



Applications chronométriques destinées à la mesure de la performance cyclique à partir d'un ordinateur

Didier Seyfried, Bruno Reine, Josée De Félice, A. Ross-Carre, A. Haise

► To cite this version:

Didier Seyfried, Bruno Reine, Josée De Félice, A. Ross-Carre, A. Haise. Applications chronométriques destinées à la mesure de la performance cyclique à partir d'un ordinateur. [Rapport de recherche] 01-033, Institut National du Sport et de l'Education Physique. 2005. hal-01865034

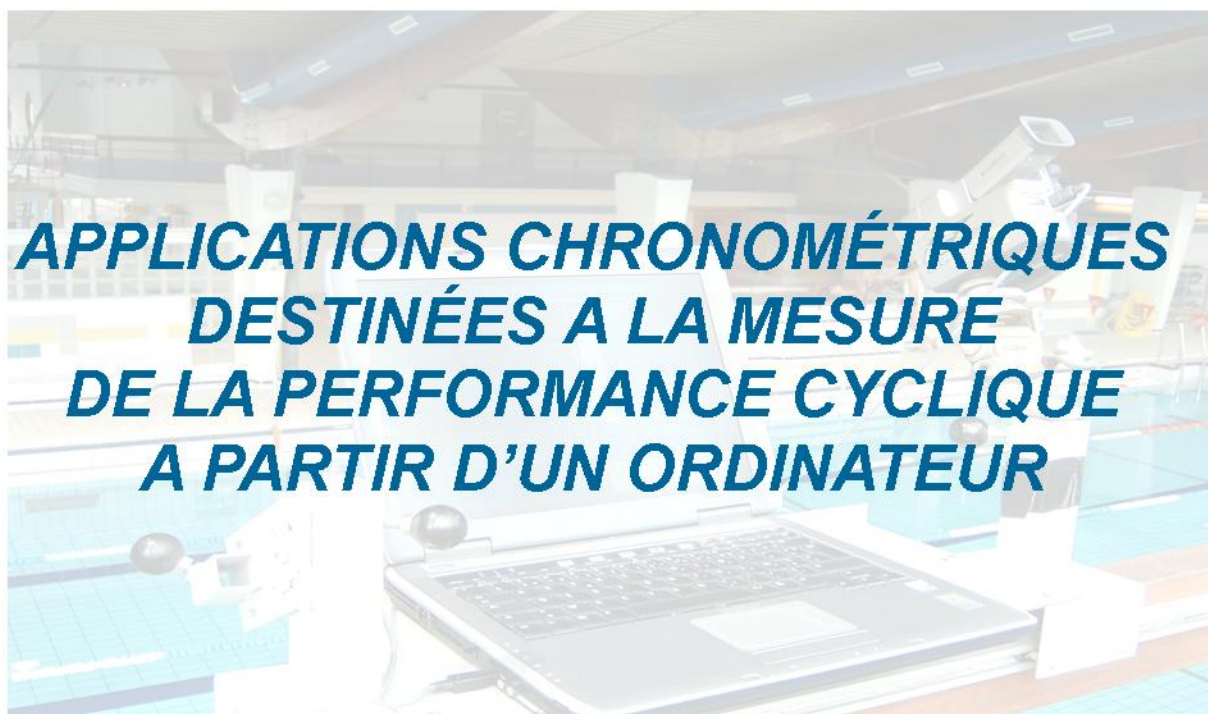
HAL Id: hal-01865034

<https://insep.hal.science/hal-01865034>

Submitted on 30 Aug 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



APPLICATIONS CHRONOMÉTRIQUES DESTINÉES A LA MESURE DE LA PERFORMANCE CYCLIQUE A PARTIR D'UN ORDINATEUR

Didier SEYFRIED¹

Collaborateurs scientifiques : B. REINE¹, J. de FELICE J.¹, A. ROSS-CARRE¹, A. HAISE²

¹Laboratoire d'Informatique Appliquée au Sport, INSEP

² Université d'Orléans

Téléchargement sur le site : <http://sciences.campus-insep.com>

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	2
L'ACQUISITION DES INFORMATIONS.....	5
DEFINITION (SELON L'ENSEIRB)	5
STRUCTURE D'UN SYSTEME TEMPS REEL	5
CHOIX D'UN SYSTEME D'EXPLOITATION TEMPS REEL	6
GESTION DU TEMPS PAR LE SYSTEME D'EXPLOITATION.....	7
LES INTERFACES DE L'ORDINATEUR	8
PRINCIPE GENERAL.....	8
Les différentes interfaces d'un PC et leur gestion par Windows	8
Les bus série et parallèle	9
Le bus USB	10
BILAN ECONOMIQUE DE LA MESURE DU TEMPS « TOUT PC ».....	11
GESTION DU TEMPS EN DEHORS DE L'ORDINATEUR.....	12
MICROCONTROLEURS DE MESURE	12
MICROCONTROLEUR DE LIAISON	13
LIAISONS MICROCONTROLEURS DE MESURE ⇔ MICROCONTROLEUR DE LIAISON	14
TRANSMISSION FILAIRE.....	15
TRANSMISSION SANS FIL.....	15
Transmission optique	15
Transmission HF	15
Bluetooth	15
Wi-Fi (Wireless Fidelity)	16
BILAN DE LA GESTION DEPORTEE DU TEMPS	17
LE TRAITEMENT DES INFORMATIONS.....	18
LES INFORMATIONS ISSUES DES SPORTS CYCLIQUES.....	18
MODELISATION DU TRAITEMENT.	20
REALISATION LOGICIELLE DU LIAS-INSEP	20
L'APPLICATION « CHRONOCYCLE ».....	20
REALISATION ELECTRONIQUE DU LIAS-INSEP	24
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	25
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	27
CONCLUSION SUR LA REALISATION DU PROJET	27
LES POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT ULTERIEUR	27
LEXIQUE	28
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	30
RESUME.....	32

INTRODUCTION

A l'ère des grandes organisations sportives, de nombreux systèmes électroniques spécifiques gèrent des fonctions de plus en plus évoluées de «chronométrage ». C'est surtout la précision et les possibilités d'affichage qui justifient des coûts prohibitifs que prennent en compte les organisateurs. Le PC n'est pas à classer parmi les appareils de mesures spécifiques du temps, même si de plus en plus, de par son accès grand public, bon nombre de publics sportifs, utilisateurs de type « grand public » souhaiteraient tirer de ses possibilités intrinsèques une fonction « timer » adaptée à leur utilisation. Bon nombre d'utilisateurs potentiels estiment que grâce au PC, le résultat de cette mesure pourrait être affiché immédiatement afin de pouvoir la réutiliser. Le PC se déclinant aujourd'hui (et à des prix accessibles) en ordinateurs de poche et autres PAD ou « smart phones », les acteurs professionnels du monde sportif sont culturellement portés à attendre des applications « informatiques » destinées à gérer le temps, sous un format à la fois miniaturisé et de préférence sans fil. Parallèlement à ces problèmes spécifiques d'applications chronométriques « personnelles », émergent des demandes d'évaluateurs, de chercheurs ou de Fédérations nationales et internationales pour lesquels les enjeux techniques et économiques sont de fournir si possible en « temps réel » des informations permettant d'analyser des activités, souvent cycliques, tant pour identifier des vitesses que leurs modalités déterminantes (Fréquences, Longueurs de cycles, indicateurs d'efficacité). Des systèmes de plus en plus complexes rivalisent d'exactitude mais les informations, sans traitement informatique contemporain au chronométrage, sont toujours délivrées en différé, ce qui retire beaucoup d'intérêt à l'opération.

Cette étude qui fera le point sur la conjugaison des nouvelles technologies informatiques et électroniques nous permettra d'envisager les différents compromis techniques permettant de dispenser ce type d'informations. En fonction des priorités et des contraintes de l'utilisateur potentiel, les problèmes de précision relative, d'utilisation temps réel, et de coût seront envisagés et ceci pour le court terme.

S'il existe bien un intérêt (voire un petit marché) à développer des systèmes où les mesures du temps dans une activité sportive constituent une source d'informations réutilisable soit immédiatement soit à plus ou moins court terme, il apparaît que le degré acceptable de précision, celui du délai de traitement et celui du type d'accessibilité d'utilisation, est lié prioritairement :

- ❖ A la nature des activités sportives considérées. Elles peuvent être cycliques, non cycliques, de longue ou de courte durée, sujettes à des accélérations méritant d'être mesurées ou non, avec des vitesses importantes ou non.
- ❖ A la nature de la tâche d'analyse de cette activité sportive par l'utilisateur. Qu'elle soit destinée à la recherche, à une action pédagogique, ou au spectateur sportif, les systèmes de mesures pourront sensiblement différer.
- ❖ Au profil de l'utilisateur, voire du destinataire final ou consommateur de cette information. Entraîneur, chercheur, journaliste, téléspectateurs, organisateurs auront tous des demandes spécifiques en termes de précision, délais de traitement et praticité d'accès à cette information.

Notre étude est plus spécialement consacrée à l'aide que peut représenter un PC (en tant que terminal) à des systèmes d'analyse des sports cycliques (cyclisme, natation, aviron, courses,

marche, kayak...) où la mesure du temps de ces cycles peut avoir un sens déterminant pour la compréhension de cette performance cyclique (fréquences ou cadences, vitesses moyennes ou instantanées, accélérations, longueurs de cycles ou de pas, de foulées, développements ou distances par cycles, indicateurs d'efficacité, etc...).

Compte tenu de ce qui a été écrit plus haut, le niveau de précision exigé pour avoir une information sensée dépendra de plusieurs facteurs. Ainsi lorsque la mesure du temps sera longue, que l'intervention de cette mesure sera humaine, et que la réflexion induite ne sera pas dépendante d'une précision à la demi seconde près, toute application produite à partir d'un PC (compte à rebours, chronomètres simples, cadencemètres etc.) sera souvent adaptée car pratique et suffisamment précise dans ce contexte. Dans certains cas, le retour des informations chronométriques pourra même alimenter un programme informatique pour produire une analyse de course tout à fait pertinente.

ANALYSE GLOBALE D'UNE EPREUVE pour LEVAILLANT BA. 200 mètres CRAWL bassin de 25 mètres, départ dans l'eau aux pieds			
14/05/1998 19:23	NATAVIT v1.0		
DESCRIPTION DE L'EPREUVE	DONNEES BRUTES	DONNEES CORRIGEEES	VARIATIONS
Temps réalisé(T)	2' 0"10	2' 0"10	
Distance.....(D)	200 m	190,23 m	9,77
Vitesse.....(V)	1,665 m/s	1,584 m/s	0,081
Cadence Observée...(CO)	41,5	41,5	
Cadence Théorique...(CT)		40,5	1,0
D/Cycle.....(DC)	2,41	2,29 m	
D/Cycle Théorique...(DCT)		2,35 m	-0,06
IN.....(IN)	4,01	3,63	
IN Théorique.....(INT)		3,72	-0,09
ATTENTION : VO2, FC et L conditionnés par état stable (pour T>2mn)			
FC (V) : 180	U/UMAX: 80,9 %	L(V) : 12,5 mM	Vo2 l/mn: 4,8
FC (CO): 180	U/UMA : 107,7 %	L/Lmax: 80,6 %	KJ/mn : 1,6
	U/USA : 114,1 %		Kcal tot: 46,1

Diapositive 1 : Ecran d'analyse de NATAVIT, application sous MS-DOS développée en 1995 à l'INSEP pour la FFN

A côté de certains outils logiciels informatiques utilisés à plus ou moins juste titre pour tirer parti de mesures de temps obligatoirement approximatives, la conjugaison de techniques informatiques et électroniques permet d'apporter des solutions innovantes pour dispenser ce type d'informations de manière suffisamment précise et contemporaine aux mesures elles-mêmes dans une logique de temps réel que nous développerons dans cette étude. A l'heure actuelle, la mesure de la performance que ce soit à l'entraînement ou en compétition (pour des informations destinées au public notamment), le seuil de 5 millisecondes de délai est régulièrement évoqué et techniquement accessible. Ce seuil est satisfaisant pour la plupart des besoins recensés. L'évolution de la demande observée dans les grandes compétitions (Championnats du Monde et J.O.) montre que ces techniques sont déjà demandées par les organisateurs comme certaines fédérations internationales et qu'elles s'imposeront probablement, car disponibles à faibles coûts, demain dans des centres d'entraînement, dans toutes les grandes compétitions pour la plus grande satisfaction des journalistes spécialisés, d'un public de plus en plus averti, des évaluateurs, des entraîneurs et des athlètes considérés. De nombreux outils d'évaluation s'appuient déjà sur l'observation conjuguée des fréquences et des vitesses dans les sports cycliques. Outre les renseignements bruts, des éventuelles

cinétiques peuvent être réalisées tout au long des épreuves grâce à l'acquisition contemporaine des vitesses précises de déplacement et des cadences cycliques. En effet, une distance parcourue à chaque cycle (foulée, longueur de pas, longueur de cycle, développement) ainsi que certains indices d'efficacité utiles aux entraîneurs d'élite en sont immédiatement déduits par calcul. Ces mesures réalisées dans certains sports cycliques depuis les années 1970 sont déclinées plus ou moins techniquement pour les chercheurs, entraîneurs, et même le public averti car elles sont facilement transformables en modalités essentielles de la performance. Ainsi, des systèmes de plus en plus complexes rivalisent pour analyser les paramètres cycliques dans leur contexte temporel de manière valide et néanmoins rapide. De nombreux dispositifs abordent le problème par l'analyse vidéo où la durée de [n* cycles] est observée parallèlement à la vitesse établie en référence au nombre d'images par seconde. Si l'analyse est plus ou moins rigoureuse selon les moyens investis, ces techniques ne permettent néanmoins que du traitement différé, avec un coût très important imputable à la nécessité de ressources tant matérielles qu'humaines.

Deux épreuves olympiques ont été caractérisées par des fréquences gestuelles plus élevées : le dos et la brasse.

Paramètres		Papillon	Dos	Brasse	Nage libre
Temps Final (mn, s)	O	52.59 ± 0.48	55.14 ± 0.62	61.36 ± 0.64	49.28 ± 0.43
	N	55.25 ± 1.48 **	58.69 ± 1.65 **	63.82 ± 1.21 **	50.48 ± 0.84 **
Temps de départ (s)	O	5.97 ± 0.17	6.76 ± 0.25	6.98 ± 0.22	5.85 ± 0.17
	N	6.42 ± 0.28 **	7.57 ± 0.33 **	7.31 ± 0.37 **	6.25 ± 0.15 **
Temps d'arrivée (s)	O	4.21 ± 0.14	4.23 ± 0.15	4.48 ± 0.01	3.89 ± 0.14
	N	4.42 ± 0.24 **	4.55 ± 0.21 **	5.15 ± 0.23 **	3.93 ± 0.15
Temps de virage (s)	O	7.82 ± 0.11	7.74 ± 0.17	8.32 ± 0.28	7.01 ± 0.15
	N	8.17 ± 0.31 **	8.02 ± 0.27 **	9.15 ± 0.29 **	7.19 ± 0.17 **
Fréquence 1 ^{er} 50 m c.mn ⁻¹	O	55.59 ± 2.76	49.27 ± 3.02	50.31 ± 2.84	52.76 ± 2.88
	N	55.26 ± 2.66	45.68 ± 3.51 **	47.59 ± 4.72	52.36 ± 3.64
Fréquence 2 ^{ème} 50 m c.mn ⁻¹	O	55.26 ± 2.66	46.38 ± 2.79	2.43	48.69 ± 2.71
	N	53.71 ± 1.84	44.17 ± 3.28 **	47.64 ± 4.35 *	49.98 ± 3.11
Attaques motrices 1 ^{er} 50 m	O	0.81	31.69 ± 2.06	20.13 ± 1.93	33.44 ± 2.22
	N	19.25 ± 0.93 **	33.25 ± 2.46	19.81 ± 1.22	35.19 ± 2.26 *
Attaques motrices 2 ^{em} 50 m	O	20.91 ± 1.02	35.75 ± 2.08	23.81 ± 2.37	38.44 ± 2.63
	N	22.62 ± 1.41 **	37.94 ± 2.77 **	23.81 ± 1.28	40.56 ± 2.37 *

Diapositive 2 : Comparaisons de mesures temporelles dans les 4 nages entre J.O. (O) et Nationaux (N) (source FFN)

Les informations relatives aux sports cycliques sont des mesures évènementielles, qui comprennent plusieurs variables. Ces variables caractérisent l'événement au niveau spatial, au niveau de l'action sportive et toujours au niveau temporel.

La variable temporelle réclame une précision différente en fonction des problématiques d'observation et d'utilisation. L'acquisition ou le traitement peut se faire en temps réel.

L'ACQUISITION DES INFORMATIONS

L'acquisition des informations à partir d'un PC pose deux problèmes :

- ❖ Comment faire l'acquisition des informations extérieures à l'ordinateur ?
- ❖ Comment l'ordinateur peut-il mesurer le temps avec précision ?

Ces deux problèmes ne sont pas des problèmes séparés, car la précision du temps est fonction des bus utilisés (liaison série, USB ...) pour faire l'acquisition.

Définition (selon l'ENSEIRB)

« Un système temps réel est une association logiciel/matériel où le logiciel permet, entre autre, une gestion adéquate des ressources matérielles en vue de remplir certaines tâches ou fonctions dans des limites temporelles bien précises. » Cela signifie que l'information traitée doit encore être pertinente après son acquisition et son traitement par le système. Il faut donc que le temps nécessaire à ces deux opérations soit strictement inférieur à la précision souhaitée. Le schéma ci-dessous illustre le fonctionnement général d'un système temps réel.

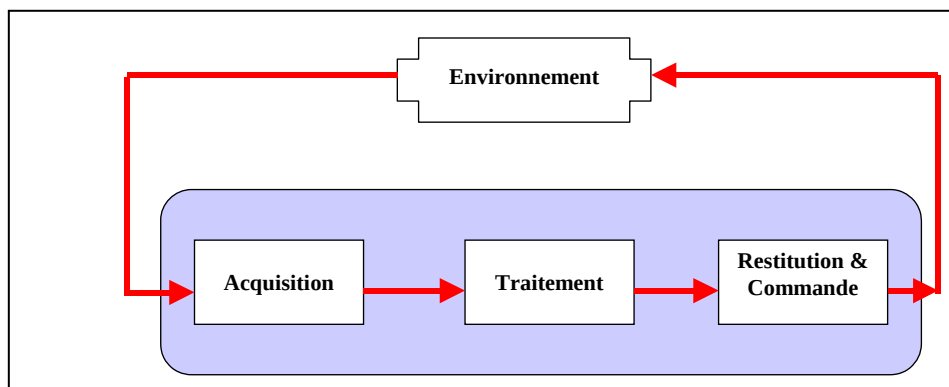


Schéma1: Fonctionnement général d'un système temps réel

Dans notre cas, nous avons un ordinateur, son système d'exploitation* et un logiciel spécifique qui tentent d'acquérir et traiter des données relatives à un ou plusieurs sportifs avec une certaine précision. Celle-ci a été fixée à 5 ms, ce qui apparaît comme suffisant pour la plupart des sports cycliques considérés. Il s'agit donc bien d'un système temps réel.

Structure d'un système temps réel

Comme indiqué plus haut, le système est composé de plusieurs sous-systèmes. Les quatre principaux sont :

- ❖ le système d'acquisition,
- ❖ l'ordinateur,
- ❖ le système d'exploitation,
- ❖ l'application finale.

* : voir lexique en fin du document

Le schéma suivant montre les liens entre les différentes couches du système complet.

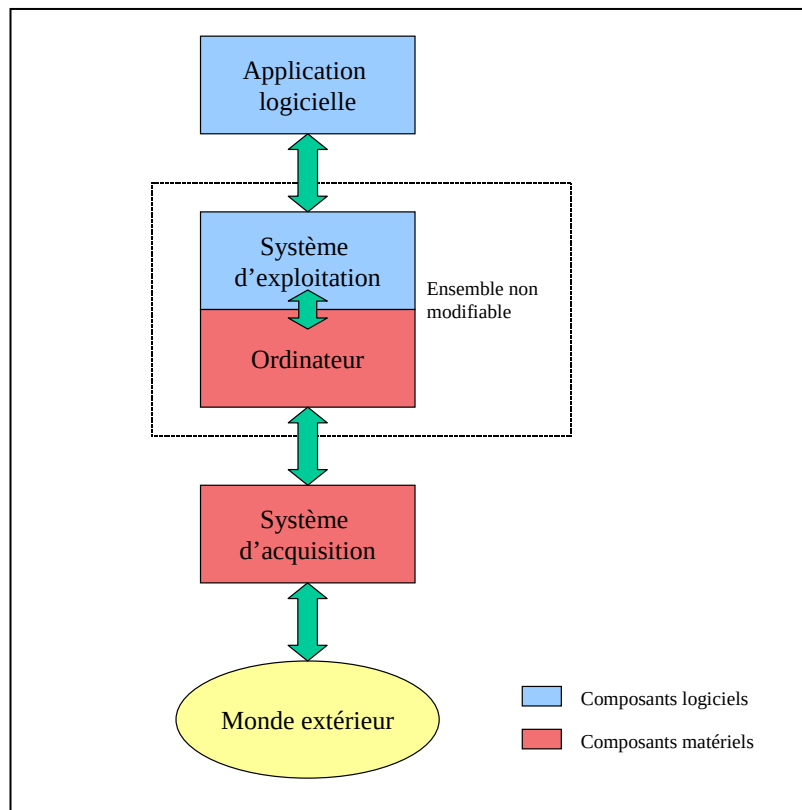


Schéma 2 : Lien entre les sous-systèmes.

L'ensemble du système montré ci-dessus est orchestré par le système d'exploitation. Pour mener à bien sa tâche, celui-ci doit gérer les interfaces de l'ordinateur et différents processus* correspondants à des portions de programmes. La principale ressource du système d'exploitation est le processeur* de l'ordinateur qui alloue les processus à tour de rôle. Des systèmes complexes de priorité peuvent être utilisés.

Choix d'un système d'exploitation temps réel

Le choix du système d'exploitation est assez restreint. En effet, ce système doit intégrer les fonctions de bases relatives à la gestion d'applications et d'événements en temps réel. Cependant, peu de systèmes ont de telles fonctionnalités.

Les deux principales catégories de systèmes d'exploitation pour PC sont ceux de Microsoft et Linux. Dans la famille Microsoft, on trouve la série à base du noyau NT 5, c'est à dire Windows 2000, Windows XP et leurs évolutions. Dans la communauté du logiciel libre, il faut un Linux avec un noyau 2.6 ou plus. Les versions antérieures ne gèrent pas du tout le temps réel.

L'autre contrainte réduisant le choix est la disponibilité. Il ne fait aucun doute qu'actuellement une solution Linux n'est pas envisageable. Trop peu de personnes susceptibles d'utiliser les outils ainsi développés disposent de Linux. Les systèmes retenus sont donc ceux de Microsoft Windows à partir de 2000 car performants et répandus.

Gestion du temps par le système d'exploitation

Voyons à travers un exemple comment le système d'exploitation gère le temps. Considérons l'analyse des cycles de trois nageurs faisant une course.

Au moment du départ, un signal est émis vers l'ordinateur (à l'aide du clavier ou d'un système automatique) qui déclenchera 3 chronomètres (un pour chaque nageur). De plus, à chaque nageur seront attribués des « observables », comme par exemple l'entrée ou la sortie d'une zone pour déterminer la vitesse ou d'autres événements répertoriés dans un protocole préalablement établi.

Dans ce cas, l'ordinateur doit gérer simultanément différents « composants » du programme, nécessaires au bon fonctionnement de l'application. On les relèvera sous forme d'action :

- ❖ Lancer les chronomètres puis les faire évoluer de façon indépendante (un nageur peut finir avant un autre)
- ❖ Récupérer les temps liés aux différents observables (à partir de clics de l'entraîneur, touches numériques, capteurs, ...)
- ❖ Traiter les informations et afficher des résultats

Chacun de ces composants va être exécuté sous forme d'un ou plusieurs processus. Dans l'ordinateur, qui n'a en général qu'un seul processeur, un seul processus peut être exécuté à la fois. Le problème reste quasiment le même pour les systèmes multiprocesseurs où il y a toujours plus de processus que de processeurs. Comme il a été dit plus haut, le système d'exploitation doit ordonnancer ces processus pour qu'ils puissent tous bénéficier du processeur pendant un certain laps de temps, nommé quantum*. Ainsi, pendant un quantum, un des processus (A, B, C, D) va être en cours d'exécution tandis que les autres seront dits endormis. Dans le tableau ci-dessous, on peut voir un exemple d'ordonnancement de processus en fonction du temps.

A	quantum A1				quantum A2			quantum A3	
B		quantum B1							quantum B2
C			quantum C1			quantum C2			
D				quantum D1			quantum D2		

Tableau 1 : Exemple d'ordonnancement de processus A, B, C, D dans le temps.

Pendant un quantum, le processeur est affecté à l'un d'eux (ici, un seul processeur donc une seule case bleue par quantum). Tous les processus n'ont pas forcément un quantum d'exécution régulièrement à cause de priorités, d'attente de résultats d'autres processus ou d'entrée/sortie, de timers etc. Ce mode de fonctionnement peut donner l'illusion à l'utilisateur que plusieurs tâches sont exécutées simultanément. Il est cependant intrinsèquement source d'imprécision. Supposons en effet qu'un événement concernant le nageur n° 2 intervienne alors que le processeur est attribué à un processus du nageur n° 1 : on ne peut pas savoir le

délai entre l'événement lui-même et sa prise en compte par le processus ad hoc. Le système d'exploitation peut tout à fait attribuer le processeur à de nombreux processus avant celui qui concerne le nageur n° 2.

S'agit-il d'un problème majeur qui nous empêcherait d'obtenir notre résolution de 5 millisecondes ?

Dans sa documentation en ligne, Microsoft indique que la résolution de la fonction **GetTickCount**, utilisée par nos processus chronomètres, est de l'ordre de 10 millisecondes. Cette fonction est fournie avec Windows NT 3.5 et les suivants.

Microsoft indique cependant qu'il existe d'autres fonctions de gestion du temps ayant une résolution de 3 millisecondes. Elles reposent entre autres sur le « High Precision Event Timer » co-développé par Microsoft et Intel.

Ces fonctions sont disponibles avec l'Interface de programmation d'applications (l'API) de Windows. Il s'agit de **QueryPerformanceFrequency** et **QueryPerformanceCounter**. La première permet de connaître la fréquence dudit compteur ; la seconde permet de connaître le nombre de pulsations du compteur depuis la mise sous tension. Sur la plupart des ordinateurs, ce compteur a une fréquence de l'ordre de 3,5 MHz, ce qui donne une période théorique de 0,3 µs. Ces compteurs sont très précis pour répertorier une certaine durée d'attente ou dater des événements internes à l'ordinateur (durée d'une interruption ou d'un appel de fonction), mais le déclenchement depuis l'extérieur est problématique.

En effet, il est impossible que la détection d'un événement externe (clic de souris, événement sur un bus USB, RS232, ...) et le déclenchement du timer se fassent dans un même quantum. En effet, l'événement externe est d'abord traité par un ou plusieurs pilotes (c'est-à-dire un processus particulier) tandis que le timer est déclenché par notre application (un autre processus). La communication entre les deux processus se fait par l'intermédiaire du système d'exploitation.

On ne peut donc pas savoir combien de temps s'est écoulé entre l'événement lui-même et le déclenchement du timer.

Le repérage d'un événement sur un port d'entrée/sortie de l'ordinateur est détaillé dans le chapitre suivant.

Les interfaces de l'ordinateur

Principe général

Pour déclencher l'un de nos chronomètres, il faut utiliser une interface avec l'extérieur, (capteur, bouton poussoir, touche de clavier, etc.) un logiciel qui reçoit les informations de l'interface et un programme qui lance le chronomètre. Pour rappel, le lien entre ces composants est le système d'exploitation, dans notre cas Windows 2000 ou plus récent.

Les différentes interfaces d'un PC et leur gestion par Windows

Pour déclencher un chronomètre, la première tâche consiste pour l'ordinateur à s'informer sur son environnement extérieur. Il dispose pour cela de plusieurs ports d'entrée / sortie comme les bus série et parallèle, le bus USB ou le bus FireWire.

Ce dernier bus n'est pas étudié ici, il sert essentiellement d'interface pour des périphériques de stockage et n'est que rarement disponible sur des ordinateurs datant d'avant 2003.

Les bus série et parallèle

Ces deux bus firent leur apparition en 1977. Depuis, leurs protocoles ont évolué et leurs débits considérablement augmenté.

Le bus série est géré par un circuit spécial, l'UART* (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) qui joue les rôles de contrôleur du bus et mémoire tampon. Ainsi, le processeur n'est pas obligé de scruter le bus, l'UART le fait, mémorise les informations entrantes et les transmet d'un bloc au processeur. Cette méthode permet de soulager le processeur et optimiser son utilisation. Par contre, cela empêche toute datation précise des informations entrantes.

En effet, on ne peut pas savoir précisément quand une donnée a été mémorisée dans la mémoire tampon de l'UART. Le processeur est juste capable de lire des informations quand il y en a s'il s'agit de réception ou d'en poster dans le tampon lorsqu'il s'agit d'envoi de données.

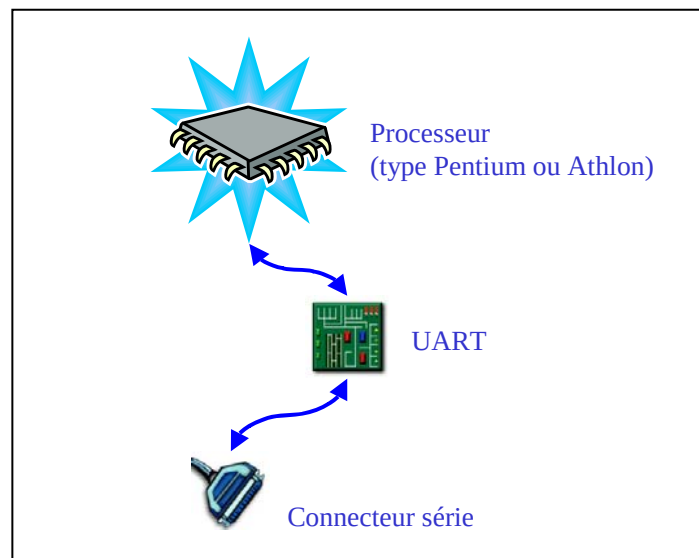


Schéma 3 : Structure du port série.

Le port parallèle fonctionne sous plusieurs protocoles. Le plus récent et le plus performant est le mode ECP* (Extended Capacity Port). L'échange de données avec le processeur est soumis à un circuit dédié, comme dans le cas du bus série. Par contre, ce circuit ne possède pas de mémoire tampon, il est capable d'écrire directement dans la mémoire principale de l'ordinateur car il possède un canal DMA* (Direct Memory Access). Seuls les ordres de lecture ou d'écriture sont échangés entre le processeur et le circuit de contrôle.

Le problème temporel est donc le même que pour le bus série.

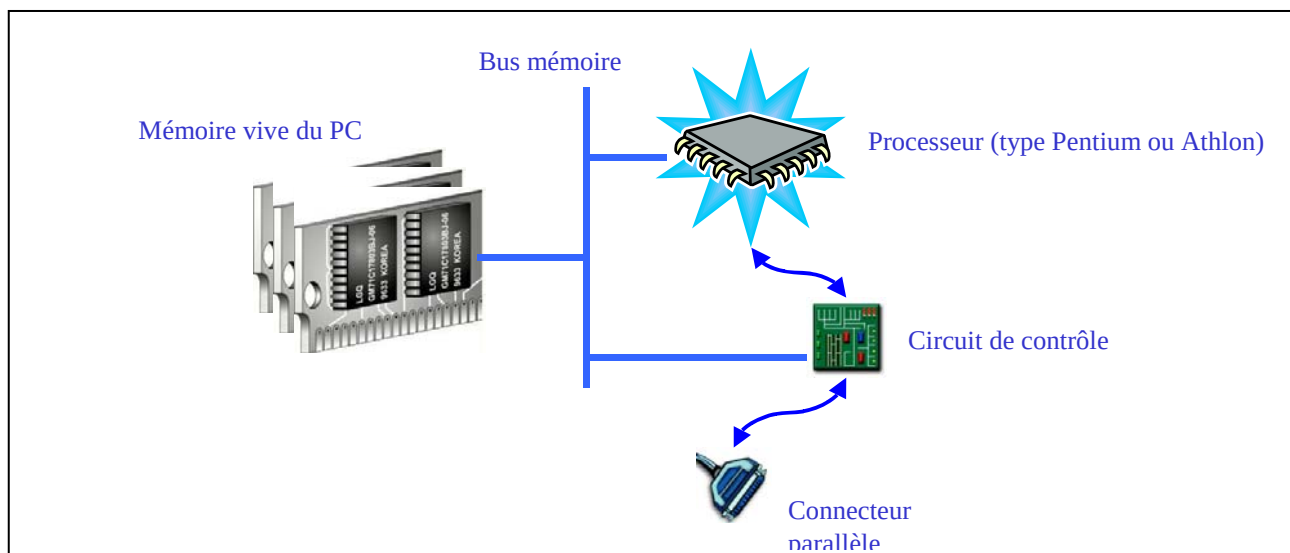


Schéma 5 : Structure du port parallèle.

On voit donc qu'avec ces deux types de port, la datation précise d'événements extérieurs est impossible. Le problème n'est pas le débit, largement suffisant, mais la nature même de ces interfaces, optimisées pour ne pas trop solliciter le processeur.

Microsoft indique que la période entre 2 interruptions venant de l'extérieur est de 10 à 15 millisecondes selon les machines utilisées.

Le bus USB

Le standard USB a été développé en 1995 par les grandes industries de l'informatique et des télécommunications. Les principales contraintes étaient alors une utilisation facile, d'où le « Plug and Play » (« Je branche et j'utilise ») et la connexion à chaud, un bas coût et une adaptabilité à tous types de périphériques.

Côté performances, ce bus est bien plus évolué que les précédents. Selon le groupe de normalisation USB, la version USB 1.1 atteint un débit maximum de 1,5 Mo par seconde et l'USB 2.0 est 40 fois plus rapide. Il y a cependant un obstacle majeur qui nous empêche de l'utiliser en tant que déclencheur de chronomètre : le délai de scrutation.

En effet, le contrôleur USB scrute périodiquement chaque périphérique connecté au bus. Cette période, indiquée par le périphérique lui-même en fonction de ses besoins peut descendre au minimum à 1 ms pour un périphérique « *fullspeed* » et 10 ms pour les autres, les « *lowspeed* » et « *highspeed* ». Or, la plupart des composants programmables actuels appartiennent à la seconde catégorie. De plus, côté système d'exploitation, il faut élaborer de nombreux pilotes les uns à la suite des autres pour gérer un tel bus. S'ajoutent donc l'imprécision et la complexité vis à vis du système d'exploitation.

De plus, le développement d'un périphérique USB est très contraignant. D'un point de vue administratif, il faut que le fabricant obtienne un numéro unique d'identification auprès du groupe de normalisation USB, obtention relativement coûteuse. Techniquement, un périphérique USB est obligé d'avoir une certaine « intelligence », inhérente au fonctionnement même du bus. En effet, la communication sur le bus n'est pas aussi simple

que sur les bus série ou parallèle. Il faut utiliser un protocole complexe. Il s'agit donc d'un développement possible, mais à longue échéance et coûteux.

Bilan économique de la mesure du temps « Tout PC »

Pour conclure cette partie relative à la mesure du temps effectuée exclusivement par un ordinateur, voici un rappel des conditions nécessaires, quelques ordres de grandeur du coût du matériel et les principaux inconvénients d'un tel système.

Il faut un ordinateur performant et équipé d'un « *timer haute performance* » et d'une interface de type USB 2.0. On peut trouver des stations de travail avec un processeur récent pour 2000 euros. Sur cet ordinateur, il faut le système d'exploitation Microsoft Windows 2000 pro ou Windows XP pro (400 euros par licence pour ce dernier).

Côté périphérique, il faut développer un dispositif USB « *highspeed* » qui ne sera capable, par fabrication, de ne gérer qu'un nombre limité de capteurs. Un microcontrôleur n'a en effet pas un nombre très élevé de broches d'entrée / sortie. Quand elles sont toutes occupées, le système est alors bridé. Il faut alors compter 500 euros minimum pour le matériel mais plusieurs semaines de travail pour un ingénieur.

Enfin, côté logiciel, il est facile de concevoir des programmes ayant une précision de l'ordre de la demi-seconde, largement suffisants dans de nombreux cas (clics de souris en guise de capteur, ...). Il a été réalisé dans le cadre de cette étude au Laboratoire d'Informatique Appliquée au Sport de l'INSEP une application « Java » pilotée par des touches du clavier, d'une souris, ou par radio H.F. ayant une précision mesurée de 15 à 50 centièmes de secondes. (Voir « Chronocycle » plus bas)

Les principaux défauts du système complexe « Tout PC » ainsi imaginé sont :

- ❖ une faible capacité à augmenter le nombre de chronomètres et de capteurs,
- ❖ une forte dépendance du système d'exploitation, de l'ordinateur et de sa charge de travail instantanée,
- ❖ un coût élevé par rapport à une solution de gestion du temps déportée, comme un système décrit plus loin.

Il nous a donc semblé nécessaire d'étudier la faisabilité d'un système mixant informatique et électronique. Exporter la mesure du temps hors de l'ordinateur vers un système électronique, en conservant le PC pour l'affichage et des calculs annexes est donc la solution alternative étudiée dans la partie suivante.

GESTION DU TEMPS EN DEHORS DE L'ORDINATEUR

L'idée maîtresse est de déporter le repérage temporel hors de la machine, celle-ci ne servant plus que d'interface avec l'utilisateur. On peut ainsi utiliser un système à base de microcontrôleurs* reliés à l'ordinateur par différents types de liaisons. De plus, ceux-ci peuvent être en quantité variable pour s'adapter à plusieurs situations. Une illustration d'un tel principe d'utilisation est montrée dans le schéma suivant.

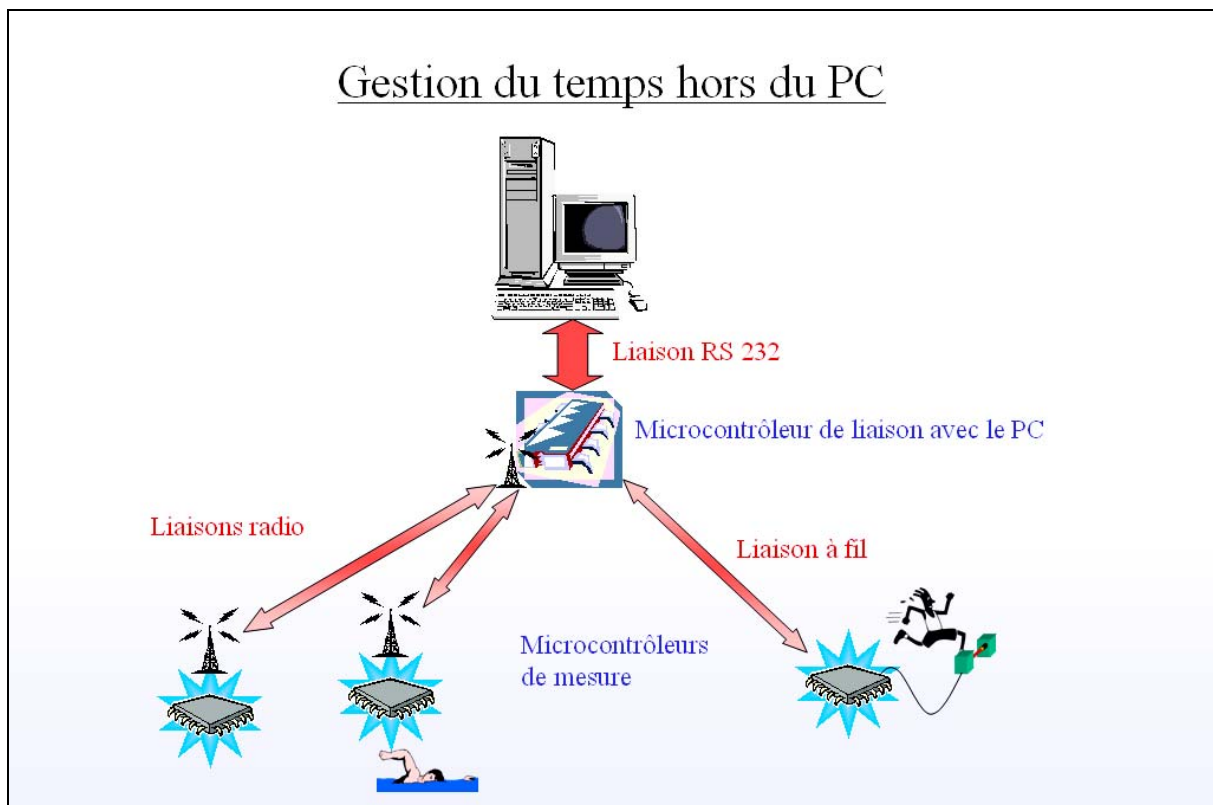


Schéma 4 : Architecture du système décentralisé.

Dans ce système, la gestion du temps est confiée aux microcontrôleurs dits de mesure. Ceux-ci sont techniquement mis en « prise directe » avec les événements observables et datables. Ceci réduit la latence entre l'événement lui-même et sa prise en compte par le système. A chacun de ces microcontrôleurs est attribué un identifiant unique.

Ainsi, lorsqu'une action est détectée par l'un d'entre eux, celui-ci envoie son identifiant, le type d'action et la date (en millisecondes) au microcontrôleur de liaison. Ce dernier transmet l'information au programme qui tourne sur le PC. Deux protocoles, détaillés plus loin, sont envisageables.

Microcontrôleurs de mesure

Cette partie du système est chargée de détecter, de dater et d'identifier des événements définis. Ceux-ci peuvent être une entrée en zone (intervention humaine, détection par barrière lumineuse, reconnaissance vidéo « intelligente »), des informations sur les mouvements du sportif (capteurs) ou une pression sur un bouton-poussoir (voir schéma ci-dessous).

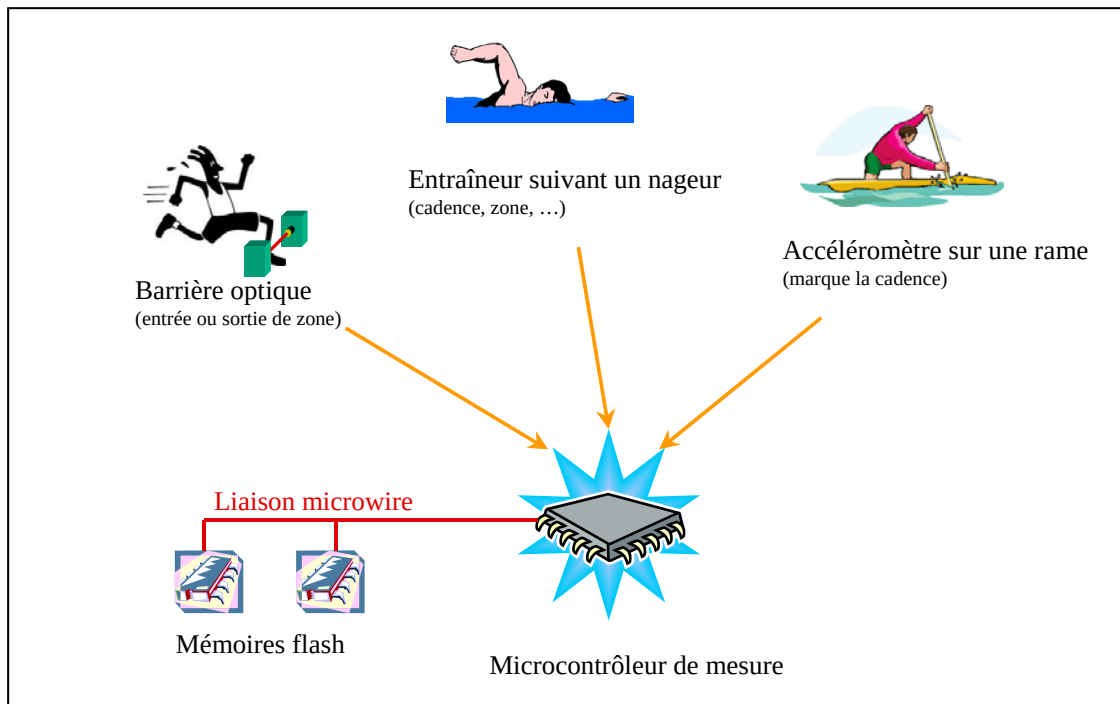


Schéma 5 : Exemple d'utilisation d'un microcontrôleur de mesure.

Dans tous les cas, un numéro d'identification et la date sont temporairement stockés puis transmis au microcontrôleur de liaison. Le stockage est fait dans une mémoire flash externe au microcontrôleur. La communication avec le microcontrôleur de liaison peut se faire par un bus I²C* dans le cas d'une liaison filaire. Il est donc aisé d'ajouter dans ce cas des contrôleurs de mesure.

La datation se fait dans le microcontrôleur qui incrémente un compteur toutes les millisecondes. Un oscillateur externe fournit cette fréquence d'incrémentement du compteur. Le comptage se fait sur 4 octets, soit 32 bits. Ceci donne une durée maximale d'environ 4,3 millions de secondes, soit un peu moins de 1200 heures. (Un comptage sur 3 octets, soit 24 bits, aurait donné une durée maximum de 4 heures et demie environ, période pouvant apparaître trop courte pour certaines applications.)

Microcontrôleur de liaison

Ce microcontrôleur est chargé du recensement de tous les contrôleurs de mesure et de la liaison avec l'ordinateur servant à l'affichage. La datation ayant été faite en amont, il n'y a aucune contrainte temporelle ici.

Le recensement et le dialogue avec les contrôleurs de mesure se fait selon un protocole adapté (par exemple I²C pour une liaison filaire, bluetooth pour une liaison sans fil). La communication avec l'ordinateur peut se faire par une liaison de type RS232 sur le port série ou par bus USB. Là encore, il n'y a pas de problème de délai ou de débit.

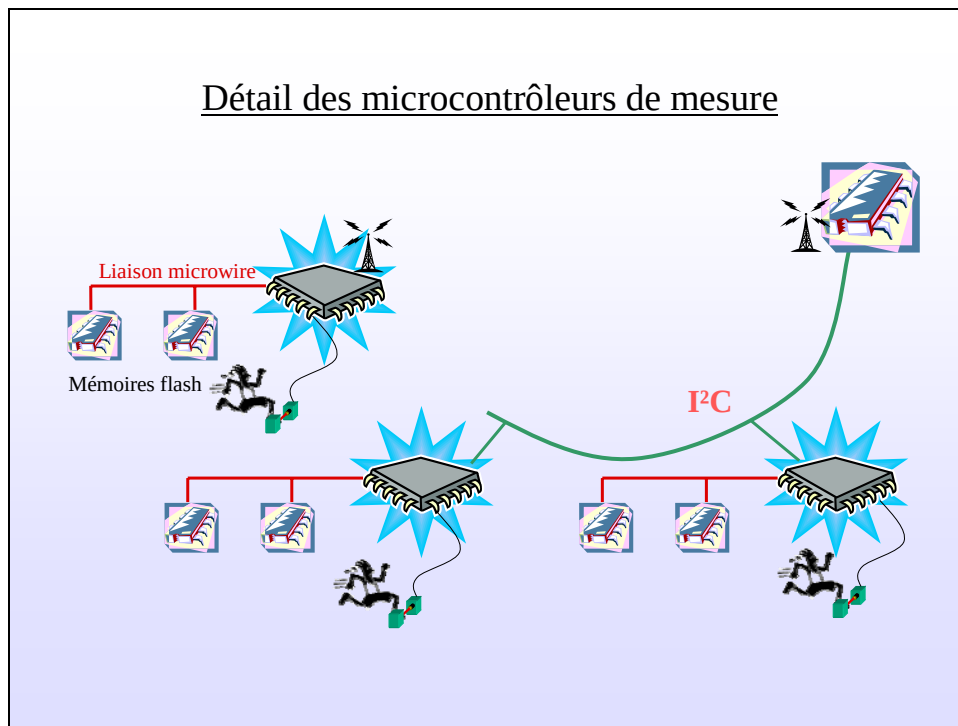


Schéma 6 : Microcontrôleurs de mesure et liaison/dialogue PC

Deux types de fonctionnement sont possibles et dépendront des contraintes sportives, et notamment de la nécessité de pouvoir traiter les données ou informations chronométriques cycliques (temps, vitesses, accélérations, fréquences, longueurs de cycles, etc.) en temps réel.

Le premier consiste à envoyer les informations au fur et à mesure qu'elles arrivent. Par exemple, un des capteurs détecte une entrée en zone, relève la date, assigne un identifiant, vérifie que le bus est libre, envoie l'information au contrôleur de liaison qui retransmet immédiatement au programme sur l'ordinateur. Dans ce cas, la mémoire à proximité des contrôleurs de mesure ne sert que de tampon. Pour être opérationnel, le système doit être complet, c'est à dire qu'il faut un ordinateur sur le terrain.

Le deuxième mode de fonctionnement s'apparente à celui d'un « logger ». Le capteur détecte par exemple l'entrée en zone du sportif ou de son équipement, relève la date, assigne un identifiant et stocke le tout dans la mémoire qu'il a à proximité. Ce n'est que lorsque l'utilisateur le demande, par logiciel ou par bouton, que les informations collectées sont envoyées à l'ordinateur. Ce type de fonctionnement est plus souple.

On peut cependant imaginer un système qui propose les deux fonctionnements ainsi décrits. Le choix se faisant par logiciel ou bouton sur les appareils.

Liaisons microcontrôleurs de mesure ↔ microcontrôleur de liaison

Les liaisons entre les différents modules contenant les microcontrôleurs de mesure, au microcontrôleur de liaison vers le PC, peuvent être de différente nature comme nous l'avons déjà montré.

Transmission filaire

Classiquement, une liaison filaire est le moyen le plus simple et le moins coûteux de transmettre les données. Mais l'utilisation du matériel sur les lieux des pratiques sportives (stade, piscine, bassin d'aviron, route) pose des problèmes de nécessaire adaptation et de mobilité. En effet, le protocole I²C ne permet de transférer des données que sur quelques mètres, ce qui amène dès lors des impératifs de positionnement des boîtiers à proximité du module de liaison. Pour palier cet inconvénient, et offrir une flexibilité beaucoup plus grande aux utilisateurs, les liaisons sans fil semblent la plupart du temps s'imposer à nous.

Transmission sans fil

Deux types de transmissions sans fil s'opposent : l'optique et les ondes radios.

Le sans-fil, moyen de communication très en vogue en ce moment englobe un certain nombre de normes. L'étendue de ses utilisations va du WWAN (Wireless Wide Area Network) au WPAN (Wireless Personal Area Network). Les normes les plus connues sont le 802.11 et ses déclinaisons pour les WLAN (Wireless Local Area Network), le Bluetooth WPAN (Wireless Personal Area Network).

La technique sans-fil n'est pas si récente que cela. En effet, le premier réseau sans-fil commercial date de 1982 aux USA. Plus proche de nous, en 1986, France Telecom lance Radiocom. Les premiers réseaux GSM qui font passer le sans-fil de l'analogique au numérique arrivent en France en 1992 (GSM, UMTS, GPRS...). La mise en place de solutions sans-fil est testée dans des cafés, dans les gares SNCF et bientôt dans les TGV. Le marché économique actuel est énorme et son évolution potentielle l'est encore d'avantage.

Transmission optique

Les transmissions optiques sans fil utilisant les *Infra Rouge* sont connues et utilisées quotidiennement par le grand public (télécommandes...). Relativement aisées à mettre en oeuvre, elles n'ont pour seule contrainte que l'émetteur et le récepteur soient dirigés l'un vers l'autre, les angles de tolérance du faisceau étant relativement limités. Si on ajoute à cela une portée peu importante, et l'obligation qu'aucun objet ne vienne couper la transmission, cette solution est vite abandonnée dans notre cas.

Transmission HF

La transmission HF (high frequencies) désigne les ondes courtes comprises entre 3 et 30MHz, et est utilisée par exemple par les radio-téléphones et l'aviation. De petits modules (émetteur-récepteur) sont disponibles et peuvent être installés dans les boîtiers des microcontrôleurs de mesure et de liaison. La portée peut atteindre quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres en fonction du matériel. Très éprouvée, cette technologie peut néanmoins souffrir d'interférences dues à d'autres appareils voisins utilisant la même gamme de fréquences.

Bluetooth

Actuellement, le « sans-fil personnel » devient de plus en plus utilisé avec l'arrivée notamment des PDA (Personal Digital Assistant) et les liaisons sans fil proposées avec l'ordinateur, pour la synchronisation mais aussi pour la connectique à internet. On parle alors de WPAN (Wireless Personal Area Network). La norme Bluetooth prend aujourd'hui dans ces domaines de « radio » grand public une place de leader. En 1994, le constructeur *Ericson* travaillant à l'unification des technologies sans-fil, choisit ce nom et est rejoint par d'autres

grands constructeurs tels IBM, Intel, Nokia au début de « sa croisade » au sein d'un groupe *Bluetooth SIG* (Bluetooth Special Interest Group). Plus de 2400 constructeurs ont désormais adhéré à ce groupe dont 3Com, Apple et Microsoft. Les matériels basés sur cette norme sont aujourd'hui très nombreux voire incontournables. Ericson estimait en 2002 que 100 millions d'appareils utilisaient des puces de cette norme et la progression apparaît depuis comme exponentielle.

La norme Bluetooth 1.0 s'appuie sur une transmission radio utilisant la bande de fréquence 2,45GHz. Son principe de fonctionnement est le mode *point to multipoint*, c'est-à-dire qu'un système maître peut communiquer avec plusieurs systèmes esclaves contrairement aux transmissions infrarouges qui ne permettent que la transmission *point to point*. L'avantage pour la téléphonie mobile et les PDA s'est fait tout de suite ressentir. Les systèmes d'un réseau Bluetooth sont regroupés en sous réseaux appelés *picoréseaux*. Dans chaque picoréseau, un système maître peut accueillir jusqu'à 7 systèmes esclaves soit un maximum de 8 appareils actifs. Ce réseau peut être agrandi en faisant communiquer jusqu'à 10 picoréseaux soit 72 systèmes actifs.

L'émetteur et le récepteur Bluetooth peuvent changer de canal d'émission et de réception sans perte de connexion de manière automatique pour éviter les engorgements de la bande passante (1600 fois par secondes). C'est le maître qui décide de ce saut. Il y a donc un ensemble de processus de contrôle de connexion assez important qui prend une partie non négligeable de la bande passante d'où des débits plutôt orientés vers les 800kbit/s. Le débit de données proposé par cette norme, de l'ordre de plusieurs Mégabit/s, est très grandement suffisant pour notre utilisation, et la portée maximale théorique atteint 100 mètres en terrain dégagé. De plus, son développement actuel permet de s'équiper à coût raisonnable (quelques dizaines d'euros).

Wi-Fi (Wireless Fidelity)

L'*IEEE 802.11* est une norme finalisée en 1998. L'*IEEE 802.11b*, créée en 1999 est également appelée *Wi-Fi*. C'est la déclinaison la plus utilisée actuellement dans le milieu informatique.

Comme la technologie Bluetooth, l'*IEEE 802.11b* utilise la technologie radio dans une gamme de fréquence de 2,4GHz, et sa dernière déclinaison, l'*IEEE 802.11g*, permet des performances supérieures (en débit et portée).

Notre but étant de proposer une connexion sans-fil pour un matériel le plus nomade possible (tout comme les PDA et autres téléphones portables), la compacité, la portabilité, le coût, et l'autonomie donnent largement l'avantage à la norme Bluetooth.

Il est à noter que l'utilisation de ce type de liaison sans fil présente l'avantage de pouvoir se passer, par la suite, d'un microcontrôleur de liaison, en déportant les tâches de ce dernier au sein du PC lui-même. Un « dongle Bluetooth » se connectant à une prise USB assurerait la communication directe entre l'ordinateur et les modules de mesure, suivant un protocole de communication à définir. De plus, de nombreux PC portables actuels sont déjà équipés d'origine de la technologie Bluetooth.

BILAN DE LA GESTION DEPORTEE DU TEMPS

Pour conclure cette partie, voici la synthèse des avantages et inconvénients d'un tel système.

Les avantages sont nombreux :

- ❖ Une extrême précision. On peut en effet atteindre 1 microseconde avec des microcontrôleurs de mesure performants. Avec des produits meilleur marché, une précision de 1 milliseconde est facilement accessible.
- ❖ Une grande facilité à ajouter un chronomètre. Il suffit pour cela d'ajouter un microcontrôleur de mesure.
- ❖ La liaison entre les microcontrôleurs n'est pas un facteur limitant. En effet, même avec une liaison lente, la datation d'un événement reste fiable puisque faite en amont. Cette liaison peut être filaire, hertzienne ou lumineuse.

On peut toutefois citer quelques inconvénients :

- ❖ Une mise en œuvre moins évidente qu'avec un PC seul. Il faut en effet que les microcontrôleurs de mesure soient alimentés (par batteries, piles ou secteur).
- ❖ Une synchronisation des microcontrôleurs de mesure est nécessaire. Avant une série de mesures, il faut en effet mettre à zéro tous les microcontrôleurs de mesure et les déclencher simultanément.

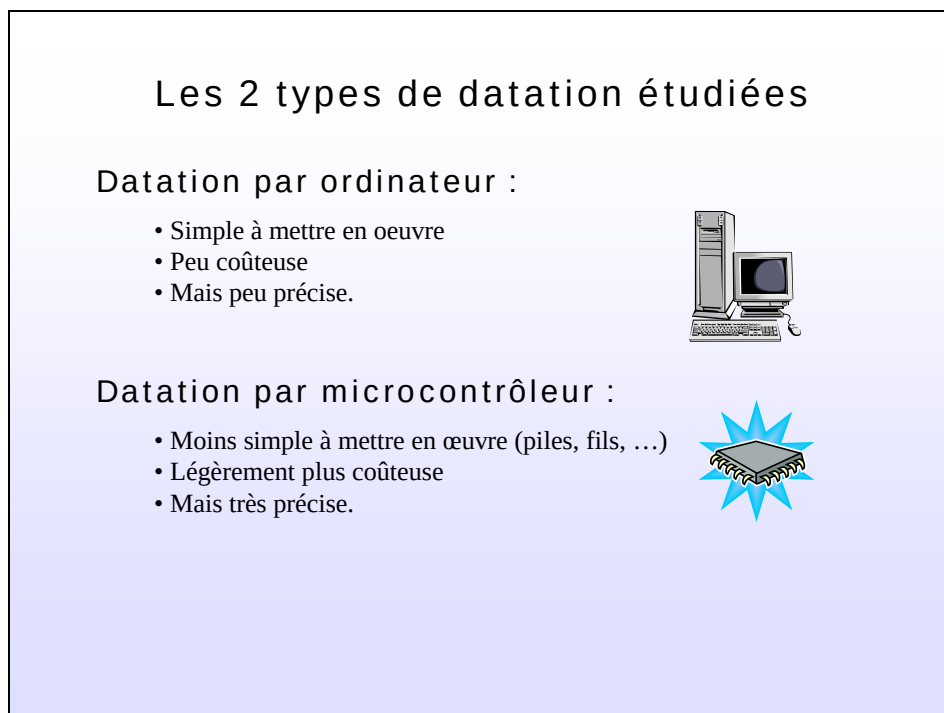


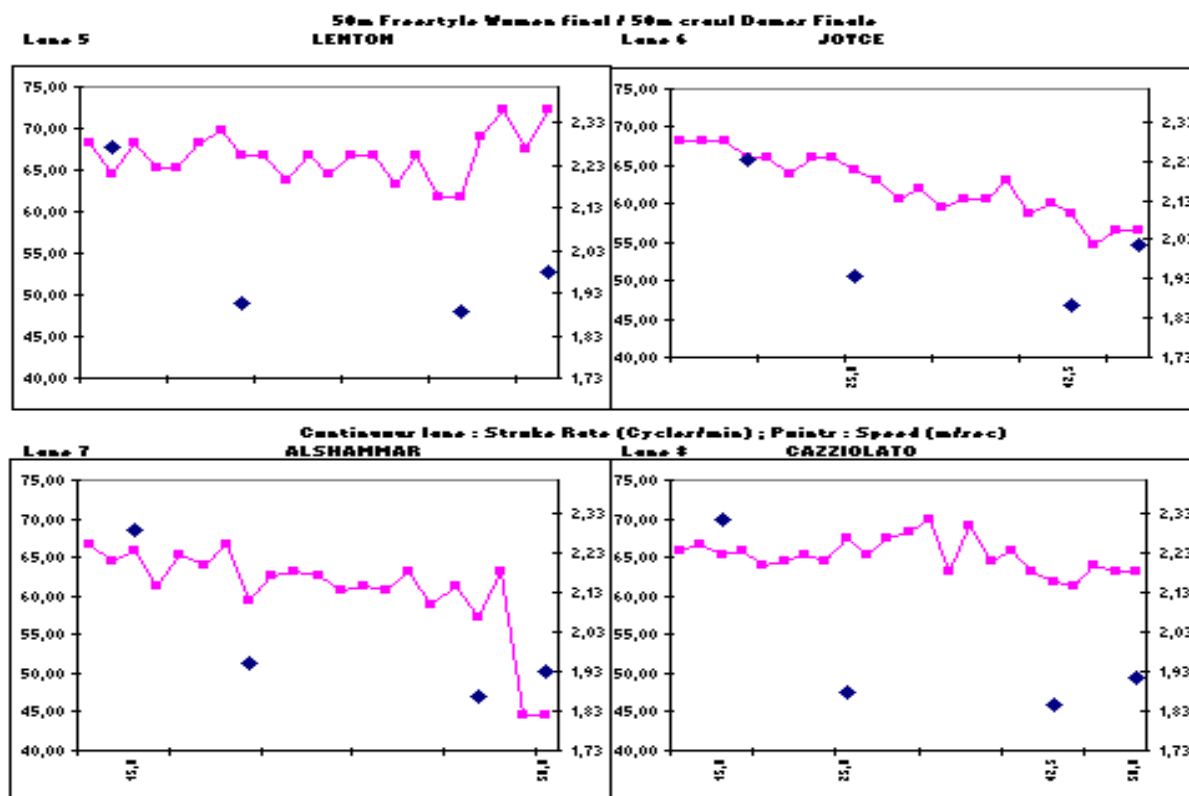
Schéma 7 : Datation d'événements par ordinateur vs microcontrôleurs

LE TRAITEMENT DES INFORMATIONS

Les informations issues des sports cycliques

L'acquisition et le traitement d'informations dans les sports cycliques reposent sur une base commune : le marquage et la datation d'événements. Leur traitement en fonction des problématiques sportives peut être envisagé à partir d'un même logiciel, permettant à l'utilisateur de construire son protocole en fonction des mesures qu'il veut effectuer.

Pour évaluer, par exemple, une cinétique de fréquences ou d'amplitudes dans une course de natation, nous avons une suite de temps (dates) qui marque un événement spatial ou constitue un repère cyclique. Il convient donc de la répertorier soit en tant qu'information brute (exemple d'un coup de bras qu'il faut compter), soit en tant qu'élément informatif à la base de calculs associés (exemple du même coup de bras qui interviendra dans le calcul d'une moyenne mobile du nombre de cycles de nage par minute).



Diapositive 3 : Cinétiques individuelles de Cadences (Cycles/mn-tracé rouge) et de Distances par cycle (m-losanges bleus) pour un 50 m nage libre dames aux J.O. de Sydney (FFN).

L'acquisition doit aboutir à la construction d'une liste de n éléments associés au temps qui se déroule du type général $t_0(a_0, b_0, c_0)$, $t_1(a_1, b_1, c_1)$, $t_2(a_2, b_2, c_2)$, ..., $t_n(a_n, b_n, c_n)$ et en fonction de routines qui répondront au protocole de mesures correspondant. Le traitement des données se réalise à partir de cette liste d'événements datés. Certaines équipes d'évaluation sont capables, dans la cadre de la préparation technique de leurs équipes nationales de superposer le chronométrage officiel de la réunion, avec des fichiers vidéos eux mêmes marqués par des repères spatio-temporels qui permettront à l'athlète et l'entraîneur de revoir une course sous un angle très technique (temps des virages, évolutions des cadences de nage et de l'amplitude). Ceci immédiatement après la performance réalisée (voir diapositives suivantes).



Diapositive 4 : Système « léger » australien. L'opératrice « suit » le nageur par vidéo (main droite) et marque chaque « coup de bras » par une action sur le bouton poussoir (main gauche) tandis qu'elle initialise chaque longueur de bassin avec le pied !



Diapositive 5 : Système « léger » australien. Le résultat de la course ainsi encodé sur disque dur est disponible dès la fin de la course. Apparaissent pour chaque longueur de bassin : distance par cycle, cadence, vitesse, indice de nage, temps sur le virage précédent etc.

Modélisation du traitement.

Une modélisation du traitement de ces informations peut se résumer dans le schéma suivant :

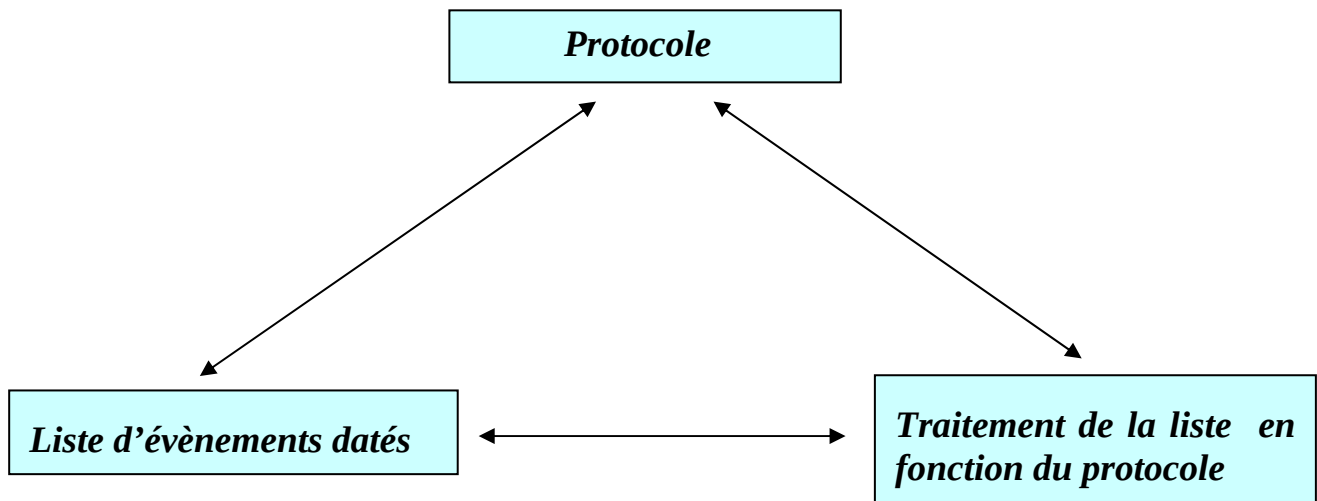


Schéma 8 : Modélisation du traitement d'informations cycliques du système proposé par le LIAS-INSEP

Dans ce système, la liste d'événements datés provient de l'acquisition. Le protocole se définit en fonction du problème que l'on veut traiter. Le traitement se réalise à partir de la liste des événements et des règles du protocole.

REALISATION LOGICIELLE DU LIAS-INSEP

Après la présentation de notre modélisation, nous présentons ici un logiciel qui permet de traiter cette classe de problèmes liée à la datation d'événements à l'intérieur d'actions sportives. Le logiciel développé est un prototype, mais est potentiellement capable d'intégrer une infinité de protocoles d'analyse des paramètres cycliques à l'entraînement et en compétition.

L'application « Chronocycle ».

L'application Chronocycle est un logiciel qui permet de faire l'acquisition d'événements datés, et de faire le traitement de ces informations en fonction d'un protocole déterminé. Le logiciel est réalisé à l'aide du langage JAVA. Ce langage informatique « orienté objet » permet de prendre en compte le modèle défini pour cette classe de problèmes. Le logiciel permet de :

- ❖ faire l'acquisition de la liste d'événements datés
- ❖ prendre en compte différents protocoles,
- ❖ présenter des résultats en fonction du protocole.



Diapositive 5 : Ecran d'accueil du logiciel Chronocycle

Le logiciel est organisé actuellement pour faire de l'acquisition d'événements à partir d'une capture directe ou d'un fichier vidéo que l'on peut voir dans une des fenêtres de l'application développée. La diapositive suivante illustre ces possibilités :

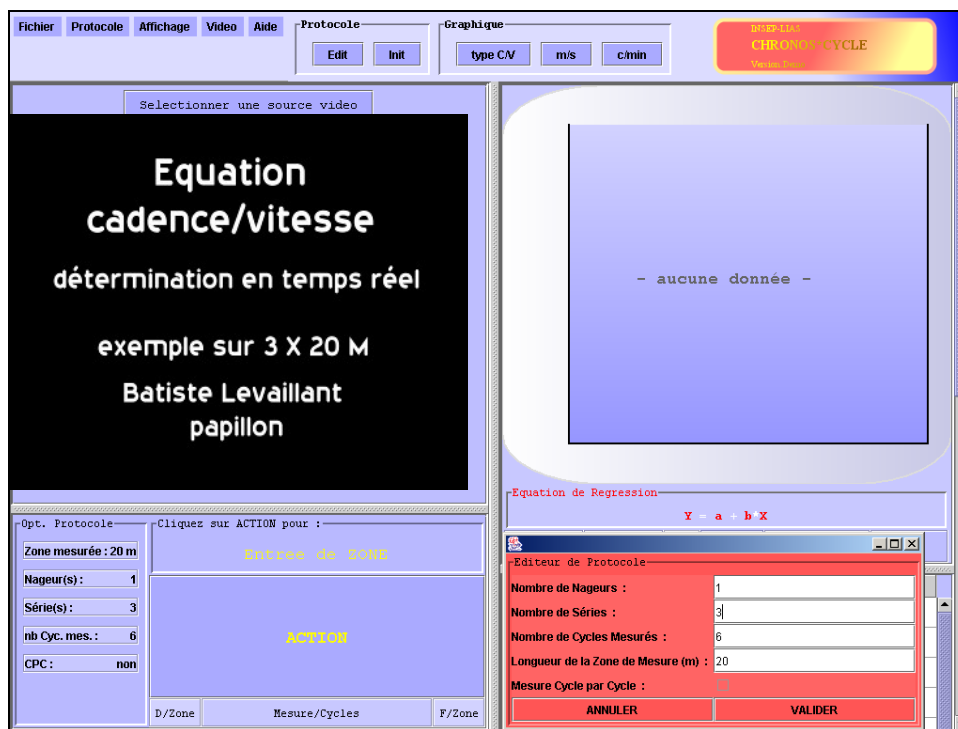
Chronocycle

Exemple d'application dédié à l'évaluation en temps réel :
développée en Java TM par le LIAS de l'INSEP

Le logiciel interprète l'ordre des événements transmis soit par la souris soit par radio. L'incrustation vidéo peut être réalisée à partir du disque dur ou être acquise en temps réel (liaison filaire, (ici Firewire), ou H.F.)




Diapositive 6 : Utilisation en piscine du logiciel Chronocycle (Profil Cadence/Vitesse d'un nageur)

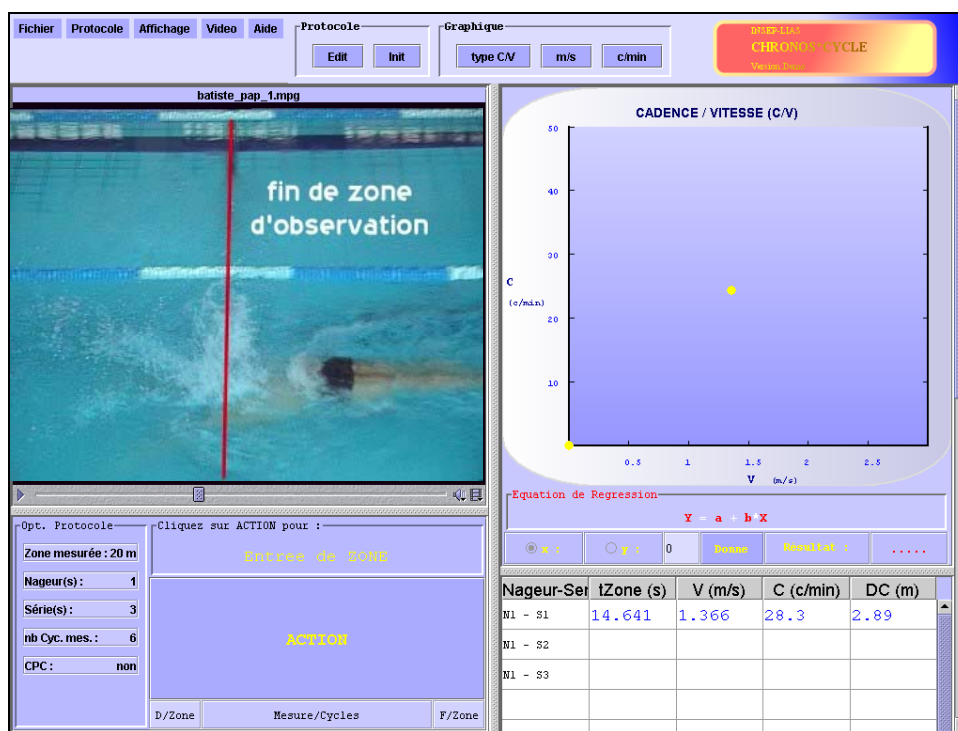


Diapositive 7 : Utilisation d’acquisition directe par le PC d’informations spatio-temporelles permettant d’établir une équation.

L’acquisition a été testée à partir de clic souris, clavier, et d’une télécommande externe au PC radio H.F. mais elle peut recevoir tous types informations de déclenchement du système (capteurs, reconnaissance automatique d’images, barrières lumineuses, signaux sonores).



Diapositive 8 : Mesure des cycles à vitesse lente pendant la nage.



Diapositive 9 : Affichage immédiat dès la sortie de zone par le PC du Temps, de la Vitesse, de la Cadence et de la Distance par Cycle ainsi que du point sur le graphique illustrant le rapport Cadence/Vitesse de ce passage.



Diapositive 10 : Affichage immédiat dès la fin du test des Temps, Vitesses, Cadences, Distances par cycle ainsi que les points sur le graphique illustrant l'équation Cadence/Vitesse établie en « temps réel ».

REALISATION ELECTRONIQUE DU LIAS-INSEP

Suite aux conclusions techniques développées dans ce rapport, le LIAS a développé un système original à base de modules qui permet une précision temporelle de 1 milliseconde et peut être utilisé en faisant abstraction des contraintes du système d'exploitation au niveau de la précision du temps.

Les modules ont été testés et validés séparément pour pouvoir s'adapter facilement à différents protocoles. Le système décrit ci-dessous rassemble les différents modules réalisés.

Le système est composé de plusieurs éléments :

- Un microcontrôleur PIC faisant office d'horloge (« clock »)
- Un microcontrôleur central PIC de gestion
- Une mémoire de type EEPROM assurant le stockage des informations
- Un émetteur/récepteur RS232 permettant de communiquer avec un PC en suivant le protocole de liaison série
- Un bouton poussoir, servant de déclencheur, pour réaliser des tests.

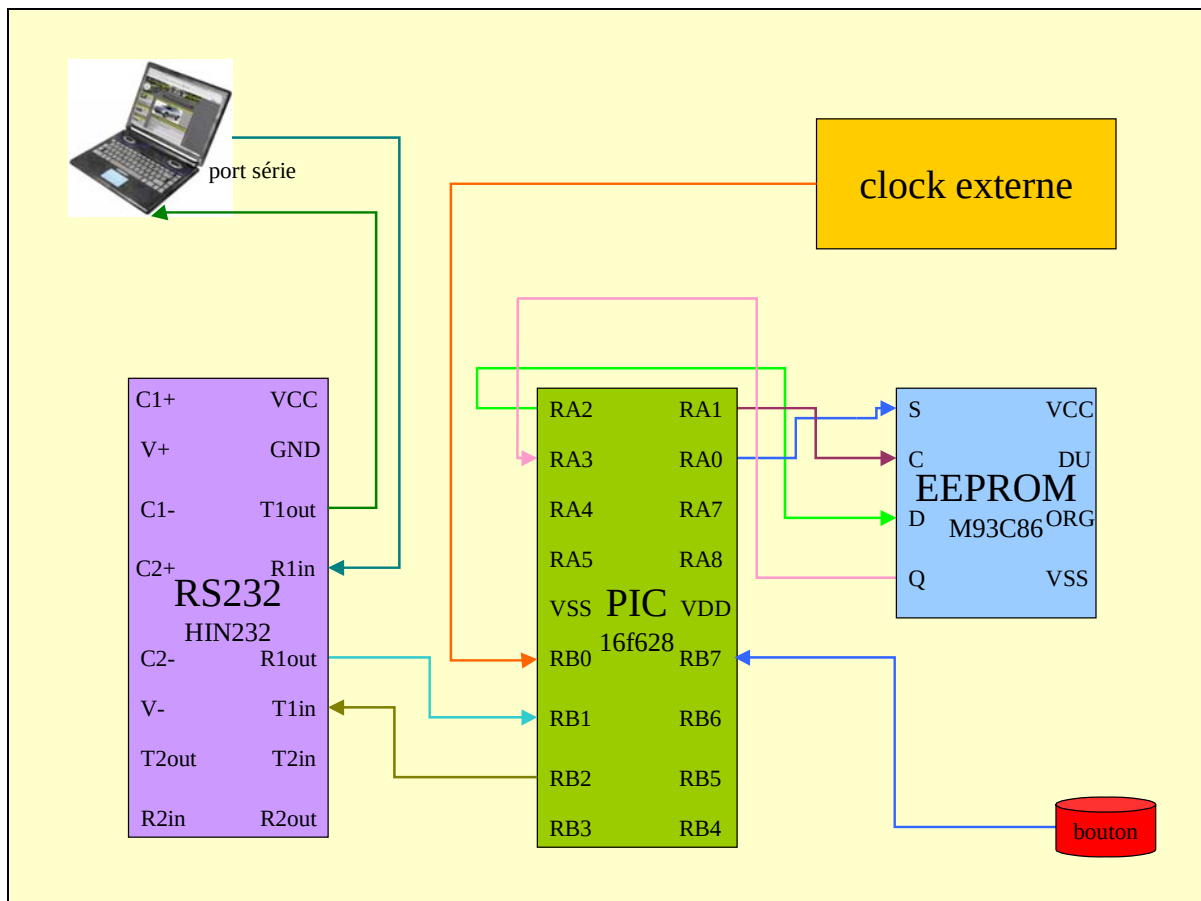
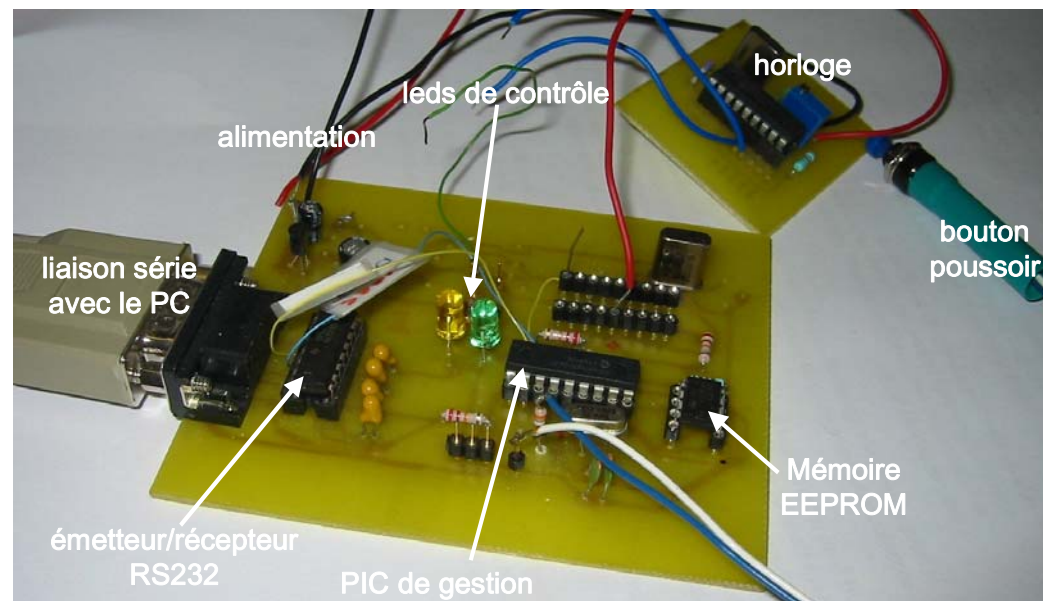


Schéma 8 : Connexions des différents éléments du système développé au LIAS-INSEP



Diapositive 11 : Photo du système

Principe de fonctionnement

Le microcontrôleur « horloge » permet d'obtenir, en fonction des besoins, cinq fréquences d'horloge (de 1 Hz à 10 KHz), autorisant une précision maximale de 100 μ s. Une fois la fréquence appropriée sélectionnée (par câblage), cette horloge incrémente dans le microcontrôleur de gestion (par un principe d'interruption) une variable compteur de 4 octets (soit 1200 heures d'enregistrement possibles) qui permettra de dater précisément chaque événement.

Le microcontrôleur de gestion, sert quant à lui à orchestrer les différents éléments, et à obéir aux ordres provenant du PC. Pour se faire, un programme « scrute » sans cesse les messages émis depuis le PC à sa destination (via l'émetteur/récepteur RS232). Seules les interruptions, qui sont prioritaires sur toute tâche, et quelques tâches ordonnées par le PC (gestion de la mémoire...) peuvent faire sortir temporairement le programme de cette attente. Ce microcontrôleur permet, via les directives du PC, de contrôler la mémoire EEPROM : écriture (enregistrement d'un événement), lecture (renvoi d'une donnée vers le PC) et effacement complet (après transfert de toutes les données vers le PC, afin de préparer un nouveau cycle d'enregistrements).

Une pression sur le bouton poussoir permet de signaler un événement via une interruption. A chacun de ces événements, le microcontrôleur de gestion enregistre dans la mémoire EEPROM, à une adresse définie, la valeur du compteur de temps. Ces données sont enregistrées les unes à la suite des autres dans cette mémoire « tampon », en attendant un déchargement total de celle-ci vers le PC en vue de les analyser. Le module étant totalement autonome, cette analyse peut se faire immédiatement (« temps réel »), ou en différé (principe du « logger »), ce qui ne nécessite pas la présence d'un ordinateur sur les lieux d'enregistrement de la performance.

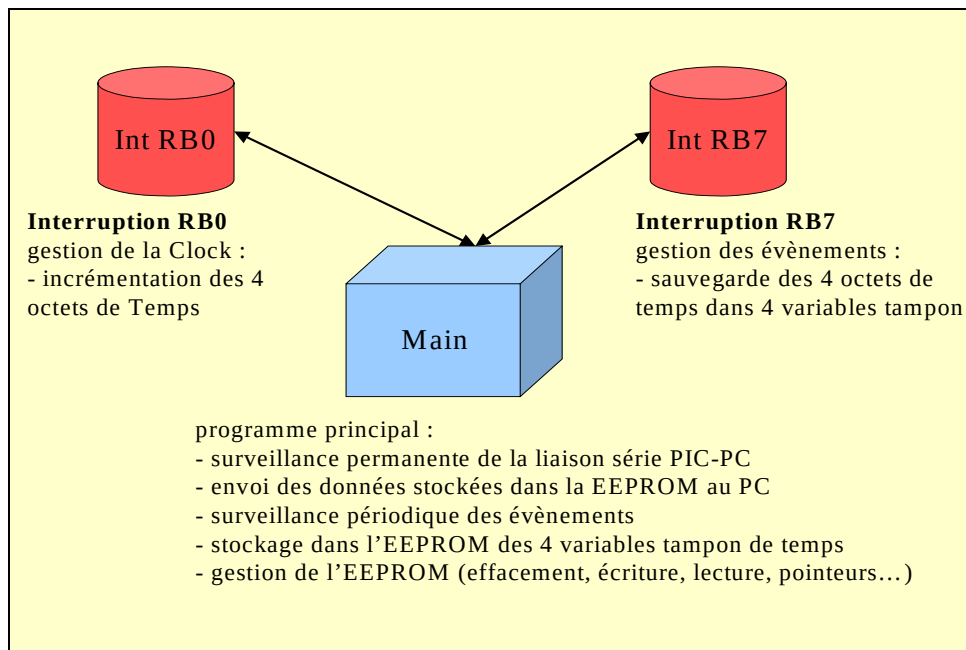


Schéma 9 : Architecture du programme principal du système électronique développé au LIAS-INSEP

Les microcontrôleurs actuels étant très performants et rapides, chacune de ces actions est totalement « transparente » pour l'utilisateur et n'a aucune incidence sur la notion de temps réel. La précision et la stabilité de l'horloge annoncées par le fabricant du microcontrôleur dédié ont été mesurées et vérifiées à l'aide d'un oscillateur numérique au laboratoire. La stabilité permet ici de faire fonctionner plusieurs modules, indépendamment les uns des autres, sur une même base de temps, en ne synchronisant uniquement que la mise en marche des compteurs de temps (remise à zéro). Le dialogue PC - système est réalisé actuellement par l'intermédiaire d'un *Hyper Terminal* (logiciel Windows). Diverses séquences « tests » d'échanges sont intégrées au programme du microcontrôleur pour vérifier le bon fonctionnement du module et de sa communication avec l'ordinateur.

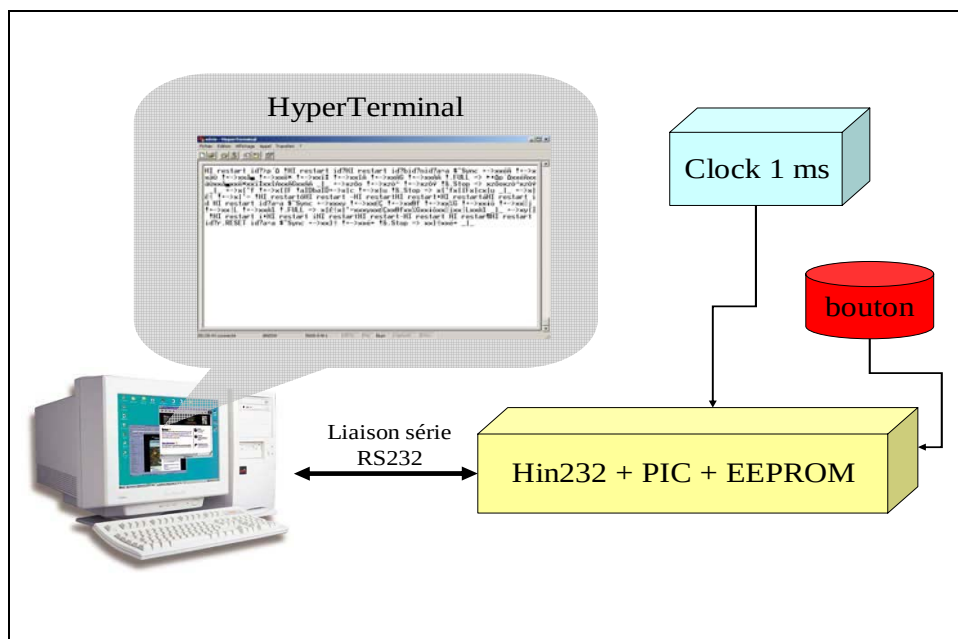


Schéma 10 : Mise en place des tests de fonctionnement du système et de sa communication avec le PC

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Conclusion sur la réalisation du projet

- ❖ L'étude a permis de faire le point sur 2 situations alternatives de mesures du temps :
Le PC seul, ou le PC collaborant avec des modules électroniques.
 - Le logiciel prototype Chronocycle, issu de notre modélisation permet une adaptation rapide à différents protocoles et devrait permettre d'apporter des solutions innovantes à moindre coût pour des fédérations concernées par les mesures cycliques réalisées en temps réel.
 - Le système électronique déporté conçu pour des mesures précises à la milliseconde est un système modulaire qui permet de s'adapter rapidement à différents protocoles.

Les possibilités de développement ultérieur

Au delà de la réalisation souhaitée de solutions pour les fédérations, il convient de tester maintenant la faisabilité à faire fonctionner les modules à base de microcontrôleurs dans différents protocoles. L'axe des « capteurs de déclenchement » est également un objectif susceptible de séduire nos partenaires sportifs. L'exactitude dans la mesure du temps n'ayant de sens que si celle-ci est réalisée dans des conditions de validité et de fidélité qui ne peuvent pas être compatibles avec le « jugé » humain.

Remplacer le bouton poussoir par une barrière optique ou capteur, mettre au point une reconnaissance automatique d'entrée de zones à partir d'images vidéo, représentent naturellement des enjeux dont sont conscientes toutes les équipes concurrentes intéressées par ce problème.

Enfin, les liaisons sans fil et la mise au point de nouvelles applications d'interface « homme-machine » développées sur les nouveaux outils grand public (téléphones portables et les PAD) sont des pistes sur lesquelles la différence mérite d'être faite avec des systèmes conventionnels existants.

LEXIQUE

Bluetooth: Technologie de réseau personnel sans fil noté WPAN (*Wireless Personal Area Network*), c'est-à-dire une technologie de réseaux sans fil d'une faible portée, de l'ordre de quelques dizaines de mètres à un peu moins d'une centaine de mètres, permettant de relier des périphériques (imprimantes, téléphones portables, appareils domestiques, oreillettes sans fil, souris, clavier,...), des ordinateurs et des assistants personnels (PDA) entre eux sans liaison filaire.

Pour en savoir plus: <http://www.bluetooth.com/>

DMA : Direct Memory Access. Ce système permet à un périphérique d'accéder directement à la mémoire vive d'un micro-ordinateur. Cela permet d'optimiser les échanges et de soulager le processeur qui n'a plus à gérer les échanges de données.

Microprocesseur (souvent simplifié par processeur) : Le microprocesseur est l'élément central d'un système informatique. C'est une puce en silicium de quelques centimètres carrés qui a pour rôle d'effectuer toutes les opérations de base du système. Il parcourt la mémoire dans laquelle il lit, décode et exécute les instructions des programmes, réalise toutes les opérations arithmétiques et logiques. Il est caractérisé par son architecture (RISC, CISC, VLIW), la longueur des mots qu'il traite (actuellement entre 32 et 256 bits) et, dans une moindre mesure, par sa fréquence de fonctionnement (quelques gigaHertz pour les plus récents).

Les processeurs considérés ici sont de type Intel Pentium ou AMD Athlon, à architecture RISC, de 32 bits de largeur de mots et cadencés à des fréquences comprises entre 600 MHz et 2 GHz.

Microcontrôleur : C'est un composant électronique actif dérivé d'un microprocesseur. Il en reprend d'ailleurs le cœur, simplifié. On trouve en effet dans les microcontrôleurs récents des cœurs de processeurs RISC de 8 à 16 bits, cadencés à des fréquences de l'ordre de quelques dizaines de mégahertz. Ces composants sont dotés d'un grand nombre d'entrées / sorties et de quelques modules comme des timers ou des convertisseurs analogique / numérique. Leur coût est bien plus faible que celui d'un microprocesseur complet (quelques euros pour les premiers contre quelques centaines ou milliers d'euros pour les seconds).

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) : Il s'agit d'une puce contrôlant un port série en émission et réception. Elle assure le respect du protocole série et les conversions parallèle / série et série / parallèle, seul mode utilisable par un processeur. Les ordinateurs récents utilisent une puce de type UART 16650 qui permet d'obtenir des débits allant jusqu'à 230 kbits par seconde.

Système d'exploitation (Operating System – OS) : logiciel permettant au matériel de fonctionner. L'OS est la première application démarrée et la dernière arrêtée. C'est lui qui gère les ressources disponibles (processeur, mémoire, disque dur, périphériques,...). Il existe 3 principales familles d'OS : Microsoft Windows, Linux et Mac OS.

I²C (Integrated – Integrated Circuit) : protocole de communication entre différents protagonistes (circuits sur une carte ou modules d'un même circuit). Ce protocole repose sur un bus sériel à 2 canaux, SDA pour les données et SCL pour l'horloge : il s'agit donc d'un bus synchrone.

Wi-Fi : La norme *IEEE 802.11* est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN). Le nom **Wi-Fi** (contraction de *Wireless Fidelity*) correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la *Wi-Fi Alliance*, l'organisme chargé de maintenir l'interopérabilité entre les matériels répondant à la norme 802.11. Grâce au Wi-Fi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit, pour peu que la station à connecter ne soit pas trop distante par rapport au point d'accès. Dans la pratique le Wi-Fi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ou tout type de périphérique à une liaison haut débit (11 Mbps ou supérieur) sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres) à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert. Ainsi des opérateurs commencent à irriguer des zones à forte concentration d'utilisateurs (gares, aéroports, hôtels, trains,...) avec des réseaux sans fil. Ces zones d'accès sont appelées « **hot spots** ». Pour en savoir plus : <http://www.wi-fi.org/>

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<i>Diapositive 1 : Ecran d'analyse de NATAVIT, application sous MS-DOS développée en 1995 à l'INSEP pour la FFN</i>	<i>3</i>
<i>Diapositive 2 : Comparaisons de mesures temporelles dans les 4 nages entre J.O. (O) et Nationaux (N) (source FFN)</i>	<i>4</i>
<i>Schéma1: Fonctionnement général d'un système temps réel</i>	<i>5</i>
<i>Schéma 2 : Lien entre les sous-systèmes.</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 1 : Exemple d'ordonnancement de processus A, B, C, D dans le temps.</i>	<i>7</i>
<i>Schéma 3 : Structure du port série.</i>	<i>9</i>
<i>Schéma 5 : Structure du port parallèle.</i>	<i>10</i>
<i>Schéma 4 : Architecture du système décentralisé.....</i>	<i>12</i>
<i>Schéma 5 : Exemple d'utilisation d'un microcontrôleur de mesure.</i>	<i>13</i>
<i>Schéma 6 : Microcontrôleurs de mesure et liaison/dialogue I²C.....</i>	<i>14</i>
<i>Schéma 7 : Datation d'évènements par ordinateur vs microcontrôleurs.....</i>	<i>17</i>
<i>Diapositive 3 : Cinétiques individuelles de Cadences (Cycles/mn-tracé rouge) et de Distances par cycle (m-losanges bleus) pour un 50 m nage libre dames aux J.O. de Sydney (FFN).</i>	<i>18</i>
<i>Diapositive 4 : Système « léger » australien. L'opératrice « suit » le nageur par vidéo (main droite) et marque chaque « coup de bras » par une action sur le bouton poussoir (main gauche) tandis qu'elle initialise chaque longueur de bassin avec le pied !.....</i>	<i>19</i>
<i>Diapositive 5 : Système « léger » australien. Le résultat de la course ainsi encodé sur disque dur est disponible dès la fin de la course. Apparaissent pour chaque longueur de bassin : distance par cycle, cadence, vitesse, indice de nage, temps sur le virage précédent etc.</i>	<i>19</i>
<i>Schéma 8 : Modélisation du traitement d'informations cycliques du système proposé par le LIAS-INSEP.....</i>	<i>20</i>
<i>Diapositive 5 : Ecran d'accueil du logiciel Chronocycle</i>	<i>21</i>
<i>Diapositive 6 : Utilisation en piscine du logiciel Chronocycle (Profil Cadence/Vitesse d'un nageur)</i>	<i>21</i>
<i>Diapositive 7 : Utilisation d'acquisition directe par le PC d'informations spatio-temporelles permettant d'établir une équation.</i>	<i>22</i>
<i>Diapositive 8 : Mesure des cycles à vitesse lente pendant la nage.</i>	<i>22</i>
<i>Diapositive 9 : Affichage immédiat dès la sortie de zone par le PC du Temps, de la Vitesse, de la Cadence et de la Distance par Cycle ainsi que du point sur le graphique illustrant le rapport Cadence/Vitesse de ce passage.</i>	<i>23</i>

<i>Diapositive 10 : Affichage immédiat dès la fin du test des Temps, Vitesses, Cadences, Distances par cycle ainsi que les points sur le graphique illustrant l'équation Cadence/Vitesse établie en « temps réel ».....</i>	<i>23</i>
<i>Schéma 8 : Connexions des différents éléments du système développé au LIAS-INSEP</i>	<i>24</i>
<i>Diapositive 11 : Photo du système</i>	<i>25</i>
<i>Schéma 9 : Architecture du programme principal du système électronique développé au LIAS-INSEP</i>	<i>26</i>
<i>Schéma 10 : Mise en place des tests de fonctionnement du système et de sa communication avec le PC.....</i>	<i>26</i>

Résumé

A l'ère des grandes organisations sportives, de nombreux systèmes électroniques spécifiques gèrent des fonctions de plus en plus évoluées de «chronométrage». C'est surtout la précision et les possibilités d'affichage qui justifient des coûts prohibitifs que prennent en compte les organisateurs. L'ordinateur est pour l'instant resté en dehors des appareils de mesures, même pour le particulier ou l'entraîneur qui pourrait bénéficier des possibilités intrinsèques de l'ordinateur. Or, de l'ordinateur de poche qui saura demain chronométrer « intelligemment », jusqu'à la console informatique à « l'écoute » d'informations électroniques temporelles émises à distance (télécommandes), il est permis de penser que l'informatique est le gestionnaire temporel par excellence. Dans le prolongement de ces problèmes spécifiques de chronométrage, les organisateurs d'événements sportifs ont été progressivement saisis par des demandes d'évaluateurs, de chercheurs puis par les Fédérations Internationales de fournir rapidement un nouveau type d'informations permettant d'analyser des activités cycliques. Des systèmes de plus en plus complexes rivalisent mais les informations sont toujours délivrées en différé, ce qui retire beaucoup d'intérêt à l'opération (entraîneur, public, journalistes). La conjugaison des dernières techniques informatiques et électroniques nous a permis d'apporter des solutions innovantes pour dispenser ce type d'informations de manière contemporaine aux mesures elles-mêmes :

- ❖ Le logiciel prototype Chronocycle, issu de notre modélisation rend possible une adaptation rapide à différents protocoles de mesures et devrait permettre d'apporter des solutions innovantes à moindre coût pour les fédérations sportives concernées par les mesures cycliques réalisées en temps réel.
- ❖ Un système électronique déporté pour des mesures précises à la milliseconde.

Cette étude fait donc le point sur 2 situations alternatives de mesures du temps : l'ordinateur seul, ou l'ordinateur collaborant avec des modules électroniques.

Remplacer les « boutons-poussoirs » par une barrière optique ou capteur, mettre au point une reconnaissance automatique d'entrée de zones à partir d'images vidéo, des liaisons sans fil et la mise au point de nouvelles applications d'interface « homme-machine » représentent des perspectives de développements ultérieurs au profit de l'intérêt général du sport français.

Mots-Clés :

Métrologie, Innovation, Technologie, Chrono-Cadencemètre, Sports Cycliques.