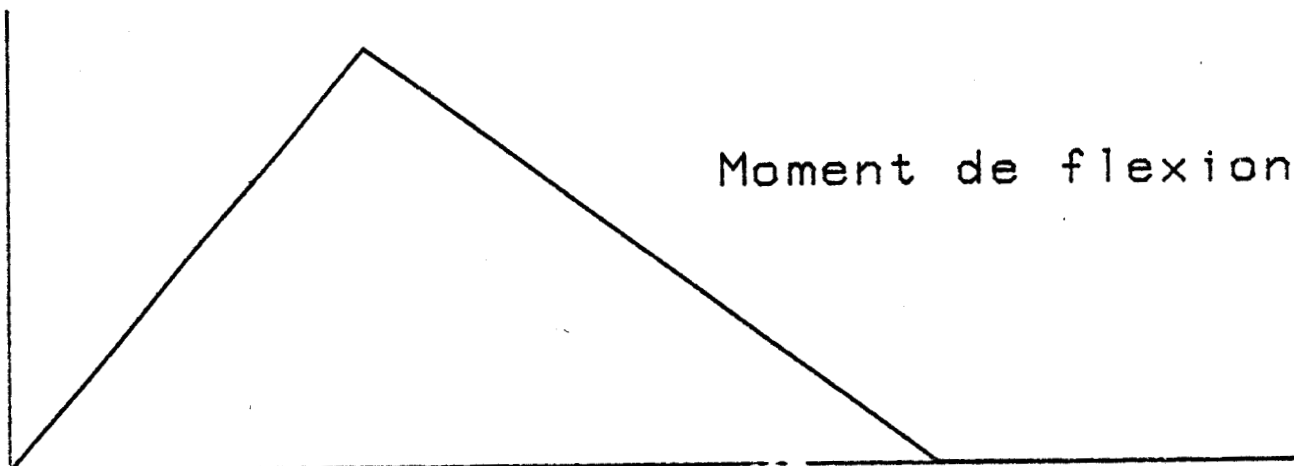
$$\epsilon = \int \frac{M^2}{2EI} dx$$

Nous supposons ici E et I indépendants de x , donc constants sur toute la structure

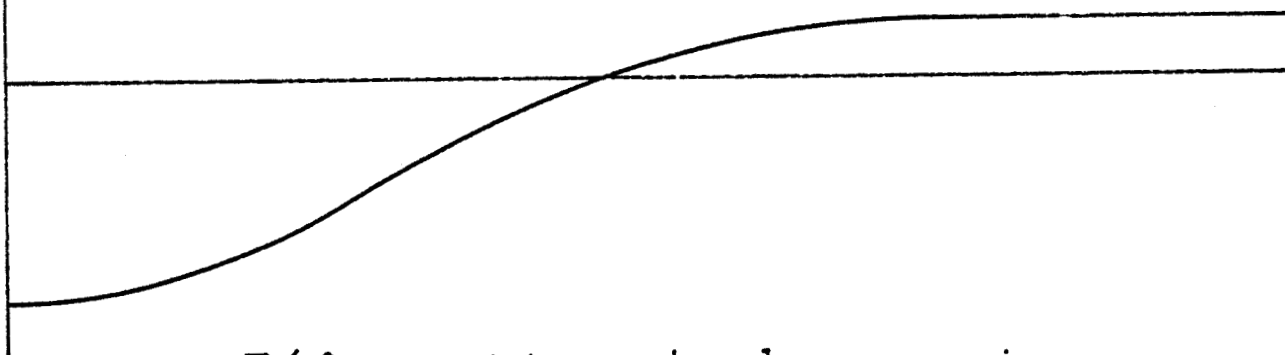
$$\epsilon = \frac{1}{2EI} \int_0^{a+b} M^2 dx$$

Le calcul de cette énergie dans le cas du banc de mesure donne :

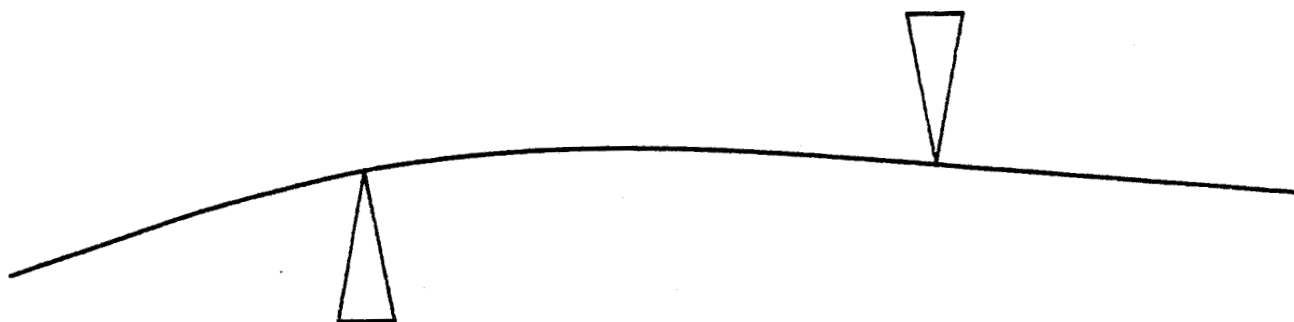
$$\epsilon = \frac{F^2 a^2}{6EI} (a+b)$$



Pente de la déformée



Déformation de la poutre



Bien entendu, nous retrouvons l'énergie calculée en considérant le travail d'une force ayant évolué de 0 à F, dont le point d'application s'est déplacé de $\frac{F a^2}{3 EI} (a+b)$ flèche calculée précédemment

$$\epsilon = \frac{1}{2} F \times \frac{F a^2}{3 EI} (a+b)$$

D'autre part comme $e = \frac{M}{EI_2} r$ et que $e = \frac{\Delta(dx)}{dx}$

nous obtenons bien M proportionnel à $\frac{\Delta l}{l}$ que nous mesurons par les jauges d'extensiométrie. Celles-ci étant situées à $x = \lambda F$

$$\boxed{\text{Mesure} = K \lambda F}$$

et donc
$$\epsilon = \frac{1}{CK^2 EI} (\text{Mesure})^2 \frac{a^2}{\lambda^2} (a+b)$$

$$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} = \left(\frac{2}{a} + \frac{1}{a+b} \right) \Delta a + \frac{1}{b} \Delta b - \frac{2}{\lambda} \Delta \lambda$$

Pour le banc de mesure $\Delta \lambda = 0$ on a alors pour une pagaie standard :

$$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \cong 5 \times \Delta a + 1,25 \times \Delta b$$

avec Δa et Δb en cm

Pour un coup de pagaie λ peut varier, notamment à l'attaque et au dégagé : dans ce cas, on a $\Delta a = \Delta \lambda$ puisque c'est le point d'application de la réaction de l'eau qui se déplace.

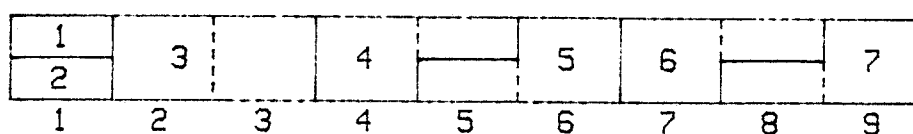
On a donc : $\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \cong 0.$

ANNEXE 2

—°—°—°—°—°—°—

ORGANISATION DES DONNEES DANS LA CENTRALE ET TRANSFORMATIONS SUCCESSIVES

Les données acquises par la centrale sont regroupées en mots de 9 octets chacun :



Chacun des mots correspond à une durée de 40 ms et regroupe 7 informations :

- deux acquisitions successives des états cardiaques et des forces dont l'échantillonnage a lieu toutes les 20 ms
- une valeur de vitesse fournie par la périodemètre
- un identificateur pouvant être utilisé pour contrôler la validité et le séquençement des mots.

L'identificateur (1) est formé par 4 bits du premier octet et prend successivement les valeurs A, B, C, D, E, F.

Les 4 bits restant du premier octet (2) déterminent les états logiques de l'ECG 1 et ECG 2 pour deux acquisitions successives.

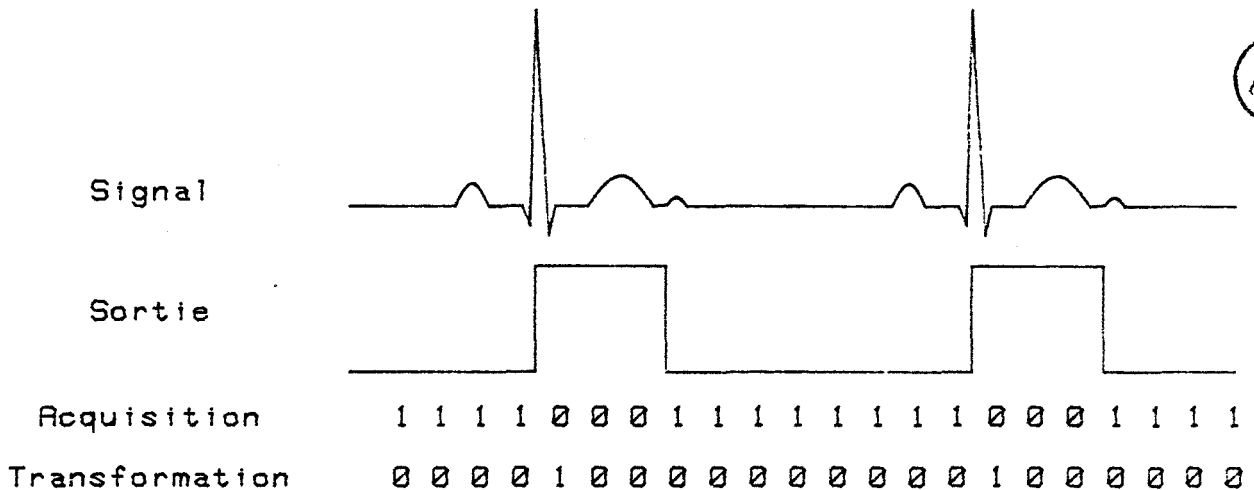
Les deuxième et troisième octets (3) contiennent une valeur de période relative à la vitesse variable de 0 à 9999, l'incrément étant de 20 μ s.

Les informations (4), (5), (6), (7) sont constituées de 12 bits chacune et déterminent les valeurs de la force 1 et de la force 2 pour les 20 premières ms (4), (5) et les 20 ms suivantes (6), (7). Ces valeurs s'étendent de 0 à 999, le zéro physique correspondant à 511.

Lors de l'émission des données de la centrale vers le calculateur, la centrale effectue la check-sum des données, l'émet à la suite de celles-ci. Le calculateur peut ainsi vérifier la bonne émission de ces données.

Pendant la réception des données le calculateur effectue une première transformation :

Etat cardiaque : l'état logique 1 correspond au repos cardiaque, l'état logique 0 révèle l'impulsion logique consécutive à la détection d'une contraction. Nous transformons ces états en l'état 1 pour chaque transition de 1 à 0, et l'état 0 pour toutes les autres acquisitions.



Force : les valeurs fournies sont transformées suivant l'étalonnage en valeurs de force correspondant au banc de mesure. L'amplificateur installé sur la pagaie permet le réglage du zéro électronique. Cependant un décalage de ce zéro peut subvenir notamment si la pagaie n'a pas encore été utilisée. Nous donnons donc à l'utilisateur la possibilité à ce stade de procéder à un décalage.

Vitesse : la valeur fournie par le périodémètre est transformée en valeur réelle de vitesse.

L'ensemble de ces transformations détermine des valeurs entières qui conservent toute la précision des valeurs d'origine, et le listing correspondant est le suivant

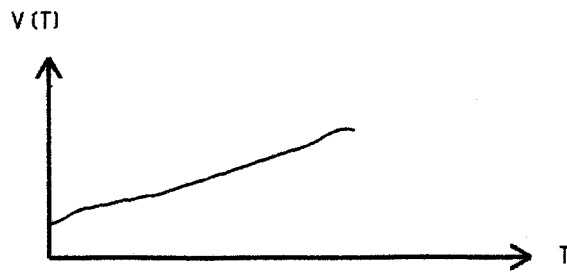
```
OPTION BASE 1
COM /Mesures/ Données$(16400) BUFFER,Pga_envoyé$(1056) BUFFER,Pgm_relu$(1056) BUFFER
COM /Divers/ Vitesse,Signal_reçu,Erreur,Réception,Seizaine,Correction,Série,Mot_code,Temp,Device
COM /Stock/ INTEGER Stockage(14560,5)
COM /Plus/ INTEGER Ecg(2)
DIM V$(31)
Z2=INT(Correction/100)           ! Correction 2
Z1=Correction MOD 100           ! Correction 1
R1=511+Z1                       ! Centrage 1
R2=511+Z2                       ! Centrage 2
M=98.1/14.0                     ! 10µg/pente
DISP "Demande de réception"
Cts: CONTROL Série,5;1           ! RTS à 0 , DTR à 1
STATUS Série,1;Signal_reçu      ! CTS ?
IF Signal_reçu<>176 THEN GOTO Cts ! DTR,DCD,CTS à 1 ?
DISP "Demande de réception acceptée"
ASSIGN @Série TO Série
ASSIGN @Données TO BUFFER Données$
TRANSFER @Série TO @Données;COUNT 16400,CONT ! Ordre de réception des données
CONTROL 1,1;15
CONTROL 1,0;9
OUTPUT 1;" CENTRALE -----> ORDINATEUR "
CONTROL 1,0;9
OUTPUT 1;" TRANSFERT NUMERO ";Seizaine;" "
Somme=0
Calcul: FOR Acq=0 TO 1819
Dess:   STATUS @Données,4;Pointeur           ! Nombre de données entrées ?
        IF Pointeur<(Acq+1)*9 THEN GOTO Dess ! Données suffisantes
Calbis: V$=Données$(Acq*9+1,(Acq+1)*9)      ! 2 * 20 ms
        N=Acq*2+1+3640*(Seizaine-1)        ! Numéro de l'acquisition
        R=NUM(V$(1,1))                     ! Octet d'ecg
        Somme=Somme+R
        Stockage(N,3)=(BIT(R,7)-1)*Ecg(1)   ! Traitement ecg 1
        Ecg(1)=-BIT(R,7)
        Stockage(N,2)=(BIT(R,6)-1)*Ecg(2)   ! Traitement ecg 2
        Ecg(2)=-BIT(R,6)
        Stockage(N+1,3)=(BIT(R,5)-1)*Ecg(1) ! Traitement ecg 1
        Ecg(1)=-BIT(R,5)
        Stockage(N+1,2)=(BIT(R,4)-1)*Ecg(2) ! Traitement ecg 2
        Ecg(2)=-BIT(R,4)
        S=NUM(V$(2,2))                     ! Octet haut speedo
        Somme=Somme+S
        T=NUM(V$(3,3))                     ! Octet bas speedo
        Somme=Somme+T
        Speedo=INT(S/16)*1.E+3+S MOD 16*1.E+2+INT(T/16)*1.E+1+T MOD 16 ! Calcul de la période du speedo
        IF Speedo>400 AND Speedo<9999 THEN ! Détection overflow
            Vitesse=INT(5.0415555E+6/Speedo) ! Calcul de la vitesse
        ELSE
            Vitesse=0
        END IF
```

```

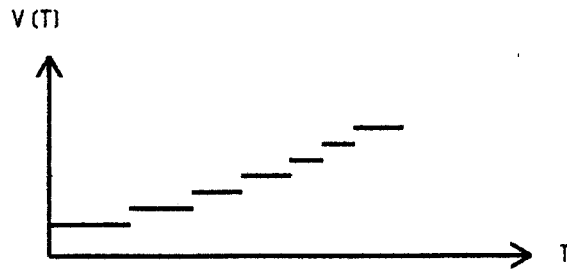
Stockage(N,1)=Vitesse
Stockage(N+1,1)=Vitesse
U=NUM(V$(4,4))
Somme=Somme+U
V=NUM(V$(5,5))
Somme=Somme+V
W=NUM(V$(6,6))
Somme=Somme+W
X=NUM(V$(7,7))
Somme=Somme+X
Y=NUM(V$(8,8))
Somme=Somme+Y
Z=NUM(V$(9,9))
Somme=Somme+Z
Stockage(N,4)=(INT(X/16)*1.E+2+X MOD 16*1.E+1+INT(Y/16)-R1)*M      ! Force 1
Stockage(N,5)=(Y MOD 16*1.E+2+INT(Z/16)*1.E+1+Z MOD 16-R2)*M      ! Force 2
Stockage(N+1,4)=(INT(U/16)*1.E+2+U MOD 16*1.E+1+INT(V/16)-R1)*M    ! Force 1
Stockage(N+1,5)=(V MOD 16*1.E+2+INT(W/16)*1.E+1+W MOD 16-R2)*M    ! Force 2
NEXT Acq
FOR I=16381 TO 16384
Pt:   STATUS @Données,4;Pointeur
      IF Pointeur<I+3 THEN GOTO Pt
      Somme=Somme+NUM(Données$(I,I))
NEXT I
Somme=Somme+(NUM(Données$(16385,16385))-255)*256.+NUM(Données$(16386,16386))-256)+NUM(Données$(16387,163
IF Somme(>0) THEN
  Erreur=1
ELSE
  Erreur=0
END IF
Ctsbis: STATUS Série,11;Signal_reçu      ! CTS ?
        IF Signal_reçu(>0) THEN GOTO Ctsbis ! Fin de l'envoi
        CONTROL Série,5;0                ! RTS à 0 , DTR à 0
        CONTROL 1,1;15
        CONTROL 1,0;9
        OUTPUT 1;"
        CONTROL 1,0;9
        OUTPUT 1;" CALCUL DU TRANSFERT NUMERO ";Seizaine;"
        ASSIGN @Données TO #

```

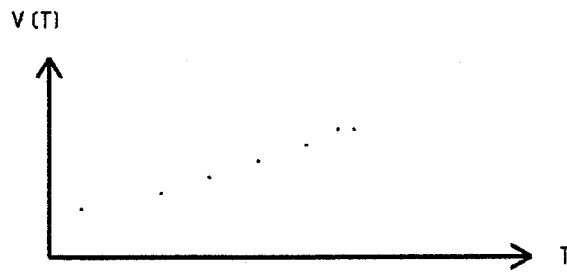
Après leur stockage sur disquette, les données peuvent être chargées en mémoire centrale à l'aide du logiciel COURBE 2. Suite à ce chargement, les valeurs de vitesse sont modifiées afin de restituer la réalité physique de ce paramètre. Ces valeurs ne sont pas toutes des acquisitions réelles mais simplement une répétition de la dernière valeur acquise. Chaque valeur correspondant à une acquisition nouvelle est reculée temporellement de la moitié de l'intervalle de temps, la séparant de l'acquisition précédente. Puis, toutes les valeurs intermédiaires aux acquisitions réelles sont recréées par interpolation.



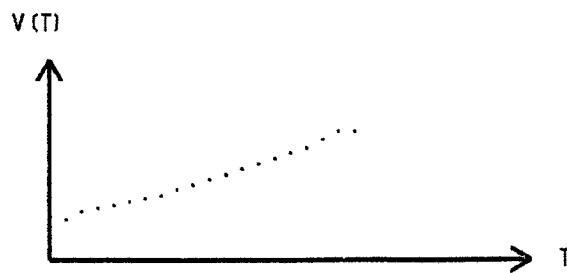
VITESSE REELLE



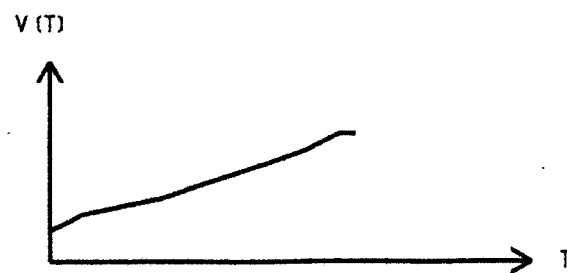
VITESSE FOURNIE



DECALAGE



INTERPOLATION

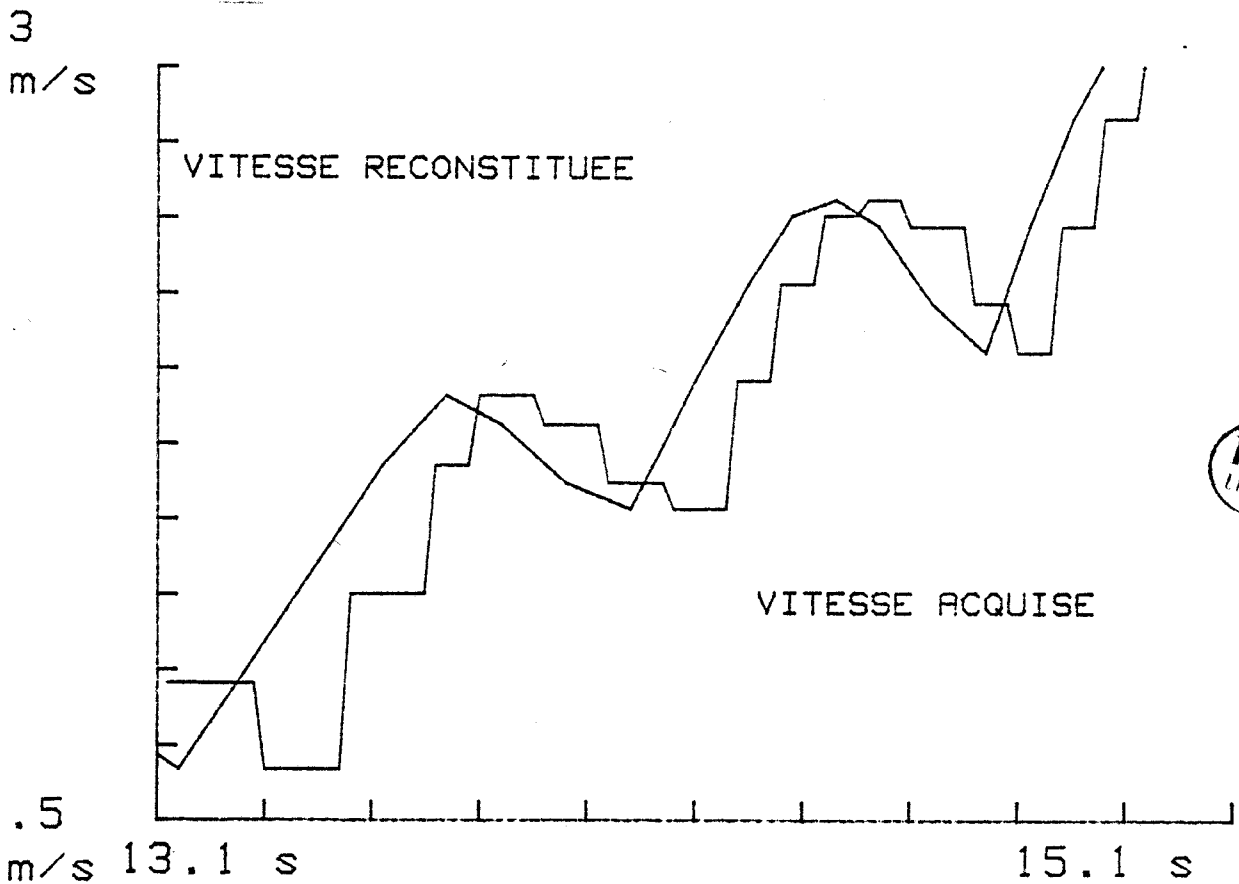


TRACE



Le listing correspondant à cette transformation est le suivant :

```
ASSIGN @Charge TO "STOCKAGE1:HP8290X,700,0"  
ENTER @Charge;Stockage(*)  
ASSIGN @Charge TO *  
V1=0  
T0=1  
T1=1  
FOR H=1 TO 14560  
  IF Stockage(H,1)=14560 THEN GOTO Oui  
  WHILE Stockage(H,1)=V1 AND H<>14560  
    ! PRINT H,Stockage(H,1)  
    H=H+1  
  END WHILE  
  T2=H  
  V2=Stockage(H,1)  
  FOR T=T0+1 TO INT((T1+T2)/2)  
    Stockage(T,1)=INT((V2-V1)/(INT((T1+T2)/2)-T0)*(T-T0))+V1  
    ! PRINT " ", " ", T, Stockage(T,1)  
  NEXT T  
  T0=INT((T1+T2)/2)  
  T1=H  
  V1=Stockage(T0,1)  
NEXT H
```



Outre la transformation de vitesse, un logiciel incorporé aux traitements proposés par COURBE 2 permet à l'utilisateur de définir avec précision le zéro physique des forces, et de restocker les nouvelles valeurs décalées.

ANNEXE 3

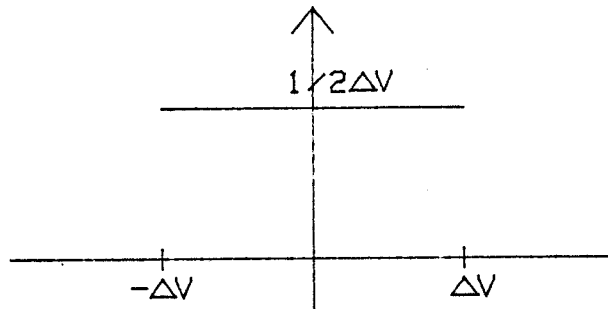
-°-°-°-°-°-°-

CALCUL DE L'ERREUR EFFECTIVE SUR LA DISTANCE PARCOURUE

L'acquisition de vitesse numérisée par le périodémètre, est entâchée d'une erreur variable de $-\Delta V$ à ΔV due à la période de $20 \mu s$, base du comptage.

Nous voulons déterminer l'influence de cette erreur dans le cumul des vitesses hors du calcul de distance parcourue.

On définit la suite de variable aléatoire $\{X_n\}$. Chaque X_i est l'erreur effective sur la ième acquisition de vitesse. Les éléments de cette suite sont indépendants deux à deux, et obéissent à la même loi de probabilité définie de la manière suivante :



La densité de probabilité est constante, égale à $\frac{1}{2\Delta V}$ sur l'intervalle $[-\Delta V, \Delta V]$, et nulle en dehors de cet intervalle

$$E(X_i) = \int_{-\Delta V}^{\Delta V} x f(x) dx = 0$$

$$\text{var}(x_i) = \int_{-\Delta V}^{\Delta V} x^2 f(x) dx = \frac{\Delta V^2}{3}$$

Le théorème de Bernoulli en statistiques permet de dire que la variable aléatoire réduite Y_n , associée à la variable aléatoire $Z_n = \sum_{i=1}^n X_i$ converge en loi vers la loi normale centrée réduite $N(0,1)$.

$$\text{Or, } E(Z_n) = 0 \text{ et } \text{var}(Z_n) = n \text{ var}(X_i) = n \frac{\Delta V^2}{3}$$

Nous pouvons ainsi déterminer la probabilité d'obtenir une erreur absolue sur la somme des vitesses inférieure à une valeur donnée ΔS

$$\text{Pr} \left\{ -\frac{\Delta S}{\Delta V} \sqrt{\frac{3}{n}} \leq Z_n \leq \frac{\Delta S}{\Delta V} \sqrt{\frac{3}{n}} \right\}$$

Cette probabilité est tirée de la table de la loi normale $N(0,1)$ dite table de l'écart-réduit.

Si l'on majore le temps moyen séparant deux acquisitions réelles de vitesse par 80 ms, et que l'on considère une vitesse moyenne d'environ 5 m/s, soit $\Delta V \approx 5 \cdot 10^{-3}$ m, on obtient le tableau suivant :

Pr = 0,999	
D	$\Delta D <$
5	2.6 10^{-3}
10	3.8 10^{-3}
50	8.5 10^{-3}
100	1.2 10^{-2}
500	2.7 10^{-2}
1000	3.8 10^{-2}
m	m

D'autre part, si l'on considère que les erreurs dues au calcul d'interpolation des acquisitions réelles et celles dues au capteur lui-même (roue à aubes), sont des erreurs aléatoires et que le ΔV résultant est égal à $k \times 5 \cdot 10^{-3}$, l'erreur absolue est à multiplier par k .

Ainsi, pour ce calcul de distance parcourue, les erreurs éventuelles importantes qui peuvent survenir sont dues à une mauvaise détermination du rapport d'étalonnage du capteur. Il ne faut pas oublier cependant, lors de comparaison avec des distances sur berges, de faire intervenir le courant.

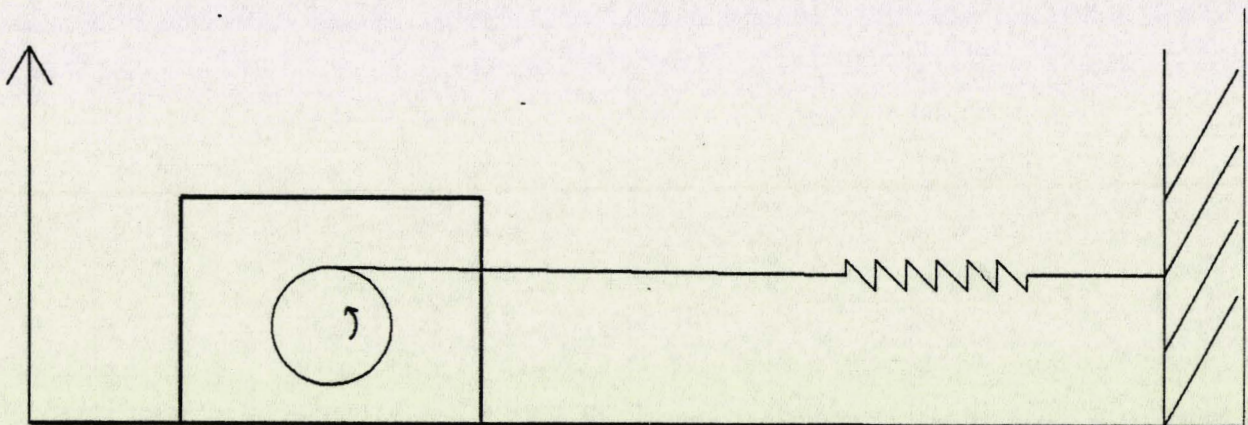
ANNEXE 4

—°—°—°—°—°—°—

MODELISATION PAR ANALOGIE MECANIQUE

Pour mieux comprendre comment fonctionne un kayak, nous proposons l'analogie mécanique suivante :

Nous considérons un moteur monté sur son bâti reposant sur une surface visqueuse. Le moteur effectue l'enroulement sur une poulie d'un câble fixé à une distance donnée par l'intermédiaire d'un ressort sur un appui fixe.



L'ensemble moteur et bâti est donc soumis à deux efforts \vec{F} et \vec{T} et possède un mouvement rectiligne suivant l'axe ox

\vec{F} : tension du câble

\vec{T} : force de frottement

L'expression de la relation fondamentale de la dynamique est ainsi :

$$\vec{F} + \vec{T} = m \vec{\gamma} \quad \text{ou} \quad F = T + m \frac{dV}{dt}$$

$$F = k l(t) \quad \text{et} \quad T = f(V)$$

k : incidence du ressort

l(t) : allongement du ressort à l'instant t

V : vitesse du bâti

La puissance fournie par le moteur a l'expression suivante :

$$p(t) = k l(t) \frac{d l(t)}{dt} + T \cdot V(t) + m V(t) \frac{d V(t)}{dt}$$

↓ ↓ ↓
ressort frottement cinétique

ou encore

$$p(t) = k l(t) \frac{d l(t)}{dt} + k l(t) V(t)$$

D'autre part, si d(t) représente la longueur du câble enroulé à l'instant t, nous avons :

$$d(t) = l(t) + V(t) \times t$$

La connaissance de deux des paramètres d(t), p(t), l(t), V(t) doit permettre la détermination des différentes variables.

Les correspondances d'analogie avec le kayak sont les suivantes :

bâti : kayak

moteur : pagayeur

ressort : pagaie

m : masse du kayak et de l'équipage

V(t) : vitesse du kayak

T(t) : traînée du kayak avec équipage

F(t) : réaction de l'eau sur la pôle

$k : \frac{3EI}{a^2(a+b)}$ caractéristique de la pagaie sans appuis

$l(t) : \frac{F(t)a^2(a+b)}{3EI}$ flèche de la pagaie

$p(t) :$ puissance fournie par le pagayeur

$d(t) :$ fonction caractéristique de la manière de pagayer

Cette analogie n'a pas été exploitée totalement mais elle pourra faire l'objet de travaux ultérieurs.

Remarque : si l'on désire ajouter à cette analogie, les déplacements relatifs et cycliques du pagayeur, ainsi que l'équipage double, nous pouvons imaginer à l'aide de bielles le dispositif suivant :



Résumé

Les travaux présentés constituent une contribution à l'étude du sport de kayak. Ils concernent l'ensemble électronique et informatique développé pour offrir à l'entraîneur un outil d'analyse du sport de kayak.

A partir d'une étude des interactions fonctionnelles entre un kayak, l'équipage et les pagaies, est conçu un système d'acquisition relié à différents capteurs.

Mémorisées provisoirement dans une centrale à bord du kayak, les mesures sont stockées par un ordinateur sur disquettes. Des logiciels de traitements de ces mesures sont proposés et offrent à l'entraîneur un outil d'analyse interactif.

Enfin l'utilisation du système pour des calculs de modélisation de coups de pagaie, de déphasage entre pagayeurs et de transferts énergétiques est exposée.

Mots clés : Système de mesure pour kayak

Acquisition et traitement de données physiques et physiologiques.