

# QUELQUES IDEES NEUVES SUR LES COORDINATIONS EN NATATION

## **Didier Delignières**

EA 2991 "Sport, Performance, Santé"  
Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique  
Université Montpellier I  
700, avenue du Pic saint Loup  
F-34090 Montpellier  
Tel: +33 (0)4 67 41 57 54  
Fax: +33 (0)4 67 41 57 08  
Email: delignieres@sc.univ-montpl.fr

## **Didier Chollet**

Centre d'Etude des Transformations des A.P.S.  
Faculté des Sciences du Sport  
Université de Rouen  
Boulevard Siegfried  
F-76821 Mont Saint Aignan Cedex  
Tel:+33 (0)2 35 14 81 84 (ou70)  
Fax:+33 (0)2 35 14 81 70  
Email:Didier.Chollet@univ-rouen.fr

## **Introduction**

L'objectif de cette communication est de proposer une lecture nouvelle de l'évolution des coordinations motrices en natation. Il est courant de voir analyser les coordinations motrices et leur adaptation à la tâche à réaliser en termes de stratégies, d'intelligence motrice, d'optimisation délibérée. On satisfait ainsi à une vision rationaliste du contrôle moteur, étayée par une tradition scientifique cognitiviste qui a longtemps considéré le comportement moteur comme le reflet fidèle de représentations, connaissances, élaborées par le système nerveux central.

En opposition à cette vision prescriptive du comportement moteur, l'approche dynamique suggère que la coordination émerge de l'interaction des multiples contraintes qui pèsent sur le système. Les caractéristiques de la tâche, la morphologie de l'individu et son expérience antérieure, le contexte dans lequel s'insère l'action contribuent conjointement à la détermination du comportement. Les intentions, ou représentations, sont alors considérées en tant que contraintes cognitives, participant parmi d'autres catégories de contraintes à cette détermination.

L'approche dynamique enfin cherche avantage à découvrir les lois régissant, à un niveau macroscopique, l'évolution des coordinations, qu'à en élucider les mécanismes microscopiques. Le postulat de base est qu'il est possible de rendre compte du comportement des systèmes complexes au travers de modèles formels relativement simples. Si cette approche permet de jeter un regard nouveau sur les problématiques scientifiques du contrôle moteur et de l'apprentissage, nous pensons en outre qu'elle peut apporter aux entraîneurs et éducateurs sportifs des perspectives inédites quant aux facteurs susceptibles d'influencer le comportement moteur du pratiquant (Delignières, 1998).

Dans cette communication, nous présenterons les résultats de deux expérimentations, portant sur l'influence de la vitesse et du degré d'expertise d'une part sur les synchronisations en papillon, et d'autre part sur la coordination en crawl. Nous tenterons de montrer dans les deux cas que des modèles dynamiques relativement simples sont susceptibles de rendre compte de la complexité des coordinations produites, et de l'influence des facteurs manipulés.

## Influence de la vitesse et du degré d'expertise sur les synchronisations en papillon.

La décomposition d'un cycle de papillon présentée en figure 1 montre que sur un cycle complet de bras deux ondulations, chacune composées d'une phase ascendante et d'une phase descendante se réalisent. La coordination la plus judicieuse met très précisément en rapport les 2 phases ondulatoires descendantes des jambes avec les phases les plus importantes des bras. Dès l'entrée des mains dans l'eau et durant la godille externe se réalise la phase descendante de la première ondulation qui relance la propulsion du corps ralentie par le retour des bras. Lors de la godille basse et interne se situe la phase ascendante de la première ondulation. C'est pendant la godille haute que s'effectue la phase descendante de la deuxième ondulation qui tend à empêcher les hanches de s'abaisser à la suite du mouvement vers le haut de poussée des mains. La phase ascendante de cette deuxième ondulation est coordonnée avec le retour aérien des bras.

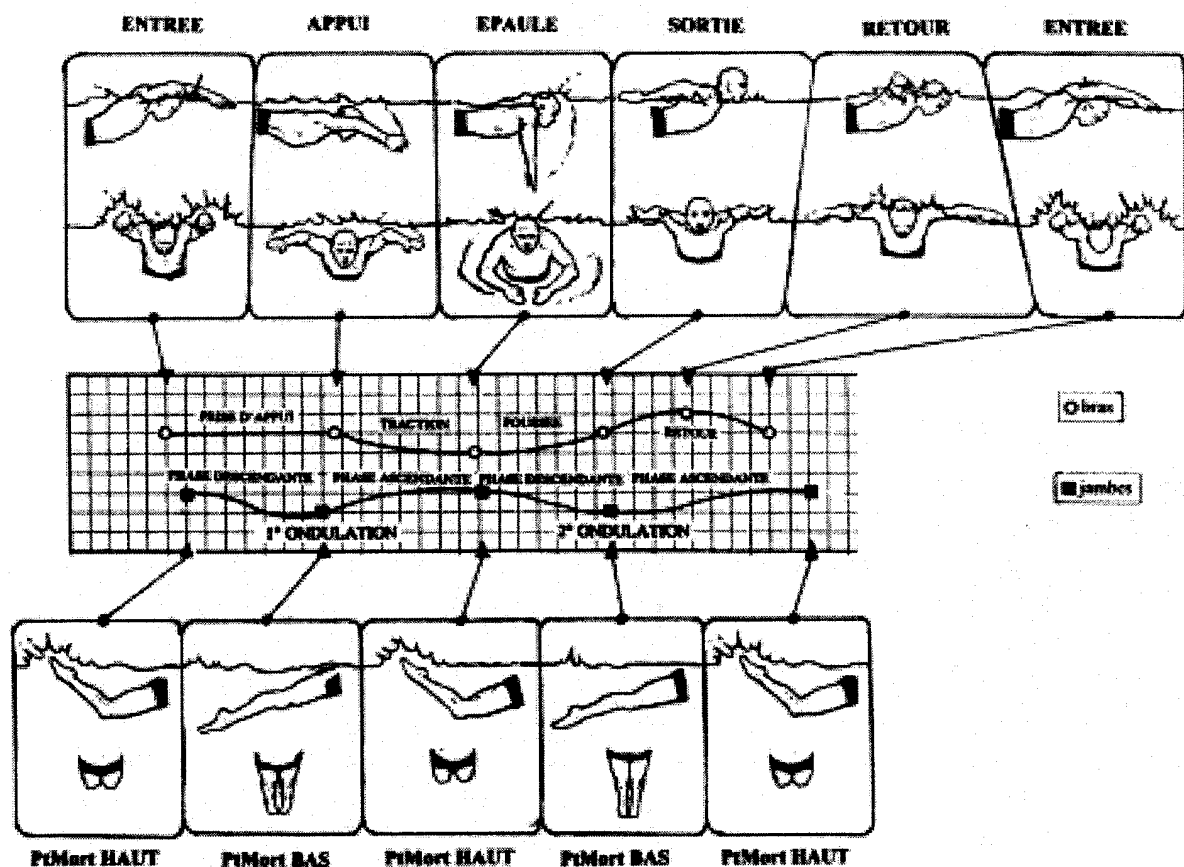


Figure 1 : représentation des points clés déterminant les phases de bras et de jambes en papillon

L'étude qui suit analyse l'évolution des synchronisations des mouvements de bras et de jambes en papillon, en fonction de la vitesse de course et du niveau de performance (Boulesteix et Chollet, 1999).

### Méthode

Seize nageurs (9 experts de niveau international et 7 non experts de niveau régional), ont participé à l'étude. Chaque nageur a effectué 4 épreuves randomisées en papillon à des vitesses de course différentes : vitesse du 400 m, du 200 m, du 100m et du 50 m.

Les phases du cycle de bras et les modes de coordinations des bras et des jambes ont été analysés en vue sous-marine à l'aide de 2 caméras vidéo de face et de profil. Une quantification des durées respectives de chacune de ces phases a été réalisée dans un premier temps de manière individuelle en valeur absolue, puis moyennée d'une part à l'ensemble des experts et d'autre part à l'ensemble des non experts alors en valeurs relatives (pourcentage de la durée du temps d'un cycle représentatif).

### Résultats

Evolution des synchronisations chez l'expert en fonction de la vitesse de nage (figure 2).

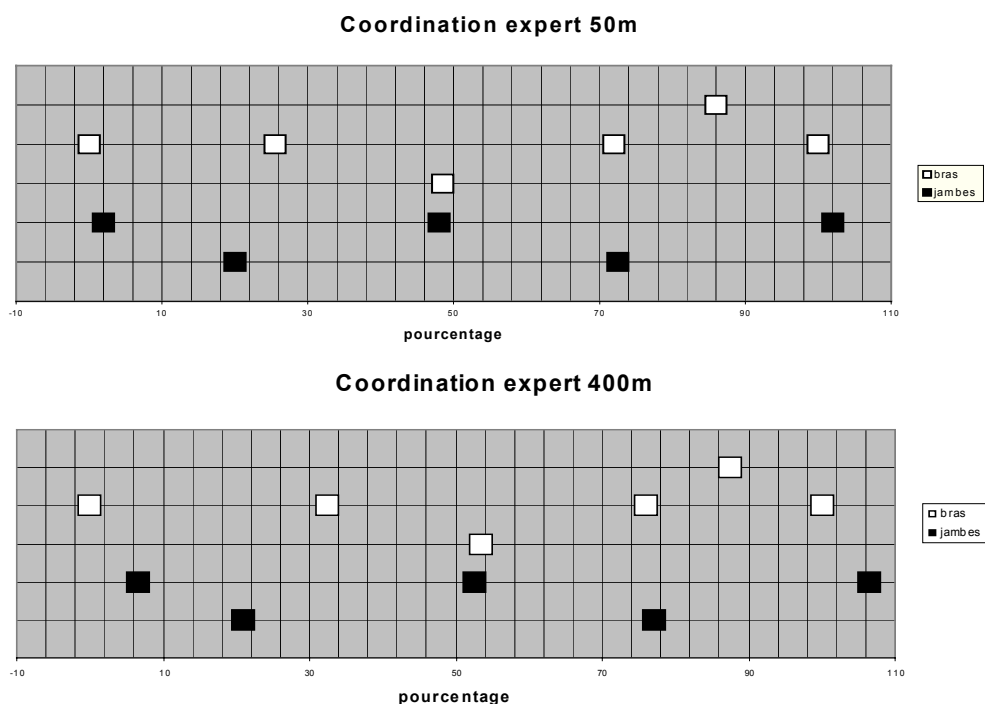


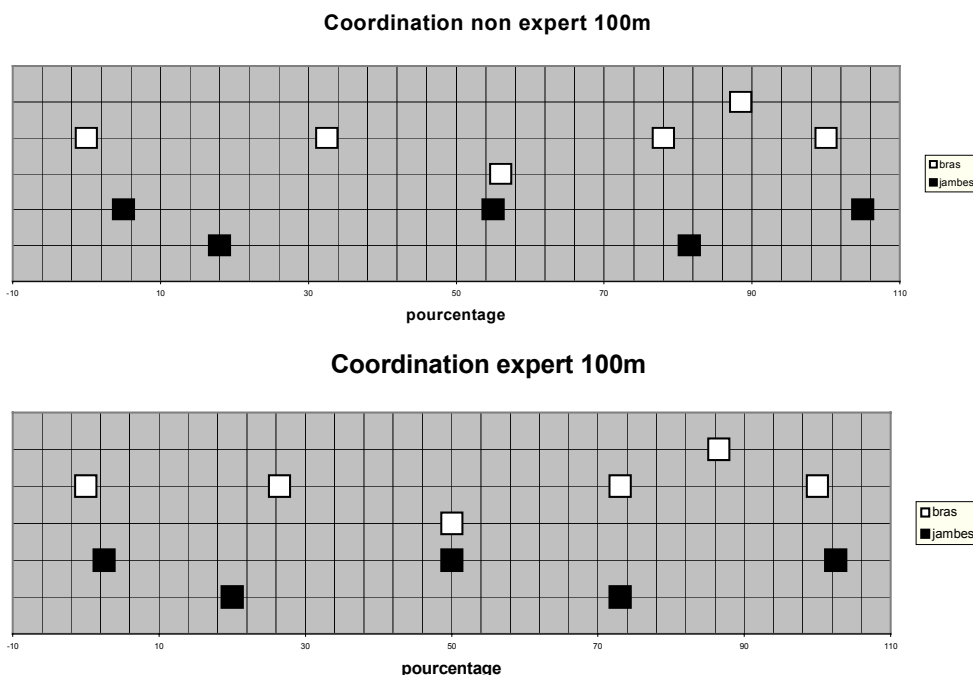
Figure 2 : Représentation des points clés (bras et jambes) de l'expert en papillon en fonction de la vitesse (allures du 400 et du 50m)

Chez l'expert, l'augmentation de la vitesse (exemple ici de l'allure du 50m comparée à celle du 400m) fait apparaître des modifications des phases de nage. Par exemple, pour les bras, la durée de la phase de prise d'appui diminue, ou pour les jambes, la durée de la phase descendante de la première ondulation augmente. Mais les modifications les plus marquantes concernent les relations entre les points clés des mouvements de bras et de jambes. Il apparaît clairement (figure 2) que ces points ont nettement tendance à se rapprocher. Par exemple, le point mort haut préalable à la première ondulation de jambes se rapproche du point d'entrée

des mains dans l'eau au fur et à mesure de l'augmentation de vitesse. Il en est de même pour le point mort bas de l'ondulation par rapport au début de traction des bras.

**Evolution des synchronisations en fonction du niveau d'expertise (figure 3).**

Lorsqu'on compare les relations bras jambes du nageur non expert à celles de l'expert à une même vitesse ici le 100m, il apparaît également des différences remarquables. En effet, sur l'ensemble des relations points clés bras et points clés jambes, l'expert présente moins de décalage temporel que le non expert. Par exemple le point mort bas de l'ondulation des jambes du non expert est plus éloignée du moment de sortie des mains de l'eau que chez



l'expert.

Figure 3 : représentation des points clés (bras et jambes) en papillon à l'allure du 100m comparaison entre l'expert et le non-expert

**Discussion**

On sait que le nageur non expert en papillon accorde plus d'importance à la phase de retour de bras qu'à ses phases propulsives. Son action de jambes s'oriente plus vers un battement simultané (limité aux genoux) qu'à une véritable ondulation. La phase descendante des jambes qui devrait être associée à la fin de poussée de bras est escamotée. Un temps d'arrêt moteur des bras se réalise dès le retour en phase de rattrapé avant. Certains apprentis papillonneurs qui veulent respecter la consigne de placer 2 ondulations par cycle de bras, le font d'ailleurs pendant ce temps d'arrêt par impossibilité de véritablement synchroniser les actions de bras et de jambes ce qui n'est pas le cas de notre population quand même de niveau régional.

### **Lecture de l'approche dynamique**

D'une manière générale ces résultats suggèrent donc qu'avec l'accroissement de la vitesse et l'élévation du niveau d'expertise, les coordinations évoluent dans le sens d'une coordination plus précise des événements principaux des cycles respectifs des membres supérieurs et inférieurs. En termes dynamiques, on peut dire que l'on assiste à un renforcement du couplage entre deux oscillateurs. Deux oscillateurs sont couplés lorsque les oscillations de l'un exercent une influence sur celles de l'autre. Ce couplage se caractérise par l'adoption de rapports de fréquence rationnels (par exemple 1 :2, c'est à dire que l'un des oscillateurs va exactement deux fois plus vite que le second, ou encore plus simple 1 :1). Lorsque la force de couplage augmente, le système tend à adopter des rapports de fréquence les plus simples (et en définitive le rapport 1 :1), et également à synchroniser les points de revirements des deux oscillateurs. Swinnen *et al.* (1997) se sont intéressés à l'apprentissage d'une coordination des deux avant-bras, caractérisée par un rapport de fréquence 2 :1. Lorsque l'avant-bras droit réalise un mouvement de droite à gauche, l'avant-bras gauche réalise un aller-retour complet. Cette coordination est assez délicate à réaliser, et le plus souvent les sujets débutants produisent malgré tous leurs efforts un mouvement symétrique des deux avant-bras. La difficulté est d'autant plus grande que la coordination doit être réalisée rapidement : d'une manière générale, on montre que plus la fréquence d'oscillation est élevée, plus le couplage entre les oscillateurs en présence est important (Haken, Kelso & Bunz, 1985).

Ce principe, qui semble avoir un assez grand degré de généralité pour les coordinations pluri-segmentaires, paraît pouvoir expliquer les données présentées précédemment. L'accroissement de la vitesse de nage détermine une augmentation de la fréquence gestuelle, qui doit déboucher sur une synchronisation plus précise des points de revirement des oscillateurs. Il nous semble que ce principe peut également expliquer les effets obtenus pour l'expertise. En effet l'expert produit une vitesse de déplacement plus importante, résultant en partie d'une fréquence gestuelle plus grande. Dans ce sens, expertise et vitesse de nage ne constitueraient pas deux facteurs indépendants dans le présent protocole.

### **Influence de la vitesse et du degré d'expertise sur les synchronisations en crawl.**

La logique générale de l'efficacité de la performance en crawl est d'alterner les actions propulsives des deux bras dans le but d'éviter les temps morts moteurs. Pourtant trois sortes de coordinations en crawl peuvent être distinguées chez les nageurs (Chollet, 1997 ; Costill, Maglischo et Richardson, 1992 ; Pelayo et al., 1999).

La plus logique est la coordination en "opposition" où les actions propulsives des deux bras se réalisent sous forme de relais. Au moment où un bras a terminé sa poussée, l'autre bras en opposition démarre sa traction.

La coordination la plus discontinue, celle en rattrapé correspond à un temps mort d'un bras (le plus souvent en phase d'appui avant) pendant la phase propulsive de l'autre bras. Dans cette coordination, les temps morts sont tout à fait préjudiciables à la continuité motrice dont on sait qu'elle contribue de manière essentielle à la performance. Par contre il existe des avantages de ce type de coordination liés à l'allongement général du corps et à l'augmentation des temps de glisse économiquement intéressants.

La troisième coordination en "chevauchement" présente une simultanéité de la fin de la poussée d'un bras avec le début de traction de l'autre. Il y a donc superposition (chevauchement) partielle des actions propulsives des deux bras.

L'étude qui suit analyse l'évolution des synchronisations des mouvements de bras, en fonction de la vitesse de course et du niveau de performance. Cette étude a fait l'objet d'une publication (Chollet, Chaliès et Chatard, 1999).

### **Méthode**

Quarante trois nageurs français (29 garçons et 14 filles), de niveau National I, II ou III, ont participé à l'étude. Ils ont été divisés en trois groupes selon leur niveau de performance sur 800 m, 100 m et 50 m. Le premier groupe (G1) a été composé des 14 nageurs les plus performants (10 garçons et 4 filles). Le troisième groupe (G3) a été composé des 14 nageurs les moins performants (9 garçons et 5 filles). Enfin, le deuxième groupe (G2) a été composé des 15 nageurs intermédiaires (10 garçons et 5 filles).

Chaque nageur a effectué, 3 épreuves randomisées en crawl à des vitesses de course différentes : vitesse du 800 m (V800), du 100 m (V100) et du 50 m (V50).

Les phases du cycle de bras et les modes de coordinations des bras et des jambes ont été analysés en vue sous-marine à l'aide de 2 caméras vidéo de face et de profil.

La coordination des bras a été quantifiée à l'aide d'un indice de coordination (IdC). Le mode de calcul de cet indice est présenté dans la figure 4.

Cet indice a été assimilé à un curseur évoluant sur une échelle numérique illustrant les trois grandes modalités de coordination entre les deux bras définies dans l'introduction.

- IdC est nul lorsque la coordination est dite en opposition. Ce mode de coordination est caractérisé par une propulsion ininterrompue entre les deux bras. La durée des phases propulsives est égale à la durée des phases non propulsives.

- IdC est positif lorsque la coordination est dite en superposition d'action propulsive des bras. Elle est caractérisée par une certaine superposition des phases propulsives entre les deux bras.

- IdC est négatif lorsque la coordination est dite en rattrapé. Ce mode de coordination est caractérisée par la survenue de temps morts non propulsifs au sein des cycles de bras.

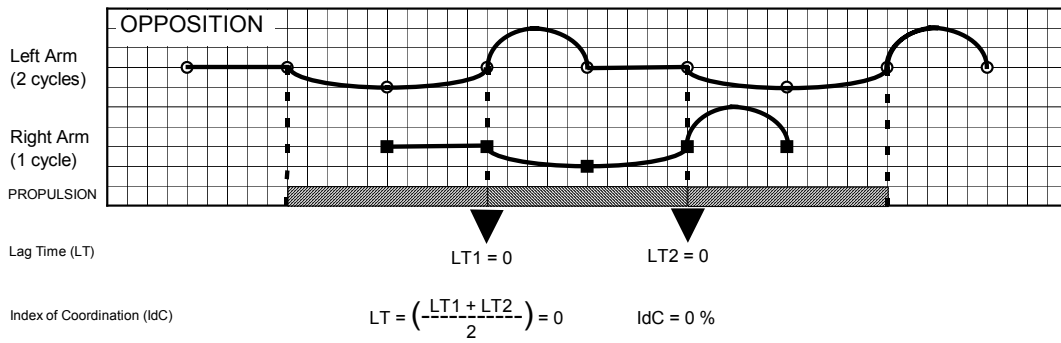
Les comparaisons de moyennes ont été effectuées à l'aide d'une analyse ANOVA à 2 facteurs (type de course et niveau de performance), comportant chacun 3 modalités, complétée par le test post hoc de Fisher. L'ensemble de ces analyses statistiques a été effectué à l'aide du logiciel SYSTAT, le seuil de signification de 0.05 a été retenu.

### **Résultats (figure 6)**

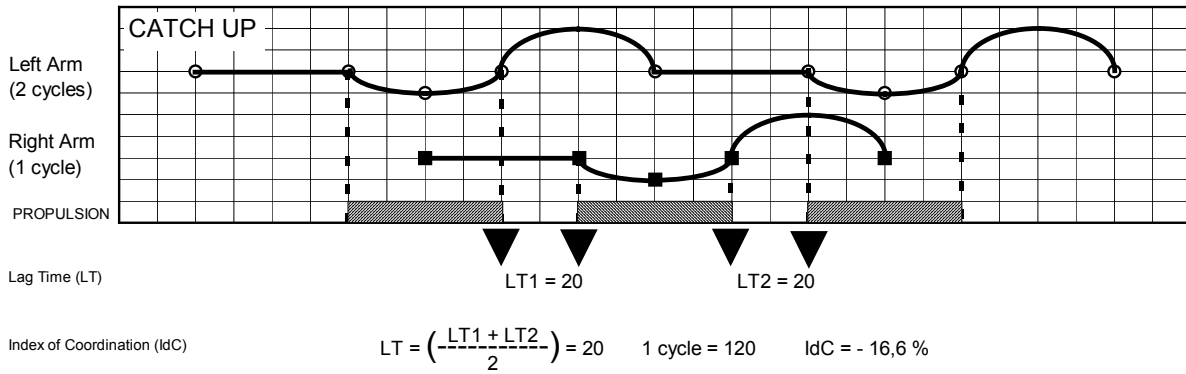
La durée relative de la phase non propulsive sous marine A (entrée et prise d'appui) a diminuée significativement ( $p < 0.05$ ) avec le type de course et le niveau de performance. En revanche, la durée des phases propulsives B et C (traction et poussée) a significativement augmenté ( $p < 0.05$ ). La durée de la phase non propulsive de retour aérien D n'a été influencée par le type de course qu'entre V800 et V100. Il n'y a pas eu d'effet groupe.

En moyenne, l'indice de coordination (IdC) a été de  $-3.9 \pm 6.3$  % pour l'ensemble du groupe des nageurs étudiés.

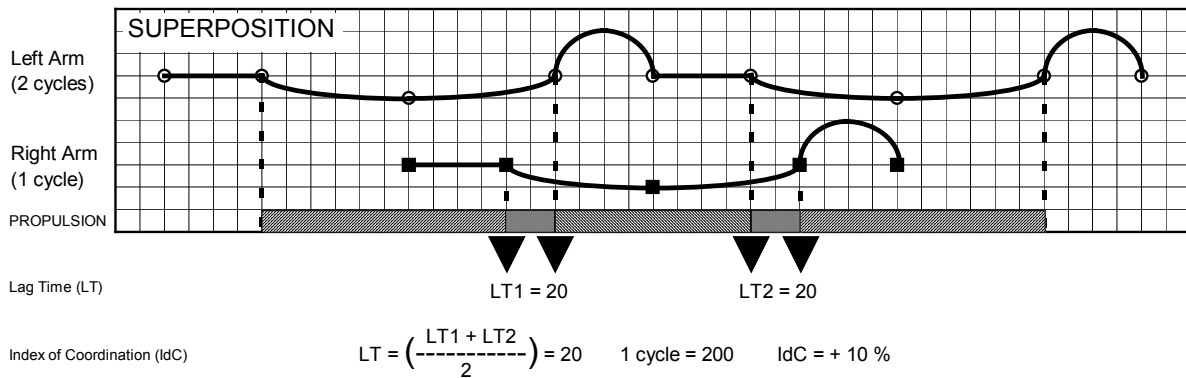
**a** : OPPOSITION : Un bras commence à tracter quand l'autre finit sa phase de poussée



**b** : RATTRAPE : Un temps mort s'installe entre les phases propulsives des deux bras



**C** : SUPERPOSITION : il existe un chevauchement des phases propulsives des deux bras



- A : Phase sous-marine non propulsive : PRISE D'APPUI
- B : Phase sous-marine propulsive : TRACTION
- C : Phase sous-marine propulsive : POUSSEE
- D : Phase aérienne non propulsive : RETOUR

Figure 4 : représentation des trois modèles de synchronisation et du mode de calcul de "l'index de coordination" chargé de quantifier celle-ci.

IdC a augmenté avec l'allure, le niveau de performance, la fréquence de bras et diminué avec la distance par cycle. IdC a été inversement proportionnel à la durée de la phase A du cycle de bras et proportionnel à la durée des phases B et C. IdC a donc augmenté parallèlement à la durée des phases propulsives au dépend de la phase sous marine non propulsive (entrée et prise d'appui). La liaison avec la phase D n'a été significative que 2 fois sur 6 situations étudiées.

La figure 6 montre que la vitesse (allures 800, 100, max), est un facteur essentiel d'augmentation d'IdC, quel que soit le groupe. Mais le niveau d'expertise (nationale 1, 2 ou 3) affecte également la valeur de IdC dans le sens où les nageurs experts disposent d'une gamme de coordination beaucoup plus ouverte que les moins experts.

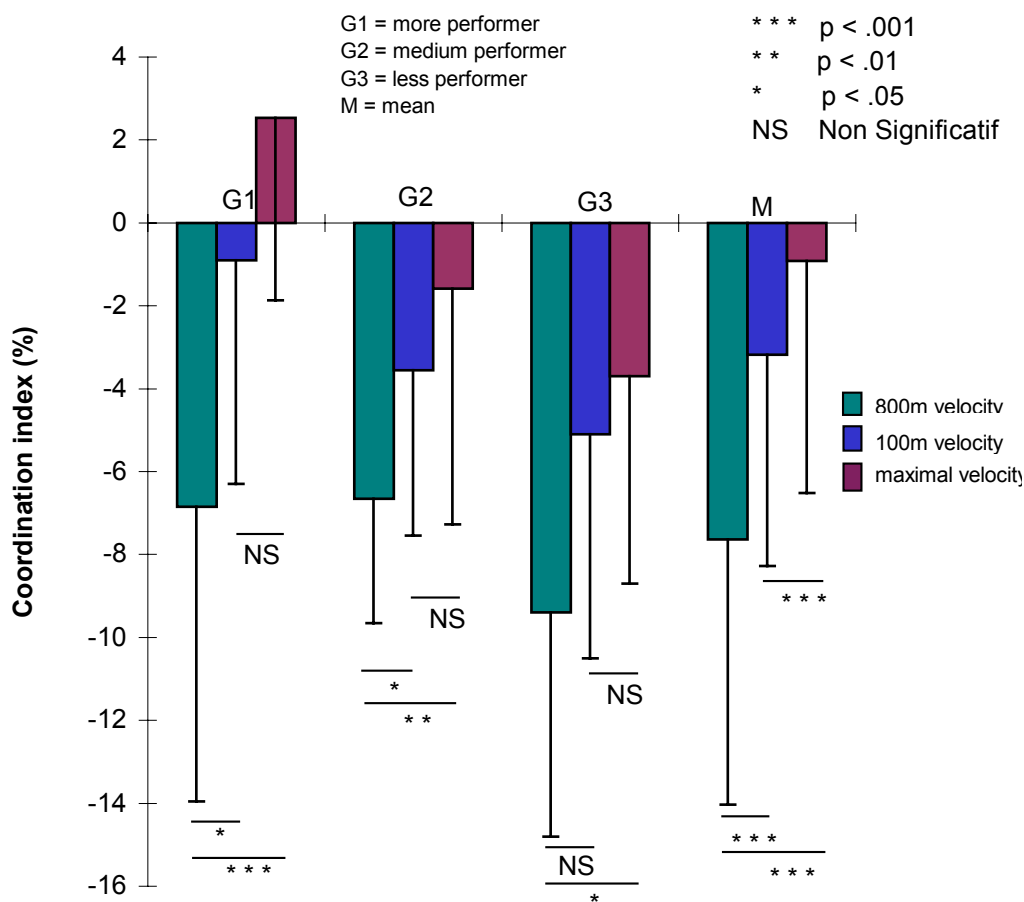


Figure 6 : indice de coordination en fonction de la vitesse (allures de 800, 100 et max), et du niveau d'expertise (nationale 1, 2 et 3).

## Discussion

L'IdC augmente avec la vitesse de course. Pour V800, vitesse de demi-fond, la coordination est donc de type "rattrapé avant". En revanche en sprint, elle est en "opposition" de bras. En sprint les nageurs réduisent donc la phase non propulsive d'entrée et de prise d'appui et augmentent relativement les phases propulsives de traction et de poussée. Cela est en accord avec les observations de Keskinen et Komi (1988). Ces auteurs ont en effet montré chez 10 nageurs de haut niveau que la durée de la phase d'appui diminue avec la vitesse entre  $1.1\text{m.s}^{-1}$  et  $1.8\text{m.s}^{-1}$  alors que dans le même temps la durée des phases de traction et de poussée augmente. Ces observations ont été également confirmées par Scheilhauf *et al.* (1986). Ces adaptations permettent au nageur de bénéficier d'un temps d'application des forces propulsives plus long et donc d'une meilleure puissance (Chatard *et al.* 1990 ; Rouard, Scheilhauf et Troup, 1996).

L'augmentation de la durée relative des deux phases propulsives concernent surtout la phase de traction qui augmente plus que la phase de poussée. Cependant, les modifications de la phase de poussée sont compensées par l'accélération de la main. En effet, d'après Counsilman (1981) cette accélération, permettant l'atteinte de la vitesse maximale de déplacement de la main a environ 80% de la fin de son trajet soit au cœur de la phase de poussée, engendre une meilleure action propulsive.

L'évolution de la coordination des mouvements de bras avec le type de course est renforcée par le niveau de performance. En effet, d'après Kolmogorov et Duplisheva (1992), plus les nageurs sont performants plus ils limitent la coordination en " rattrapé avant ", caractérisée par des temps morts non propulsifs, au profit d'une coordination en " opposition ", voire en " superposition " d'actions de bras. Cette dernière permet une meilleure économie de course en réduisant le coût énergétique (Chatard *et al.* 1990) et diminue les résistances à l'avancement (Kolmogorov et Duplisheva, 1992). Ainsi, par exemple l'intensité des résistances actives peut varier en crawl de 167 à 42 Newton en fonction de la technique de nage adoptée.

L'adaptation précédemment décrite est encore plus marquée au sein du groupe des nageurs les plus performants. Ils réduisent davantage la phase non propulsive d'entrée et de prise d'appui et allongent les phases propulsives de traction et de poussée. Contrairement à la moyenne de la population étudiée, ces nageurs diminuent le temps de retour aérien lorsque la vitesse de course augmente. Le niveau de pratique est donc caractérisé par la capacité à s'adapter techniquement aux contraintes, notamment biomécaniques, de l'épreuve. Ces observations rentrent en accord avec les données de Kolmogorov *et al.* (1997). Ces auteurs ont en effet montré, sur une population diversifiée de près de 800 sujets, que plus les nageurs sont experts plus ils sont capables de réduire les résistances actives grâce à des adaptations de la technique de nage et plus précisément de la coordination des mouvements de bras.

Plus les nageurs ont un niveau de pratique élevé plus la durée des phases propulsives de traction et de poussée augmente. Lorsque cette augmentation est exprimée en pourcentage, les nageurs de G1 ont un gain de près de 40% contre seulement 24.5% pour les nageurs de G3. De plus seul le groupe G1 parvient à diminuer la durée relative de la phase de retour aérien (-2.1% contre +10.5% pour G3). Le haut niveau de pratique est donc caractérisé par une plus grande capacité à modifier les différentes phases du cycle de bras.

Avec l'augmentation de la vitesse et du niveau de pratique, les nageurs modifient la coordination des mouvements de bras. Ils passent d'une coordination en " rattrapé-avant " en demi-fond à une coordination en " opposition " voire en " superposition " en sprint. Cette évolution traduit des modifications d'organisation des phases du cycle de bras. Les phases propulsives augmentent au dépend des autres phases non propulsives. L'indice de coordination permet de quantifier avec précision le mode de coordination des bras, et le niveau de pratique du nageur.

### Lecture de l'approche dynamique

Une modélisation dynamique assez simple peut être invoquée pour rendre compte de l'évolution des modes de coordination présentée dans cette expérimentation. Supposons un oscillateur, susceptible d'entrer en rotation autour d'un axe (figure 6). Pour simplifier, cet oscillateur a un déplacement angulaire linéaire, soit

$$\beta = a.t$$

a représentant la vitesse angulaire. On suppose maintenant que cette rotation ne se déroule pas dans un milieu homogène. Dans la partie grisée du graphique, le milieu offre une résistance différente, résultant en un mouvement angulaire de vitesse différente. Dans ce secteur, on a

$$\beta = b.t$$

Si b est inférieur à a, l'oscillateur présentera donc un déplacement rapide dans le secteur supérieur, et plus lent dans le secteur inférieur. On considère maintenant deux oscillateurs fonctionnant en parallèle, démarrants en opposition, l'un à 0°, l'autre à 180°. Si b=a, le mouvement des deux oscillateurs restera en opposition stricte. Cela correspond à la coordination en opposition dans la nomenclature adoptée plus haut. Par contre si le milieu grisé devient plus résistant, alors b devient inférieur à a. Dans ce cas les oscillateurs vont balayer plus rapidement le secteur supérieur, et l'opposition sera rompue : la coordination sera caractérisée par des phases durant lesquelles les deux oscillateurs balayeront simultanément le secteur inférieur, sans pour autant jamais se rattraper. C'est la caractéristique de la coordination en superposition décrite précédemment (figure 7).

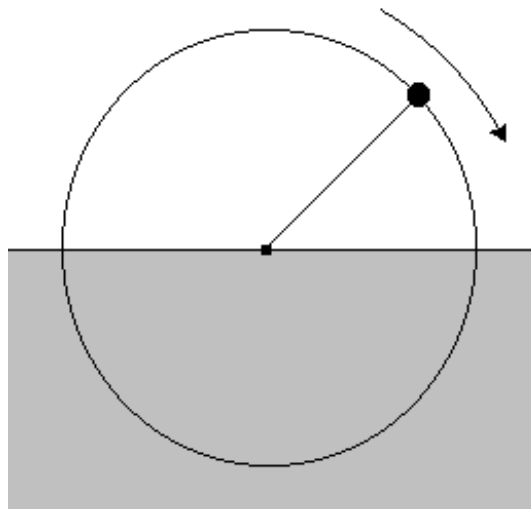


Figure 6 : Un pendule simple oscillant dans deux milieux de densité différente

Lorsque l'on accroît la vitesse de nage, on peut supposer comme il a été dit dans la discussion de la première expérimentation que la fréquence gestuelle augmente. Or il est connu que la résistance à l'avancement opposée par un fluide dépend de la vitesse du mobile en déplacement. On peut négliger cet accroissement en ce qui concerne le milieu aérien, qui n'offre pas de densité suffisante. Par contre, le milieu aquatique va présenter des variations de résistance non négligeable. Si l'on analyse le problème de la nage au travers du modèle présenté, on peut dire que lorsque la vitesse de nage augmente, le rapport entre a et b varie, c'est-à-dire que b devient de plus en plus petit par rapport à a. Dans ce cas, le modèle prévoit

en effet une tendance à l'installation d'une coordination en superposition entre les deux oscillateurs.

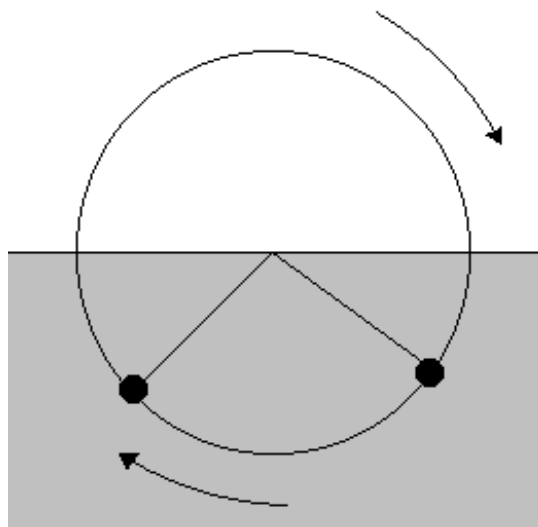


Figure 7 : Le double pendule

Notre modèle peut également prévoir l'apparition d'une coordination en rattrapé, à condition que  $b$  devienne supérieur à  $a$ , c'est-à-dire que l'air présente une résistance à l'avancement supérieure à celle de l'eau. Cette hypothèse peut évidemment difficilement rendre compte de la réalité empirique. On peut résoudre le problème en postulant une tendance à rechercher l'allongement à la prise d'appui dans l'eau. Au niveau du modèle, cela revient à introduire une pause systématique, pour les deux oscillateurs, au passage à 0 degré (c'est-à-dire à l'entrée dans le milieu grisé). Il suffit pour cela de poser que dans un secteur angulaire limité autour de 0 degrés, on a

$$\beta = c.t$$

$c$  étant petit et déterminant la durée de la pause dans le mouvement de l'oscillateur. On peut noter que cette pause disparaît lorsque  $c$  atteint des valeurs similaires à  $a$  et  $b$ . Dans ce cas, pour peu que  $b$  ne soit pas trop différent de  $a$  (vitesse de déplacement faible), et que  $c$  soit suffisamment faible, le modèle produit en effet une coordination de type rattrapé, représentant assez bien les observations réalisées en natation. La présence de ce paramètre  $c$  expliquerait que la superposition apparaisse si rarement, c'est-à-dire uniquement chez les experts à grande vitesse. La coordination produite dépend de l'équilibre entre les trois paramètres  $a$ ,  $b$ , et  $c$ . Le rapport  $a/b$  (déterminant l'apparition de la coordination en superposition) doit être suffisamment important pour contrecarrer l'influence du paramètre  $c$  (qui induit la coordination en rattrapé).

On peut noter ici que ce modèle est extrêmement simple, réduisant le contrôle du système à deux paramètres. Dans ce cas, comme précédemment, la vitesse de déplacement joue un rôle essentiel, déterminant l'évolution de  $a/b$ . L'effet de l'expertise ne serait lié qu'à un accroissement corrélatif de la vitesse

Ce modèle est évidemment beaucoup trop simpliste pour rendre compte de la complexité des coordinations en natation. Il illustre cependant de manière intéressante un principe de base de l'approche dynamique de la coordination motrice : les hypothèses renvoyant le contrôle des coordinations complexes à un contrôle cognitif de haut niveau (stratégies, optimisation délibérées, etc...) sont le plus souvent superflues, et il est possible de

modéliser la dynamique des coordinations par des modèles simples, produisant sous l'influence d'un ensemble réduit de paramètres les caractéristiques principales du comportement du système. Les coordinations apparaissent clairement comme des phénomènes émergeant du jeu des contraintes qui pèsent sur le système.

## Références

- BOULESTEIX L. & CHOLLET D. (1999). Etude comparative des synchronisations bras/jambes de nageurs experts et non experts en papillon. Communication aux 2<sup>o</sup> Journées Spécialisées de Natation, Liévin.
- CHATARD J.C., COLLOMP C., MAGLISCHO E. & MAGLISCHO C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int J Sport Med*, **11**, 156-161.
- CHOLLET D. (1997). Natation sportive : approche scientifique. Paris. Vigot.
- CHOLLET D., CHALIES S. & CHATARD J.C. : (1999). A new index of coordination for the crawl : description and usefulness. *Int J Sport Med*, **20**, 1-6.
- COSTILL D.L., MAGLISCHO E.W. & RICHARDSON A.B. (1992). Swimming. Oxford. Blackwell Scientific Publications.
- COUNSILMAN J.E. (1981). Hand speed and acceleration. *Swimming Technique*, **18**, 22-26.
- DELIGNIERES D. (1998). Apprentissage moteur: Quelques idées neuves. *Revue E.P.S.*, **271**, 61-66.
- HAKEN H., KELSO J.A.S. & BUNZ H. (1985). A theoretical model of phase transition in human hand movement. *Biological Cybernetics*, **51**, 347-356.
- KESKINEN K.L. & KOMI P.V. (1993). Stroking characteristics of front crawl swimming during exercise. *J Appl Biomech*, **9**, 219-226.
- KOLMOGOROV S.V. & DUPLISHEVA A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J Biomech*, **25**, 311-318.
- KOLMOGOROV S.V., RUMYANTSEVA O.A., GORDON B.J., & CAPPAERT J.M. (1997). Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels. *J Appl Biomech*, **13** : 88-97.
- PELAYO P., MAILLARD D., ROZIER D. & CHOLLET D. (1999). Natation au collège et au lycée. Paris. Editions revue EPS.
- ROUARD A.H., SCHLEIHAUF R.E. & TROUP J.P. (1996). Hand forces and phases in freestyle stroke, in J.P. Troup, A.P. Hollander D., Strass S.W., Trappe J.M., Cappaert & T.A. Trappe (Eds.). *Swimming Science VII*. London. E.&F.N.Spon.
- SCHLEIHAUF R.E., HIGGINS J., HINRICKS R., LUEDTKE D., MAGLISCHO C.W., MAGLISCHO E.W. & THAYER A. (1986). Models of aquatic skill sprint front crawlstroke. *The NZJ Sports Med*, **14**, 7-12.
- SWINNEN S.P., DOUNSKAIA N., WALTER C.B. & SERRIEN D.J. (1997). Preferred and induced coordinations modes during the acquisition of bimanual movement with a 2:1 frequency ratio. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **23**, 1087-1110.