

Analyse biomécanique du geste de Course en Ligne par la digitalisation vidéo

Frédéric DUCLOS – Adrien PAULAIS

Le dispositif qui vous est présenté a été mis en œuvre par le service recherche et suivi technologique des Pôles du CREPS de Dijon Bourgogne, coordonné par Frédéric DUCLOS, professeur de sport. Durant un an, il a permis à l'entraîneur du Pôle Espoir, Adrien PAULAIS, d'utiliser cet outil afin de porter un nouveau regard sur l'analyse biomécanique du geste de Course en Ligne. Les auteurs ont choisi de présenter dans un premier temps le dispositif puis d'en montrer l'utilisation concrète par un entraîneur.

Présentation du dispositif

Frédéric DUCLOS

La biomécanique fait partie des facteurs fondamentaux de la performance¹. Toutefois, son évaluation se fait encore aujourd'hui en grande partie dans un laboratoire, dans le cadre de recherches universitaires tentant de s'appliquer au terrain. Il est vrai que la mesure de l'efficacité du geste demande beaucoup de moyens, tant matériels qu'humains. Un système comportant plusieurs caméras, si possible enregistrant un grand nombre d'images par seconde, des ordinateurs performants, des capteurs photosensibles, des ingénieurs ... est un système habituel dans tous les laboratoires de biomécanique. L'évaluation physiologique demande elle aussi beaucoup de moyens. Cependant, contrairement à la biomécanique, cette discipline a su élaborer des tests de terrain spécifiques afin de simplifier cette lourdeur. Certes, les résultats ne sont pas aussi précis, mais ils donnent une estimation assez juste du niveau de l'athlète. Néanmoins, il me semble que le défaut principal de l'utilisation de tous ces tests réside dans la connaissance exclusive du résultat. En effet, le résultat seul est improductif sans une élaboration constructive et multiple d'hypothèses de travail.

La définition de l'évaluation pragmatique envisage ainsi différemment les choses. Il s'agit bien sûr de l'évoquer notamment sous son aspect pratique, du point de vue des faits. Mais cette évaluation est également particulièrement soucieuse de la réussite de l'action *via* une action perspective donnant suite aux simples résultats des tests. Elle reste néanmoins complémentaire au travail produit par la recherche appliquée.

Actuellement, les outils permettant cette évaluation de terrain sont peu nombreux. Hormis le simple fait de regarder la vidéo sur un écran ou sur l'ordinateur, peu de logiciels s'intéressent à cette étude. Certes, la vidéo offre des utilisations très diverses. Elle permet de revoir une action, de la détailler *via* le ralenti, de la comparer à une autre action. Elle sert aussi de support pédagogique puisqu'elle permet à l'apprenant ou à l'athlète de se voir. Il peut donc vérifier si ce qu'il fait correspond à ce qu'il pense faire. Elle peut simplement provoquer une motivation avec des séquences moins techniques et davantage bâties dans une optique d'esthétisme. Elle peut également être utilisée en complément d'informations à une autre évaluation comme l'évolution des pressions plantaires en ski nordique par exemple. En effet, coupler ces images à l'évolution des courbes de pression permet certainement de faciliter la compréhension des actions traduites par ces courbes.

Mais l'athlète de Haut Niveau sollicite des exigences accrues et précises, et vouloir améliorer une technique gestuelle par la seule observation vidéo s'avère insuffisant. Or, même si la recherche fondamentale est nécessaire dans un but de découverte et d'innovation, le temps de

¹ CAZORLA G. (1995)- Evaluation en natation – 1^{ères} journées spécialisées de natation Ronchin, Université Lille II 1995, pp 150-189

l'athlète est précieux. Le sortir fréquemment de son contexte provoquera un bouleversement dans sa planification et ce type d'évaluations répétées ne peut se concevoir. L'évaluation pragmatique va donc être complémentaire et ainsi résoudre cet inconvénient.

Cependant, la simplicité d'une évaluation pragmatique implique des résultats moins précis. Cette simplicité découle d'une évaluation *in situ*, donc dans les conditions réelles du mouvement. Et même si une étude plus précise, dotée de matériels plus sophistiqués, aboutit à des résultats plus rigoureux, l'athlète devra être évalué dans des conditions différentes, faisant perdre à ces résultats leur réelle valeur.

Se pose alors un dilemme de taille : doit-on préférer une évaluation très précise mais avec un athlète sorti de son contexte ou alors évaluer une gestuelle réalisée dans son environnement mais avec des résultats un peu moins précis ? Aujourd'hui, l'évaluation en laboratoire est extrêmement performante et est relativement bien présente sur tout notre territoire. Mais cette pratique demeure restreinte, et le niveau d'expertise des athlètes de club, aussi prestigieux soient-ils, nécessite-t-il réellement et constamment une précision optimale des mesures ? Dès lors que la courbe de résultats permet de fournir des interprétations et des hypothèses quasiment similaires aux travaux établis en laboratoire, il me semble que cela peut aider considérablement les entraîneurs.

Ainsi, l'utilisation de la biomécanique est indiscutable pour le haut niveau. Cependant, avec ce procédé vidéo unique, il est impossible de mesurer quoi que ce soit précisément. Cela peut paraître anodin mais une mesure complétera grandement l'observation. Elle permet de confirmer et de quantifier la progression, les forces exercées, les vitesses et accélérations réalisées, les positions de chaque segment à chaque instant en mettant en évidence une coordination segmentaire. Elle met également en évidence l'attitude de l'athlète face à des forces qui peuvent déclencher des réflexes de survie en cas de déséquilibre. Ces réflexes de survie peuvent ainsi avoir des actions parasites sur les pré-actions du mouvement comme le démontre notamment Paillard² dans ses traités sur l'organisation posturale. Ainsi, un joueur de rugby n'arrive pas à lancer efficacement son ballon lorsqu'il est plaqué. La peur inconsciente de tomber peut en effet limiter sa gestuelle : il cherche à se protéger de sa chute avec l'aide de ses bras plutôt que d'amplifier son geste pour envoyer plus loin.

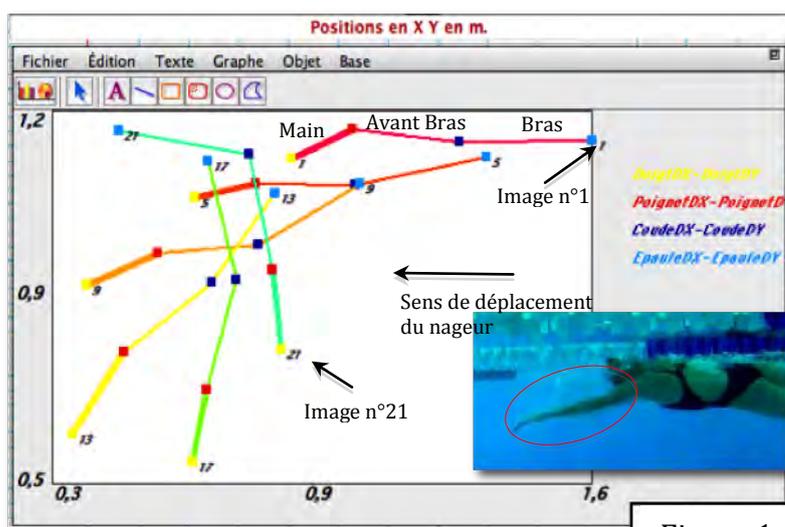


Figure 1

Cette absence de mesures m'a amené à adapter les travaux de Shlehauff³ sur la digitalisation, c'est-à-dire, une étude image par image d'une séquence vidéo en créant un logiciel spécifique. Par ce biais, il est aisé de connaître les positions des différentes articulations au cours d'un mouvement. Il convient de choisir des points clés (articulations par exemple) qui soulignent

l'organisation gestuelle, et de cliquer dessus à chaque image. Chaque point peut être relié

2 Jacques Paillard (1985) : Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action In M. Laurent & P. Therme (eds). Recherches en Activités Physiques et Sportives

3 R.E. Schleihauf (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: Swimming III, (Ed. By J. Terauds & E. W. Bedingfield), pp. 70-109. University Park Press, Baltimore.

afin de donner ce que l'on appelle un membre en « fil de fer ». La figure 1 montre le bras d'un nageur à différents moments du mouvement. L'évolution dans le temps est représentée par un changement de couleur du fil de fer, du rouge vers le vert. Dans cet exemple, la main est en gras et montre le mouvement sous marin du bras d'un nageur en crawl.

Ainsi, la digitalisation permet de repérer ce qui n'est pas forcément visible à l'œil nu, telles que la vitesse et l'accélération du mouvement ou les coordinations segmentaires. Les calculs sont basés sur les théorèmes mathématiques simples de Pythagore qui vont donner la distance de déplacement d'un point. Puisque 0,04 seconde sépare chaque image, je dispose d'une distance et d'un temps, donc d'une vitesse. De ce fait, par cet outil, l'entraîneur peut connaître avec précision les points forts et faibles et propose un entraînement personnalisé.

Mon travail s'est donc orienté sur l'étude et la création d'un outil simple et ne demandant que peu de matériel. Le principe est donc de filmer une séquence gestuelle ou une situation de match avec une caméra classique, à la disposition du grand public, sans gêner l'athlète ni l'entraîneur et dans son environnement. Ce système est donc bien éloigné des protocoles de laboratoire, mais il a l'avantage de suivre l'athlète dans sa situation exacte d'entraînement, de course ou de match, ceci sans artifice.

La séquence vidéo est ensuite enregistrée sur l'ordinateur, et le logiciel la transforme en une succession d'images. Le nombre d'images correspond à la fréquence détectée de la séquence. Ainsi, les caméscopes classiques sont de 25 images par seconde. Dans ce cas, une séquence vidéo de 1 seconde sera découpée en 25 images. L'entraîneur ou une tierce personne clique alors sur les articulations qu'il veut mettre en évidence, image par image. Les coordonnées de chaque clic sont recalculées afin de les transformer de pixel en mètre. Pour cela, une image de référence sert d'échelle. Il suffit de cliquer sur les extrémités d'un segment et de lui allouer sa longueur exacte en mètre. Cette manipulation peut sembler lourde, mais ne prend en réalité qu'une dizaine de minutes pour l'étude d'une gestuelle cyclique.

Le logiciel calcule alors les vitesses des articulations choisies et met donc en évidence les accélérations, les positions segmentaires dans le temps. Il donne également un kinogramme des segments, et pour les sports aquatiques, il indique la qualité de l'appui, c'est-à-dire qu'il calcule l'instant où la prise d'appui devient solide et efficace.

Concrètement, en Kayak, le travail effectué sur le Pôle Espoir de Dijon étudie les organisations de la pagaie, du coude, de l'épaule, du bassin, de la main supérieure et du bateau, durant la partie motrice d'un cycle. La séquence commence donc lorsque la pagaie est à l'horizontale avant d'entrer dans l'eau et se termine lorsqu'elle sort de l'eau. Pour cette prise de vue, la caméra est fixée à l'aide d'un pied sur la rive. Le Kayakiste passe à environ 12m de cette caméra. Puisque cette dernière est fixe, il faut gérer le zoom de telle sorte que nous soyons sûr de pouvoir observer le coup de pagaie du bras proche de la caméra et non celui caché de l'autre côté (Figure 2). Mais il ne faut pas qu'il soit trop éloigné afin de pouvoir repérer avec le plus de précision possible les points cités précédemment.

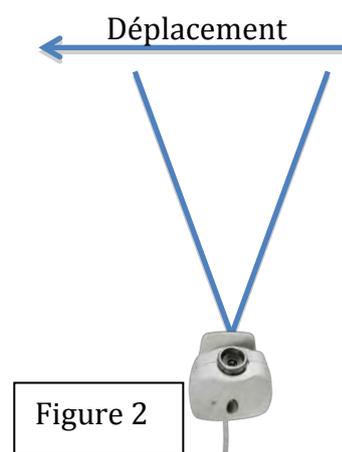


Figure 2

On risquerait cependant, compte-tenu de cette position fixe de la caméra, d'avoir un souci de parallaxe. En effet la caméra ne suivant pas l'athlète en travelling, les distances caméra-bateau diffèrent lorsque le bateau est sur les extrémités de la prise de vue ou au milieu. Cependant, le rapport entre la distance caméra-bateau (environ 12m) et extrémité droite-gauche de la prise de

vue (environ 4m) n'influence pas réellement les valeurs (12m au milieu et 12,64m sur les extrémités, soit 5% de différence).

Une fois la séquence acquise puis découpée en une suite d'image par l'ordinateur, il s'agit de définir une mire, c'est à dire une mise à l'échelle. Il suffit de cliquer sur les extrémités d'une distance connue (longueur d'un bras par exemple en position sagittale). L'ordinateur convertira alors le nombre de pixels en mètres.

Cette action préliminaire étant réalisée, il suffit alors de cliquer sur les points cités précédemment, ceci image par image (figure 3).



Cette saisie réalisée, le logiciel montre 4 graphes (Figure 4). Le 1^{er} en haut à gauche est un kinogramme représentant les points cliqués. Ce graphe permet également de ne pas relier les points entre eux pour une interprétation différente.

Le graphe en haut à droite représente les variations des vitesses des points cliqués. Pour une meilleure lecture, ces points sont divisés en deux groupes : les membres supérieurs et la pagaie, et pour le graphe en bas à droite, le bassin, le bateau et la pagaie. Sur l'axe des x est spécifié le numéro des images. Ainsi, 0,04 seconde sépare chaque image. L'accélération est également mise en évidence puisque plus la courbe monte vite, plus l'accélération est forte. Je n'ai pas voulu afficher les valeurs de cette accélération puisque ces dernières restent dépourvues de représentation pour la majorité des entraîneurs. En revanche, savoir si elle est importante ou non reste essentiel, particulièrement pour les sports aquatiques où la prise d'appui en dépend directement.

Le dernier graphe en bas à gauche représente le dérapage de la pagaie dans l'eau. Il s'agit ici de mettre en évidence sa position sur l'axe des x et de mesurer la distance parcourue à chaque image. Logiquement, lors de l'appui, sa variation de position d'une image à l'autre devrait être nulle. En revanche, au début de l'action motrice, la pagaie devrait « dérapier », c'est-à-dire qu'elle devrait reculer par rapport à l'image précédente. La distance de recul devrait diminuer jusqu'à l'appui.

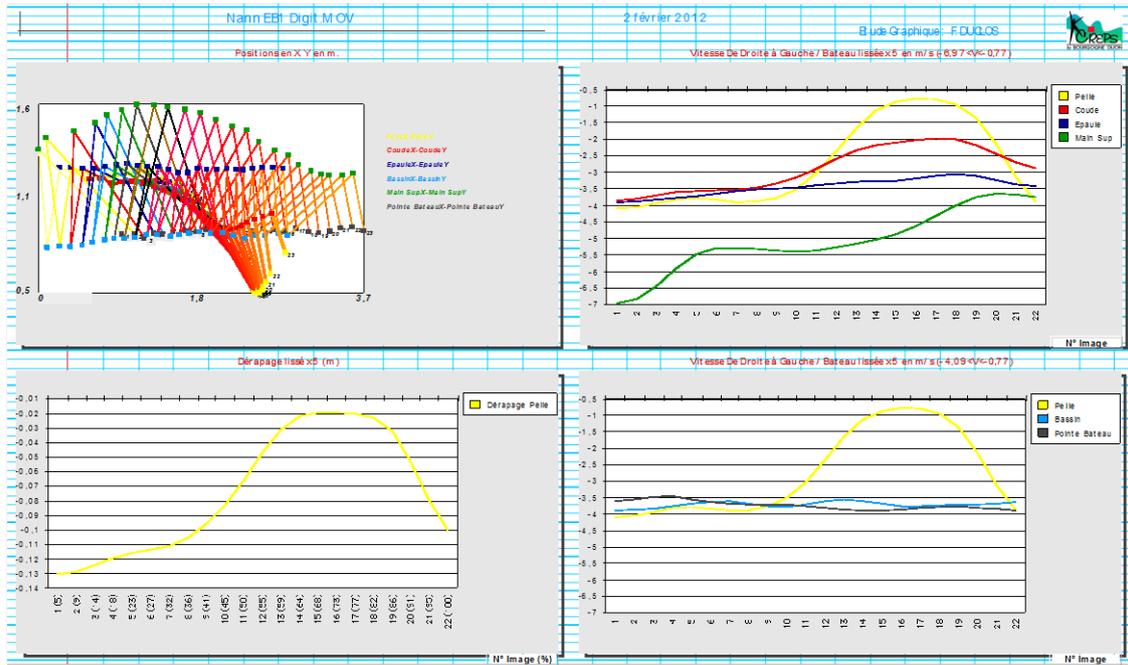


Figure 4

Je n’ai pas mis en évidence encore les variations des positions segmentaires car la quantité d’information devenait trop importante et risquait de compliquer la compréhension des graphes. C’est également la raison pour laquelle j’ai divisé les deux graphes de vitesse afin d’en faciliter la lecture.

L’interprétation des graphes se fait à la fois graphe par graphe mais aussi en interrelation. En effet, puisque l’axe des x est le même. Enfin, il est possible d’adjoindre des commentaires pouvant aider à la compréhension des graphes ou facilitant la mise en évidence d’un point technique particulier (Figure 5).

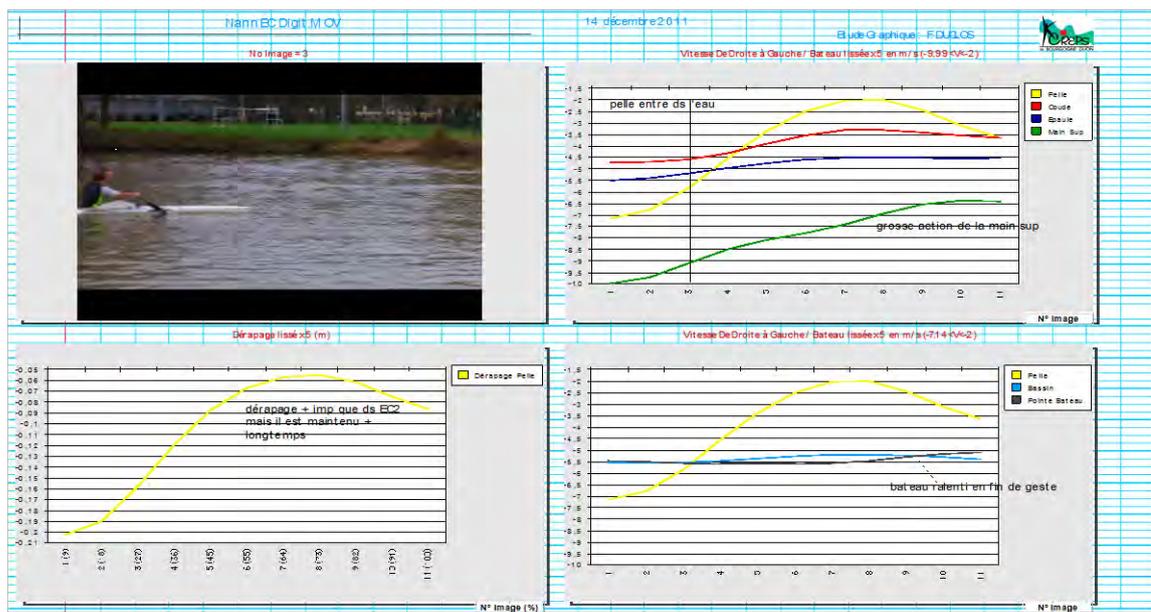


Figure 5

L'exploitation par l'entraîneur du pôle Espoirs

Adrien PAULAIS

Interpréter les graphiques

Une fois la digitalisation réalisée, l'entraîneur obtient des graphiques qui doivent être analysés dans un premier temps seul puis dans un second avec l'athlète. Il convient de faire attention à ces analyses, d'où l'importance d'un premier regard seul sur les graphiques. En effet certains points techniques travaillés avec l'athlète induisent des perturbations sur la coordination, les vitesses d'exécution, ... Lors de l'interprétation des courbes, il faudra donc s'attarder sur la bonne ou mauvaise mise en place du (des) points travaillés.

L'interprétation de ces courbes apporte une donnée importante sur la précision temporelle des actions pouvant perturber la traction, l'équilibre du bateau, ... En effet les courbes sont rassemblées sur un même graphique (pale, épaule, coude, hanche, bateau, ...) en parallèle de cela il est possible de faire défiler la vidéo qui a servi à dresser ces courbes image par image (axe des ordonnées sur le graphique). Dès lors il est plus facile d'identifier les causes ou les conséquences de certaines actions. Par exemple, on peut constater qu'un athlète aura le plateau de traction ou « point dur » en début d'oblique arrière, alors qu'il serait préférable de l'obtenir un peu avant (lorsque la pagaie est à 90° par rapport à l'eau).

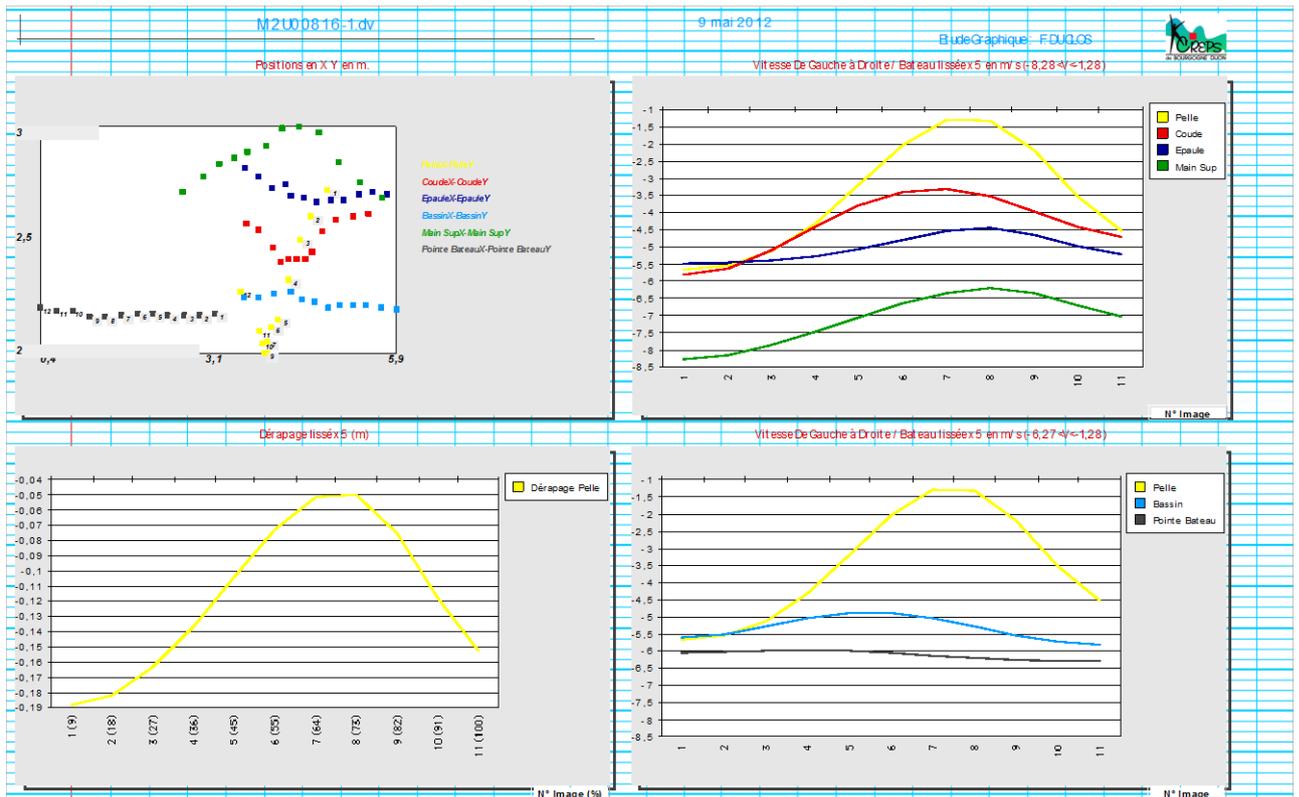
Il est également intéressant de faire cette analyse à droite et à gauche car pour certains athlètes le coup de pagaie diffère sans pour autant être moins efficace d'un côté que de l'autre. L'objectif étant d'en avoir connaissance.

Après plusieurs tests au sein du pôle espoir de Dijon sur des athlètes junior, on retrouve globalement les mêmes graphiques entre l'EB1, l'EB2 et l'EC avec tout de même quelques modifications dues à la vitesse du bateau.

Cependant, cette méthode présente tout de même une limite. L'interprétation ne peut se faire que sur un seul coup de pagaie. Il incombe alors à l'entraîneur de faire plusieurs prises vidéo afin de pouvoir les comparer et ainsi d'éviter d'interpréter le coup de pagaie sur lequel il y avait déséquilibre, mauvaise organisation,...

Comparaison entre un athlète du pôle espoir de Dijon et un élite

Nous nous intéresserons à la courbe précédente pour le junior en pôle espoir (courbe 1) et à la courbe ci après pour l'élite (courbe 2)



Sur la figure 5 on peut remarquer que les actions de l'épaule, du coude et de la pale sont simultanées. L'athlète déclenche sa traction en verrouillant ses articulations. Les trois points cités précédemment suivent donc le même schéma de déplacement. L'évolution de la courbe de la pale est très progressive. Le plateau de cette courbe est maintenu relativement longtemps, ce plateau s'apparente au « point dur ».

En comparant avec la courbe ci-dessus, l'organisation des courbes diffère. En effet la mise en action est dissociée. On observe tout d'abord une accélération de l'épaule puis du coude et enfin de la pale. L'action de la main supérieure suit celle de la pale. Par rapport à la vidéo du junior, on observe une accélération bien plus importante de la pelle dans l'eau qui résulte apparemment de l'action additionnée de l'épaule et du coude. L'amorce de la traction avec ces deux articulations peut s'apparenter à une prise d'élan sur le cas présent.

Sur les graphiques du dessous on peut remarquer que l'action du bassin suit celle du coude et que le bateau accélère très nettement dès l'entrée de la pagaie dans l'eau, contrairement à la courbe du jeune junior pour laquelle l'accélération du bateau est progressive.

Cette observation ne permet pas de dire qui pagaie « bien » ou « mal ». Le logiciel permet de relever des actions de manière précise sur la chronologie, l'organisation gestuelle du pagayeur. Nous nous en sommes servis ici pour dresser un comparatif entre deux pagayeurs de niveau différent. La piste principale que nous pouvons retirer de cette analyse est que la chronologie des actions de l'épaule, du coude et de la pale sont différentes. Alors que pour l'un, l'accélération du bateau est progressive, pour l'autre, elle est immédiate.

On peut imaginer l'utilisation de ce logiciel couplé avec des capteurs de force placés dans la pagaie ou encore avec le minimaxx afin de faire un meilleur lien entre l'organisation externe (geste) du pagayeur et les conséquences sur le comportement de l'embarcation.